



## РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Ляхович Л.С., докт. техн. наук, профессор, академик РААСН, зав. кафедрой строительной механики ТГАСУ; гл. редактор; [lls@tsuab.ru](mailto:lls@tsuab.ru); г. Томск  
Акимов П.А., докт. техн. наук, профессор, академик РААСН, главный ученый секретарь РААСН; [pavel.akimov@gmail.com](mailto: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](mailto:amb@stadyo.ru), г. Москва  
Бондаренко И.А., докт. архитектуры, профессор, академик РААСН, директор НИИТИАГ, филиал ЦНИИП Минстроя России; [niitag@yandex.ru](mailto:niitag@yandex.ru); г. Москва  
Власов В.А., докт. физ.-мат. наук, профессор, ректор ТГАСУ; [rector@tsuab.ru](mailto:rector@tsuab.ru); г. Томск  
Волокитин Г.Г., докт. техн. наук, профессор, зав. кафедрой прикладной механики и материаловедения ТГАСУ; [vgg-tomsk@mail.ru](mailto: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](mailto: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](mailto:ngasu_gts@mail.ru), г. Новосибирск  
Дзюбо В.В., докт. техн. наук, профессор кафедры водоснабжения и водоотведения ТГАСУ; [dzv1956@mail.ru](mailto:dzv1956@mail.ru), г. Томск  
Ефименко В.Н., докт. техн. наук, зав. кафедрой автомобильных дорог ТГАСУ; [svefimenko\\_80@mail.ru](mailto:svefimenko_80@mail.ru); г. Томск  
Ефименко С.В., докт. техн. наук, декан дорожно-строительного факультета ТГАСУ; [svefimenko\\_80@mail.ru](mailto:svefimenko_80@mail.ru), г. Томск  
Есаулов Г.В., докт. архитектуры, профессор, академик РААСН, проректор по научной работе МАРХИ; [gvesaulov@raasn.ru](mailto:gvesaulov@raasn.ru); г. Москва  
Жерардо М.Ч., докт. наук, профессор инженерного факультета Международного дистанционного университета UNINETTUNO; [g.cennamo@uninettunouniversity.net](mailto:g.cennamo@uninettunouniversity.net), г. Рим, Италия  
Ильичев В.А., докт. техн. наук, профессор, вице-президент РААСН, академик РААСН; [ilyichev@raasn.ru](mailto:ilyichev@raasn.ru); г. Москва  
Инжутов И.С., докт. техн. наук, профессор, директор инженерно-строительного института СФУ; [iinzhutov@sfu-kras.ru](mailto:iinzhutov@sfu-kras.ru), г. Красноярск  
Кнаиа Б.М., докт. техн. наук, профессор факультета проектирования зданий, сооружений и геотехники Политехнического университета Турина; [bernardino.chiaia@polito.it](mailto: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](mailto:cvrkost@technion.ac.il); г. Хайфа, Израиль  
Копаница Н.О., докт. техн. наук, профессор кафедры строительных материалов и технологий ТГАСУ; [kopanitsa@mail.ru](mailto:kopanitsa@mail.ru); г. Томск  
Кудяков А.И., докт. техн. наук, профессор кафедры строительных материалов и технологий ТГАСУ, советник РААСН; [kudyakov@tsuab.ru](mailto:kudyakov@tsuab.ru); г. Томск  
Кумяк О.Г., докт. техн. наук, профессор, зав. кафедрой железобетонных конструкций ТГАСУ, советник РААСН; [kumpryak@yandex.ru](mailto:kumpryak@yandex.ru); г. Томск  
Лежава И.Г., докт. архитектуры, профессор, академик РААСН, вице-президент РААСН, профессор МАРХИ; [lezhavailia@gmail.com](mailto:lezhavailia@gmail.com); г. Москва  
Морозов В.И., докт. техн. наук, профессор, чл.-корр. РААСН, зав. кафедрой строительных конструкций СПбГАСУ; [torozov@spbgasu.ru](mailto:torozov@spbgasu.ru), г. Санкт-Петербург  
Овсянников С.Н., докт. техн. наук, профессор, зав. кафедрой архитектуры гражданских и промышленных зданий ТГАСУ; [ovssn@tsuab.ru](mailto:ovssn@tsuab.ru); г. Томск  
Плачиди Л.Л., докт. техн. наук, доцент инженерного факультета Международного дистанционного университета UNINETTUNO; [luca.placidi@uninettunouniversity.net](mailto: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](mailto:polyakov-en@ya.ru); г. Томск  
Пустоветов Г.И., докт. архитектуры, профессор, чл.-корр. РААСН, советник ректората НГУАДИ; [pustovetovgi@gmail.com](mailto:pustovetovgi@gmail.com), г. Новосибирск  
Сколубович Ю.Л., докт. техн. наук, профессор, чл.-корр. РААСН, ректор НГАСУ (Сибстрин); [sjl1964@mail.ru](mailto:sjl1964@mail.ru), г. Новосибирск  
Травуш В.И., докт. техн. наук, профессор, академик РААСН, вице-президент РААСН; [travush@mail.ru](mailto:travush@mail.ru), г. Москва  
Цветков Н.А., докт. техн. наук, профессор, зав. кафедрой теплогазоснабжения ТГАСУ; [nac@tsuab.ru](mailto:nac@tsuab.ru); г. Томск  
Чернышов Е.М., докт. техн. наук, профессор, председатель президиума Центрального отделения РААСН, академик РААСН; [chem@vgasu.vrn.ru](mailto:chem@vgasu.vrn.ru); г. Воронеж  
Шубин И.Л., докт. техн. наук, чл.-корр. РААСН, директор НИИСФ РААСН; [niisf@niisf.ru](mailto:niisf@niisf.ru), г. Москва  
Яненко А.П., докт. техн. наук, профессор кафедры гидротехнического строительства, безопасности и экологии НГАСУ (Сибстрин); [ngasu\\_gts@mail.ru](mailto: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](http://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](http://www.iprbookshop.ru), а также на сайте «Вестник ТГАСУ»: <https://vestnik.tsuab.ru>

Научное издание

ВЕСТНИК ТГАСУ № 5 – 2020

ISSN 1607-1859 (для печатной версии)

ISSN 2310-0044 (для электронной версии)

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

Редакторы Т.С. Володина, Г.Г. Семухина.  
Переводчик М.В. Воробьева. Дизайн Е.И. Кардаш.  
Технический редактор Н.В. Удлер.  
Подписано в печать 26.10.2020. Формат 70×108/16. Гарнитура Таймс.  
Уч.-изд. л. 15,62. Усл. печ. л. 18,55. Тираж 200 экз.  
Зак. № 120.

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

© Томский государственный  
архитектурно-строительный  
университет, 2020

Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation

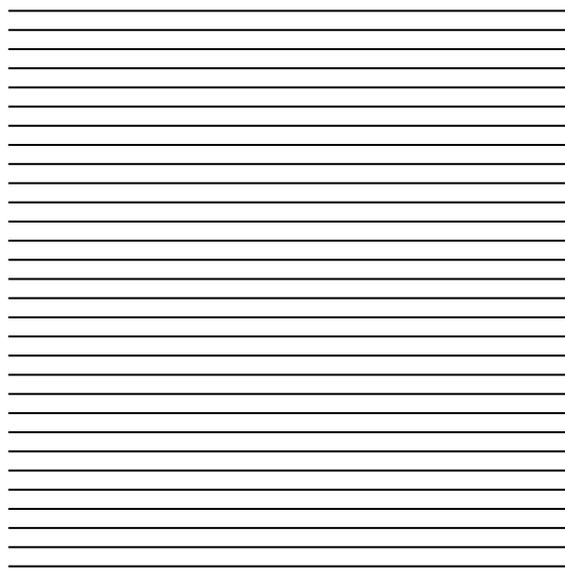
VESTNIK  
TOMSKOGO GOSUDARSTVENNOGO  
ARKHITEKTURNO-STROITEL'NOGO UNIVERSITETA

**JOURNAL**  
**OF CONSTRUCTION AND ARCHITECTURE**

Volume 22

№ 5 2020  
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](mailto:lls@tsuab.ru), Tomsk, Russia
2. Akimov P.A., DSc, Professor, RAACS Academician, RAACS Chief Academic Secretary; [pavelakimov@gmail.com](mailto:pavelakimov@gmail.com), Moscow, Russia
3. Belostotskii A.M., DSc, Professor, RAACS Corresponding Member, Director General Research Center StaDiO; [amb@stadyo.ru](mailto:amb@stadyo.ru), Moscow, Russia
4. Bondarenko I.A., DSc, Professor, RAACS Academician, Director Scientific Research Institute of Theory and History of Architecture and Urban Planning, Branch of the Central Institute for Research and Design of the Ministry of Construction and Housing and Communal Services of the Russian Federation; [nitag@yandex.ru](mailto:nitag@yandex.ru), Moscow, Russia
5. Chernyshov E.M., DSc, Professor, RAACS Academician, Chairman of the Presidium of RAACS Central Regional Branch; [chem@vgasu.vrn.ru](mailto:chem@vgasu.vrn.ru), Voronezh, Russia
6. Chiaia B., PhD, Professor, Politecnico di Torino (Polytechnic University of Turin); [bernardino.chiaia@polito.it](mailto: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](mailto:ngasu_gts@mail.ru), Novosibirsk, Russia
8. Dzyubo V.V., DSc, Professor, Department of Water Supply and Sewage Systems, TSUAB; [dzv1956@mail.ru](mailto: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](mailto:svefimenko_80@mail.ru), Tomsk, Russia
10. Efimenko S.V., DSc, Dean of Road Engineering and Construction Faculty, TSUAB; [svefimenko\\_80@mail.ru](mailto: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](mailto:esaulovgv@raasn.ru), Moscow, Russia
12. Girardot M.C., DSc, Professor, Engineering Dept., International Telematic University UNINETTUNO; [g.cennamo@uninettunouniversity.net](mailto: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](mailto:tsp_tgasu@mail.ru), Tomsk, Russia
14. Il'ichev V.A., DSc, Professor, RAACS Academician, RAACS Vice President; [ilyichev@raasn.ru](mailto:ilyichev@raasn.ru), Moscow, Russia
15. Inzhutov I.S., DSc, Professor, Director School of Engineering and Construction, SibFU; [iinzhutov@sfu-kras.ru](mailto:iinzhutov@sfu-kras.ru), Krasnoyarsk, Russia
16. Kopanitsa N.O., DSc, Professor, Building Materials and Technologies Dept., TSUAB; [kopanitsa@mail.ru](mailto:kopanitsa@mail.ru), Tomsk, Russia
17. Kovler K., A/Professor, Civil and Environmental Engineering, Head of Building Materials, Performance & Technology Dept., Technion Israel Institute of Technology; [cvrkotr@technion.ac.il](mailto:cvrkotr@technion.ac.il), Haifa, Israel
18. Kudryakov A.I., DSc, Professor; RAACS Adviser, Head of Construction Engineering Technology Dept., TSUAB (Tomsk, Russia); [kudryakov@tsuab.ru](mailto:kudryakov@tsuab.ru)
19. Kumpyak O.G., DSc, Professor; RAACS Adviser, Head of Reinforced Concrete and Masonry Structures Dept., TSUAB; [kumpyak@yandex.ru](mailto:kumpyak@yandex.ru), Tomsk, Russia
20. Lezhava I.G., DSc, Professor, RAACS Academician, RAACS Vice President, Moscow Architectural Institute (State Academy); [lezhavailia@gmail.com](mailto:lezhavailia@gmail.com), Moscow, Russia
21. Morozov V.I., DSc, Professor, RAACS Corresponding Member, Head of Engineering Constructions Dept., SPSUACE; [morozov@sphgasu.ru](mailto:morozov@sphgasu.ru), St-Petersburg, Russia
22. Ovsyannikov S.N., DSc, Professor, Head of Architecture of Civil and Industrial Buildings Dept., TSUAB; [ovssn@tsuab.ru](mailto:ovssn@tsuab.ru), Tomsk, Russia
23. Placidi L.L., DSc, A/Professor, Engineering Dept., International Telematic University UNINETTUNO; [luca.placidi@uninettunouniversity.net](mailto: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](mailto: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](mailto: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](mailto:sjl1964@mail.ru), Novosibirsk, Russia
27. Shubin I.L., DSc, RAACS Corresponding Member, Director Structural Physics Research Institute, RAACS; [nisf@nisf.ru](mailto:nisf@nisf.ru), Moscow, Russia
28. Tsvetkov N.A., DSc, Professor, Head of Heat and Gas Supply Dept., TSUAB; [nac@tsuab.ru](mailto:nac@tsuab.ru), Tomsk, Russia
29. Travush V.I., DSc, Professor, RAACS Vice President, RAACS Academician; [travush@mail.ru](mailto:travush@mail.ru), Moscow, Russia
30. Vlasov V.A., DSc, Professor, Rector, TSUAB; [rector@tsuab.ru](mailto:rector@tsuab.ru), Tomsk, Russia
31. Volokitin G.G., DSc, Professor, Head of Applied Mechanics and Materials Science Dept., TSUAB; [vgg-tomsk@mail.ru](mailto: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](mailto: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](http://www.elibrary.ru); <https://online.bookchamber.ru/book/ru/>; <https://www.lib.tomsk.ru>; <https://www.ebsco.com>; <https://cyberleninka.ru>; [www.iprbookshop.ru](http://www.iprbookshop.ru); <https://vestnik.tsuab.ru>

Scientific Edition

VESTNIK TOMSKOGO GOSUDARSTVENNOGO ARKHITEKTURNO-STROITEL'NOGO UNIVERSITETA  
JOURNAL OF CONSTRUCTION AND ARCHITECTURE № 5 – 2020

Print ISSN 1607-1859 Online ISSN 2310-0044

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

---

Editors T.S. Volodina, G.G. Semukhina  
Translator M.V. Vorob'eva. Design: E.I. Kardash  
Technical editor N.V. Udler  
Passed for printing: 26.10.2020. Paper size: 70×108/16. Typeface: Times New Roman  
Published sheets: 15,62. Conventional printed sheets: 18,55. Print run: 200 copies  
Order N 120.

---

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

© Tomsk State University  
of Architecture and Building, 2020

## СО Д Е Р Ж А Н И Е

### АРХИТЕКТУРА И ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВО

<b>Ситникова Е.В.</b> Формирование архитектурного облика г. Колпашево под влиянием местных предпринимателей (ТГАСУ, г. Томск).....	9
<b>Бабинович Н.У., Ситникова Е.В.</b> «Образцовое» строительство в городах России и Томске (ТГАСУ, г. Томск).....	25
<b>Мжельский В.М.</b> Теория и фактология эволюции архитектурных стилей в трудах исследователей XIX–XX вв. (НГАСУ, г. Новосибирск).....	36
<b>Рублев М.А., Булгач Р.В.</b> Трансформация функционально-планировочной организации сельских усадеб на территории Притомья в 1900–1960 гг. (НГАСУ, НГУАДИ, г. Новосибирск).....	50
<b>Лейзерова А.В.</b> Архитектурно-градостроительная типология культурно-исторических островов (УрФУ, г. Екатеринбург).....	65
<b>Барская И.В., Куликова И.В.</b> Анализ территорий исторических парковых зон со сложным рельефом в г. Томске (ТГАСУ, г. Томск).....	82

### СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ, ЗДАНИЯ И СООРУЖЕНИЯ

<b>Ерофеев В.И., Мониц Д.В.</b> Резервы повышения звукоизоляции однослойных и многослойных ограждающих конструкций зданий (ИПМ РАН, ННГАСУ, г. Нижний Новгород).....	98
<b>Гребенюк Г.И., Максак В.И., Яньков Е.В.</b> Расчёт и оптимизация колонн ступенчатой жёсткости в условиях продольно-поперечного изгиба (ТГАСУ, г. Томск, НГАСУ, г. Новосибирск).....	111

### СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ

<b>Власов В.А., Семеновых М.А., Скрипникова Н.К., Шеховцов В.В.</b> Особенности использования некондиционных видов сырья для получения анортитовой керамики (ТГАСУ, г. Томск).....	122
<b>Сопегин Г.В., Семейных Н.С., Рустамова Д.Ч.</b> Оценка влияния стеклосодержащего компонента на свойства гипсового вяжущего и сухих строительных смесей (ПНИПУ, г. Пермь).....	129
<b>Демьяненко О.В., Куликова А.А., Копаница Н.О.</b> Оценка влияния комплексной полифункциональной добавки на эксплуатационные характеристики цементного камня и бетона (ТГАСУ, г. Томск).....	139
<b>Власов В.А., Космачев П.В.</b> Морфология и размерные параметры наночастиц диоксида кремния, полученных плазменно-дуговым методом (ТГАСУ, ИПМ СО РАН, г. Томск).....	153

## ОСНОВАНИЯ И ФУНДАМЕНТЫ, ПОДЗЕМНЫЕ СООРУЖЕНИЯ

<b>Ющубе С.В., Подшивалов И.И., Таюкин Г.И.</b> Оценка возможности строительства высотного каркасного здания с учетом выявленных дефектов при возведении монолитной фундаментной плиты (ТГАСУ, г. Томск).....	160
<b>Самарин Д.Г., Устюжанин В.Л., Лобанов А.А.</b> Исследования по определению изменений геометрических параметров буронабивных свай акустическим методом, основанным на схеме двух каналов измерения (ТГАСУ, г. Томск) .....	173
<b>Фурсов В.В., Таюкин Г.И., Балюра М.В.</b> Деформации сооружений при строительстве объектов нефтехимического комбината в условиях глубокого сезонного промерзания грунтов (ТГАСУ, г. Томск) .....	187

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

<b>Лукашевич О.Д., Лукашевич В.Н.</b> Пути повышения экологической безопасности при строительстве и эксплуатации автомобильных дорог (ТГАСУ, г. Томск) .....	200
--	-----

## РЕЦЕНЗИИ

<b>Ющубе С.В.</b> Рецензия на учебник «Основания и фундаменты, подземные сооружения», подготовленный докт. техн. наук, профессором А.И. Полищуком (ТГАСУ, г. Томск) .....	211
---	-----

## C O N T E N T S

### ARCHITECTURE AND URBAN PLANNING

<b>Sitnikova E.V.</b> Architecture of Kolpashevo influenced by local entrepreneurs (Tomsk) .....	9
<b>Babinovich N.U., Sitnikova E.V.</b> Model construction in Russian cities and Tomsk (Tomsk).....	25
<b>Mzhelsky V.M.</b> Theory- and factually-based architectural style evolution in the works of researchers of the 19–20th centuries (Novosibirsk).....	36
<b>Rublev M.A., Bulgach R.V.</b> Functional and planning organization of rural architecture near the river Tom in 1900–1960 (Novosibirsk) .....	50
<b>Leizerova A.V.</b> Architectural and urban typology of cultural and historical places (Ekaterinburg) .....	65
<b>Barskaya I.V., Kulikova I.V.</b> Historical park areas with rugged topography in the city of Tomsk (Tomsk).....	82

### BUILDING AND CONSTRUCTION

<b>Erofeev V.I., Monich D.V.</b> Improvement potential for sound insulation of single- and multilayer wall panels (Nizhny Novgorod).....	98
<b>Grebenyuk G.I., Maksak V.I., Yankov E.V.</b> Stiffness analysis and optimization of stepped columns under combined bending and compression (Tomsk, Novosibirsk).....	111

### CONSTRUCTION MATERIALS AND PRODUCTS

<b>Vlasov V.A., Semenovych M.A., Skripnikova N.K., Shekhovtsov V.V.</b> Non-standard raw materials for anorthite ceramics production (Tomsk) .....	122
<b>Sopegin G.V., Semeynykh N.S., Rustamova D.Ch.</b> The influence of glass containing component on gypsum binder and dry mix mortar properties (Perm) .....	129
<b>Dem'yanenko O.V., Kulikova A.A., Kopanitsa N.O.</b> The effect of complex multi-purpose additive on operating properties of hydrated cement and concrete (Tomsk) .....	139
<b>Vlasov V.A., Kosmachev P.V.</b> Morphology and size of silica nanoparticles obtained by low-temperature plasma (Tomsk).....	153

## BASES, FOUNDATIONS AND SUBSTRUCTURES

<b>Yushchube S.V., Podshivalov I.I., Tayukin G.I.</b> High rise frame building construction with regard to defects in monolithic base slab (Tomsk).....	160
<b>Samarin D.G., Ustyuzhanin V.L., Lobanov A.A.</b> Geometric parameters of bored piles determined by dual channel acoustic measurements (Tomsk) .....	173
<b>Fursov V.V., Tayukin G.I., Balyura M.V.</b> Structural deformation of fuel and chemical refiner objects in seasonal earth freezing (Tomsk).....	187

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

<b>Lukashevich O.D., Lukashevich V.N.</b> Improvement of environmental safety in construction and road service (Tomsk).....	200
---	-----

## PEER REVIEW

<b>Yushchube S.V.</b> Textbook "Bases, foundations, and underground structures" by Prof. A.I. Polishchuk, DSc (Tomsk) .....	211
--	-----

# АРХИТЕКТУРА И ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВО

УДК 72.035

DOI: 10.31675/1607-1859-2020-22-5-9-24

*Е.В. СИТНИКОВА,*

*Томский государственный архитектурно-строительный университет*

## **ФОРМИРОВАНИЕ АРХИТЕКТУРНОГО ОБЛИКА Г. КОЛПАШЕВО ПОД ВЛИЯНИЕМ МЕСТНЫХ ПРЕДПРИНИМАТЕЛЕЙ\***

Рассматривается историко-культурное наследие г. Колпашево Томской области. Изучены этапы формирования и архитектура отдельных объектов, возведенных местными предпринимателями в конце XIX – начале XX в. Актуальность исследования обусловлена малой изученностью ценного историко-культурного наследия малых городов России и их проблемами в отдельных регионах страны.

Цель исследования – изучение истории становления и развития архитектуры г. Колпашево при содействии местных предпринимателей.

В процессе работы использовались научные методы: критического анализа использованной литературы и привлеченных источников, сравнительного архитектуроведческого анализа и системно-структурного анализа информации, творческого синтеза при формировании полученных выводов. Практическая значимость исследования заключается в возможности использования полученных результатов при подготовке лекций, докладов и сообщений по истории архитектуры Сибири.

Научная новизна исследования заключается в изучении историко-культурного наследия одного из малых городов России – Колпашево, ранее не изученного и не опубликованного. Методологической и теоретической основой исследования являются теоретические труды ученых – историков и архитекторов, касающиеся исследуемого вопроса и приведенные в библиографическом списке настоящего исследования, а также материалы натурного исследования, проведенного автором статьи в 2019 г. в рамках работы над грантом.

В результате исследования установлено: г. Колпашево обладает большим потенциалом, включая ценное историко-культурное наследие, богатую историю разных временных периодов и уникальное природное окружение. В связи с этим необходимо обратить внимание на сохранение и развитие потенциала этого исторического поселения, основанного еще в XVII в.

**Ключевые слова:** малые города России; Колпашево; сохранение наследия; историко-культурный потенциал; предприниматели.

**Для цитирования:** Ситникова Е.В. Формирование архитектурного облика г. Колпашево под влиянием местных предпринимателей // Вестник Томского

---

\* Исследование проведено в рамках работы над грантом РФФИ проект № 19-49-700003 «Формирование архитектурного облика сибирских городов и местное купечество в XVII – начале XX в.».

государственного архитектурно-строительного университета. 2020. Т. 22. № 5. С. 9–24.

DOI: 10.31675/1607-1859-2020-22-5-9-24

*E.V. SITNIKOVA,*

*Tomsk State University of Architecture and Building*

## **ARCHITECTURE OF KOLPASHEVO INFLUENCED BY LOCAL ENTREPRENEURS**

The paper examines the historical and cultural heritage of the Kolpashevo town founded in the 17th century in the Tomsk region. The architecture of the individual objects built by the local entrepreneurs late in the 19th and early 20th centuries is studied. The paper replenishes knowledge on the valuable historical and cultural heritage of the Russian towns and discusses the problem of preserving historical settlements at the regional level.

The purpose of this work is to study the history of the architecture development in Kolpashevo with the assistance of local entrepreneurs.

The research methods include the literature review and the comparative and systems analysis of the data obtained. The practical implications of the research lie in using the obtained results in the lecture preparation and reports on the history of the Siberian architecture.

The novelty is the study of the historical and cultural heritage of Kolpashevo, one of the small towns of Russia, which has not been previously studied. The methodological and theoretical bases include the theoretical works of scientists, historians and architects, and the field study conducted by the author in 2019.

It is found that the Kolpashevo town has a great potential, including the valuable historical and cultural heritage, the rich history and unique nature. It is advisable to pay attention to the potential preservation and development of this historical town.

**Keywords:** small towns of Russia; Kolpashevo; heritage preservation; historical and cultural potential; entrepreneurs.

**For citation:** Sitnikova E.V. Formirovanie arkhitekturnogo oblika g. Kolpashevo pod vliyaniem mestnykh predprinimatelei [Architecture of Kolpashevo influenced by local entrepreneurs]. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture. 2020. V. 22. No. 5. Pp. 9–24.

DOI: 10.31675/1607-1859-2020-22-5-9-24

Исследование является частью комплексной работы по изучению историко-культурного наследия Сибирского региона. Автором лично и в составе творческого коллектива уже опубликованы научные труды, посвященные формированию архитектурного облика как крупных городов: Томска, Омска, Тюмени, Барнаула, Кузнецка (ставшего Новокузнецком), Новониколаевска (ставшего Новосибирском), так и малых: Колывани, Камня-на-Оби, Тары, Кайинска, Мариинска и др. Наряду с изучением архитектуры сибирских городов, авторы делают акцент на роли предпринимателей в формировании и функционировании этих городов. По данной тематике опубликованы монографии «Сибирское купечество и формирование архитектурного облика г. Томска в XIX – начале XX в.», 2008 г. [1], «Архитектура городов Томской губернии и сибирское купечество (XVII – начало XX века). Томск, Бийск, Барнаул, Кузнецк, Колывань, Камень-на-Оби, Нарым, Мариинск, Новониколаевск», 2011 г. [2], «Формирование архитектурного облика городов Западной Сибири

в XVII – начале XX в. и местное купечество (Тобольск, Тюмень, Томск, Тара, Омск, Каинск)», 2017 г. [3], а также научные статьи, посвященные отдельным городам и поселениям Западной Сибири: «Архитектурный облик старинного сибирского города Тобольска», 2013 г. [4], «Вклад тюменского купечества в формирование культового зодчества г. Тюмени», 2016 г. [5], «Становление и развитие архитектуры сёл бывшей Кетской волости», 2020 г. [6] и др.

Настоящее исследование посвящено одному из старейших поселений Томской области – Колпашево, получившему статус города в 1938 г. Активное развитие бывшего села было связано с открытием в Западно-Сибирском регионе месторождений нефти и газа в начале XX в., тогда Колпашево становится базой нефтегазового комплекса по разведке запасов, освоению месторождений и добыче ресурсов.

Однако поселение Колпашево существовало ещё с XVII в. и находилось на территории бывшего Кетского уезда, а затем Кетской волости. На начальном этапе существования Кетский уезд охватывал значительную часть Прикетья и прилегающие территории, являлся одним из самых крупных в Западной Сибири по площади, но уже в XVII в. стал самым небольшим уездом, а в конце XVII в. перешел в ведение Нарымского воеводы.

Деревня Колпашева была основана во второй половине XVII в. бывшими служилыми людьми Кетского острога – Колпашниковыми. В 1734 г., по документам Кетского волостного правления, в деревне Колпашева насчитывалось всего 9 домов, а к началу XIX в. здесь уже было 39 хозяйств и проживало 154 жителя. Наиболее интенсивное развитие поселения пришлось на XIX в., когда оно активно застраивалось вдоль р. Оби. Местное население занималось в основном охотой, рыбалкой, сбором дикоросов, а также ведением собственного хозяйства. В 1878 г., с появлением церкви, деревня Колпашева стала селом (рис. 1).

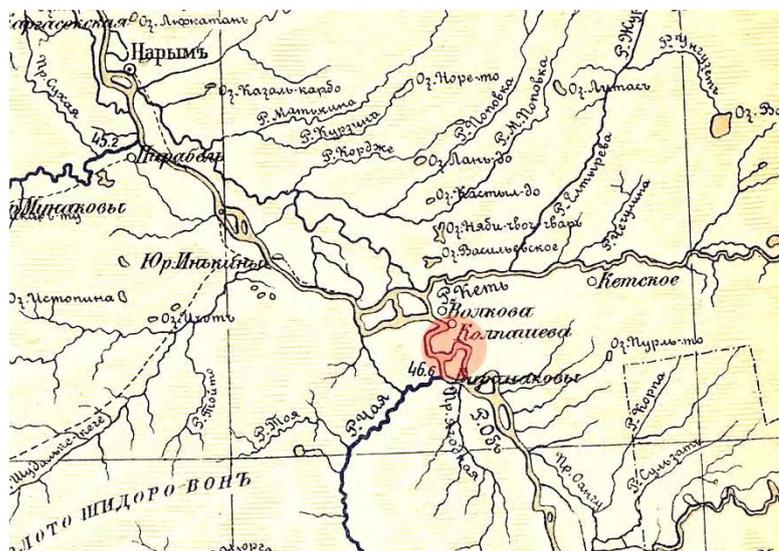


Рис. 1. Село Колпашево на фрагменте карты юга Нарымского края, 1904 г. (URL: <http://www.etomesto.ru/karta3663/>)

На литографии П.М. Кошарова из серии «Художественно-этнографические рисунки Сибири» (1890 г.) изображён вид села Колпашева (рис. 2). Изображение сопровождается следующими комментариями: «Рисунок этот представляет вид села Колпашева, первой пароходной станции в 260 верстах от Томска. Село это находится на правом возвышенном берегу реки Оби и расположено почти вдоль берега, по обе стороны церкви, которая недавно отстроена в русском стиле и весьма красива. Дома большею частью срублены из хорошего толстого леса, есть много двухэтажных, как дома, так и сараи, амбары, дворы крыты тёсом, дома стоят без всякого порядка, улиц почти нет, а между ними находятся узкие и кривые проходы. Комнаты содержатся весьма чисто и опрятно, вообще, надо полагать, что крестьяне живут не бедно. Многие считают, что всех жителей села обоёго пола будет до 800 душ и все вероисповедания православного. С северо-западной стороны село окружено хвойным лесом и довольно много кедрового дерева, сенокосных лугов весьма довольно, а хлебопашенной земли мало, да и хлеб родиться без ухаживания не может. Разного скота имеется довольно, которого более половины перегоняют весной по льду на левый берег Оби пастись всё лето на лугах».



Рис. 2. Вид с. Колпашева с литографии Кошарова П.М. «Художественно-этнографические рисунки Сибири». 1890 г. № 3. Из фондов ТОКМ

К началу XX в. Колпашево становится одним из самых крупных поселений Нарымского края. В 1910–1911 гг. в селе, по материалам статистико-экономического исследования, было 128 хозяйств и проживало 678 чел. [7]. В это время с Колпашевом по численности населения могли конкурировать только сёла Тогур (748 чел.) и Новоильинка (645 чел.).

Первая деревянная церковь во имя первоверховных апостолов Петра и Павла в Колпашеве была построена в 1878 г. на берегу Оби. Тогда она называлась молитвенным домом и относилась к Тогурскому приходу (рис. 2). Здание было выполнено в деревянных конструкциях и имело выразительную архитектуру. Основной кубический объём храма покрывался четырехскатной крышей с высоким шатром и венчался пятиглавием. С западного и южного фасадов

церкви находились входы, оформленные двухскатными навесами на резных опорах. С восточной стороны располагалась восьмигранная в плане алтарная часть. Здание было выполнено в русском традиционном стиле и украшено резным декором. По периметру участок ограждался деревянным забором.

В 1890 г. было получено разрешение от Томской духовной консистории о пристройке к церкви колокольни и паперти на средства жителей. В архиве ГАТО сохранился проект этой реконструкции, подписанный губернатором Германом Августовичем фон Тобизеном, губернским инженером фон Шульманом и губернским архитектором В.В. Хабаровым (рис. 3). В 1896–1898 гг. колпашевская церковь была перестроена и вновь освящена 24 ноября 1898 г.

Проект на пристройку колокольни и паперти к молитвенному дому  
в с. Колпашево

*На подлинном проекте: проект сей рас. материал со сборкой по проекту Томской  
Священной Консистории Селу Колпашевскому от 29. Октября 1890 года № 11. Подпись  
Губернатора Томской Консистории фон Тобизен, Губернский Инженер Шульман  
и Губернский Архитектор Хабаров.*

Воронцов С.И. Инженер-архитектор

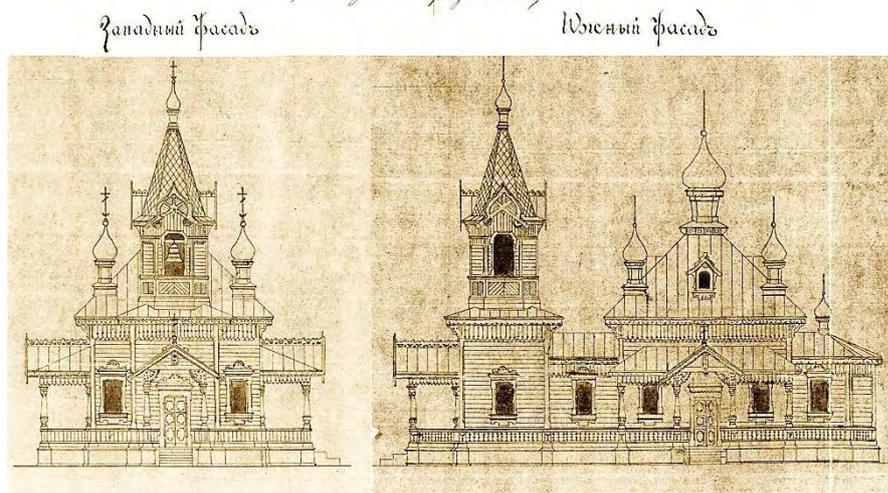


Рис. 3. Проект на пристройку колокольни и паперти к молитвенному дому в с. Колпашево (западный и южный фасады). 1890 г. Материалы из архива ГАТО

Петропавловская церковь в Колпашево формировала панораму села с р. Оби и хорошо просматривалась с разных точек, доминируя над деревянной одно-, двухэтажной жилой застройкой (рис. 4).

В 1932 г. по постановлению Запсибкрайисполкома № 3113 от 29 апреля церковь была закрыта, колокола сброшены. Колокольню и семь глав разобрали. После закрытия церкви под ее сводами устраивали сельскохозяйственные выставки, а потом здание было разрушено. На сайте колпашевской церкви указано, что в настоящее время на месте утраченного храма установлен поклонный крест в честь новомучеников и исповедников российских. Однако в народе бытует мнение, что место расположения церкви уже давно смыто р. Обью, которая настойчиво точит Колпашевский яр, смывая с лица земли исторические артефакты, в том числе и страшные следы репрессий 1920–30-х гг.



Рис. 4. Село Колпашево. Вид на пристань и Петропавловскую церковь. Фото 1925 г. Из фондов ТОКМ

Новая церковь в Колпашево появилась совсем недавно. Строительство велось с 2004 по 2014 г. В настоящее время построить церковь оказалось не так легко, как 200 лет назад, когда уникальные произведения православной архитектуры возводили за 1–2 года. Да и архитектурное решение здания церкви далеко от совершенства.

Традиционно в непосредственной близости от церкви селились наиболее богатые люди. В Колпашево это были потомки первых жителей села, выходцев из поселенцев Кетского острога. Скупая информация о них сохранилась в архивных документах XVII в. Среди них были служилые казаки Волковы, несшие государеву службу в Кетском и Нарымском острогах, а также Колесниковы, которые первоначально хлебопашествовали возле Кетского. Царский указ 1724 г. поставил служилых людей и земледельцев на одну ступень российской социальной лестницы, сведя их в единое сословие государственных крестьян. Время и общие заботы постепенно стерли былые различия между ними.

Старший научный сотрудник Колпашевского краеведческого музея О.М. Титова занималась исследованиями о наиболее известных жителях Колпашева и опубликовала в местном периодическом издании «Газета Колпашевская» в рубрике «Архив» статьи – «Купцы Колесниковы» и «Капиталисты» крестьяне Волковы», в которых она отмечает, что никто из колпашевских «купцов», вопреки устоявшемуся мнению, в купеческой гильдии не состоял, а односельчане называли их «купцами» за размах предпринимательства, богатство и жизнь «на широкую ногу» [8].

О семье Колесниковых О.М. Титовой удалось выяснить следующие сведения: «Первыми из Колесниковых, сменивших хлебопашество на торговлю, стали братья Федор (1837–1895) и Северьян (1843–1897) Михайловичи. Пред-

приимчивые, работающие и прижимистые братья довольно быстро сколотили приличное состояние. О Федоре ничего неизвестно, а вот Северьян запомнился своим землякам отнюдь не благими делами. Долго с осуждением вспоминали они случай с кирпичом, пожертвованным томским купцом Фиеевым для церкви. Из кирпича этого Северьян выложил у себя в доме печи. Обещал он также выстроить школу, но, когда пришло время выполнить обещание, отдал под неё старый кабак, где она и разместилась» [8]. Автор отмечает, что этот случай в 1886 г. был описан в издаваемой в Томске «Сибирской газете».

В начале XX в. сыновья Фёдора и Северьяна Колесниковых Александр Федорович (1863–1912) и Флегонт Северьянович (1865 – ?) были одними из самых богатых жителей Кетской волости, они не только продолжили дело отцов, но и приумножили состояния. Их пароходы «Полезный» и «Колпашевец», а также баржи бороздили сибирские реки, перевозя пассажиров и различные грузы. Торговые лавки Колесниковых располагались не только в окрестных селах, но и в губернском Томске. Хорошую прибыль приносил им и рыбный промысел. По Оби между Нарымом и Колпашевом у Колесниковых было четыре стрелевых невода, где обычно было занято до 120 человек. Рыбу попроще – сырок, щука, язь – солили в бочках или вялили, а ценную – осетр, стерлядь, муксун – держали в садках до наступления больших морозов. Потом рыбу из садков вылавливали и замораживали на льду, а затем везли в Томск и другие места на продажу.

Несмотря на успешную предпринимательскую деятельность, слава о братьях Колесниковых распространялась разная. Так, Флегонт Северьянович Колесников запомнился односельчанам как балагур, нарушающий спокойствие села, из-за крутого нрава, а также криминальным умением нажиться любым способом. Его даже считали виновным в пожаре, случившемся летом 1898 г., когда помимо его дома, магазина, амбаров и скотных дворов сгорело ещё 15 соседних крестьянских дворов. После случившегося Флегонт построил себе новый большой дом в два этажа и заново отстроил и все хозяйственные строения, т. к. предварительно застраховал своё имущество в Томске и, вероятно, полностью получил страховые деньги. Его жена Екатерина Федоровна, дочь Тогурского священника Федора Большанина, тоже попала в немилость. Колпашевцы осуждали её за то, что она целыми днями крутилась перед зеркалом, любила долго поспать, а ещё у нее, как и у мужа, случались пьяные загулы.

Другой брат, Александр Федорович Колесников, также был женат на дочери священника. Его жена Татьяна Ивановна Баранова была родом из с. Новое Кетской волости. В отличие от Флегонта, Александр Колесников оставил о себе иную память у своих земляков. Его уважали за регулярные пожертвования на нужды местных церквей и покровительство народного просвещения. Александр Федорович был попечителем одноклассной начальной школы в Колпашеве, причем к обязанностям своим относился очень ответственно. В течение двух лет училище размещалось в принадлежащем ему доме, а в 1900 г. переехало в новое здание, построенное при его помощи. Кроме того, он профинансировал приобретение книг для чтения и школьного оборудования, такого как классные счеты, «волшебный фонарь» (аппарат наподобие современного диаскопа) и др. Каждый год «купец» на свои сред-

ства устраивал для учеников рождественские елки с подарками. В уже зрелом возрасте Александр Федорович заболел чахоткой и умер в возрасте 49 лет.

Детям своим братья Колесниковы старались дать хорошее образование. Известно, что дочь Флегонта Северьяновича окончила Томскую Мариинскую гимназию. Сын Александра Федоровича Сергей учился в Томском университете, впоследствии стал коммерсантом.

Дома братьев Колесниковых располагались на привокзальной площади в непосредственной близости от Петропавловской церкви и пристани (рис. 5).



Рис. 5. Привокзальная площадь в с. Колпашево. В центре и справа дома Колесниковых. Фото начала XX в. Из фондов Колпашевского краеведческого музея

Они выделялись из окружающей обывательской застройки значительными размерами и богатым оформлением. Большой двухэтажный дом, принадлежавший Флегонту Северьяновичу Колесникову, с 1927 г. стали использовать под школу № 1. Это была, пожалуй, самая крупная деревянная постройка после церкви.

Дом Александра Фёдоровича Колесникова, хоть и одноэтажный, но достаточно просторный – в восемь окон по главному фасаду, имел выразительный силуэт за счёт угловых шатровых башен, завершающихся резными фонариками с точёными шпилями, и крупных, в два окна, треугольных фронтонов. Окна обрамляли удивительной красоты наличники, а подзоры и карниз украшала ажурная прорезная резьба (рис. 6).

В 1940-е гг. этот дом был разобран, перенесён подальше от берега и поставлен на каменный первый этаж. Сейчас второй этаж используется конторой Колпашевского городского потребительского общества (ГОРПО), а в нижнем этаже располагаются магазины (рис. 7). В результате перестройки треугольные фронтоны и шатровые башни были утрачены, появилась обшивка сруба «в ёлочку», однако красивые резные наличники и подзоры до сих пор придают постройке неповторимый «купеческий» колорит. Местные жители и в настоящее время продолжают называть этот дом «купеческим».



Рис. 6. Дом Колесникова в панораме с Петропавловской церковью. Фото начала XX в. Из фондов Колпашевского краеведческого музея



Рис. 7. Общий вид и окно бывшего дома Колесникова, перенесённого с привокзальной площади и поставленного на второй этаж. Фото Е.В. Ситниковой, 2019 г.

Ещё одна известная в Колпашеве фамилия – Волковы. Первым предпринимателем из них стал Максим Михайлович Волков (1820–1881). Он открыл мелкие лавки в Тогуре и Колпашеве, возил товары на лошадях в Томск. Дело Максима Михайловича продолжили его сыновья Фома (1849 -?) и Евгений (1865–1938). Сначала братья вели дела сообща и жили одним двором, занимаясь в основном мелкой торговлей. В 1885 г. Евгений женился на дочери Федора Михайловича Колесникова Фелицате. Близкое родство с богатыми родственниками жены открыло для Евгения новые горизонты предпринимательской деятельности. Он успешно торговал с хантами и эвенками, закупал у них пушнину и выгодно продавал её не только в Томске, но и вместе с братом жены, Александром Федоровичем, вывозил пушнину на аукционы во Францию.

Евгений Максимович, так же как и Колесниковы, держал стрележские невода и занимался извозом. Завозил за навигацию до 15 тыс. пудов муки, толь-

ко одним обозом отправлял по зимнику до 600 пудов мороженой рыбы. В своих лавках продавал в основном привозной товар, который ездил закупать в Томск и на Нижегородскую ярмарку. В Нижний Новгород путь был неблизкий. Товары везли на баржах сначала по Волге, а потом через Тобольск по Иртышу и Оби. Фелицата Федоровна помогала мужу вести торговые дела и даже пускалась с ним в далекие деловые поездки. В одной из таких поездок родился их сын Николай. Вообще, в то время дух экономического партнерства был присущ супружеским парам. Жены активно помогали мужьям вести торговые дела [9].

У Евгения Максимовича и Фелицаты Фёдоровны была большая семья. Дети достаточно рано вовлекались в семейный бизнес. Известно, что сыновья – Николай, Василий, Аркадий и старшая дочь Зоя – были активными помощниками отца. Зоя после замужества с приказчиком отца Порфирием Степановичем жила в Томске и успешно занималась коммерцией. А вот брату, Фоме Максимовичу, передать свое дело сыну Гавриле не удалось. По воле отца он обучался в Томском коммерческом училище, где в возрасте двадцати лет застрелился [Там же].

Жилые дома братьев Волковых располагались, так же как и у Колесниковых, рядом с церковью и пристанью, только с другой её стороны. Это довольно крупные деревянные здания, в шесть окон по главному фасаду каждый, крытые металлом, что для колпашевских построек того времени было редкостью. Выразительные и вместительные постройки в первую очередь в пореформенный период привлекли внимание новой власти и были национализированы, на их фоне проходили главные события того времени (рис. 8).



Рис. 8. Участники первомайской демонстрации 1930 г. на фоне бывших домов братьев Волковых. Фото из фондов Колпашевского краеведческого музея

Дома Волковых сохранились до настоящего времени, они стоят на ул. Советской, 9 и 11 (рис. 9). Двухэтажный дом по ул. Советской, 11, привлекает внимание добротностью сруба и большим выносом ступенчатого карни-

за, однако здание претерпело значительные изменения. Резные наличники заменены на простые, металлическая кровля – на волнистые асбестоцементные листы, вследствие чего утрачены и изящные водосточные трубы. По-видимому, художественные изыски оказались излишними для новых владельцев постройки.



Рис. 9. Бывшие дома братьев Волковых на берегу р. Оби, ул. Советская, 9 и 11. Фото Е.В. Ситниковой, 2019 г.

Дом по ул. Советской, 9, одноэтажный на каменном цокольном этаже, выделяется изящным резным декором наличников. Обшивку «в ёлочку», аналогичную дому Колесниковых, здание, скорее всего, получило в 40-е гг. XX в., когда стало использоваться под новую функцию. Возможно, что и цокольный этаж был подведен тогда же, т. к. на фото 1930 г. дом без цокольного этажа и без обшивки (рис. 10, 11). Дома стоят уже совсем рядом с яром, с которого открывается бескрайняя панорама р. Оби.



Рис. 10. Бывший дом Волковых. Фото 1930 г. Из фондов Колпашевского краеведческого музея



Рис. 11. Бывший дом Волковых, сейчас ООО «Колпашевский заготпром» на ул. Советской, 9. Фото Е.В. Ситниковой, 2019 г.

В целом застройка Колпашева, сложившаяся к началу XX в., представляла собой характерную для сибирских сёл деревянную архитектуру – одно-, двухэтажные дома под высокими вальмовыми крышами, крытыми тёсом, с подобными же хозяйственными постройками. Только дома наиболее состоятельных предпринимателей, местных «купцов», выделялись из общей деревенской среды за счёт резных наличников на окнах.

До настоящего времени представляющая интерес историческая застройка сохранилась на ул. Обской, 30. Одноэтажный дом интересен наличниками с филенчатыми ставнями и навершиями в виде кокошников, украшенных соллярными знаками (рис. 12). На старинном переулке Колпашевском также можно увидеть дома с разнообразными наличниками – с высокими навершиями, завершающимися барочными волютами и украшенными витиеватым растительным орнаментом (рис. 13); классицистические наличники с изящными кистями (рис. 14) и даже с коронами (рис. 15). К более традиционному оформлению можно отнести наличники дома на пер. Красном, 26 (рис. 16), изучая который мы познакомились с его коренными жителями – тоже Волковыми. Двухэтажный дом пятистенок был построен братьями Александром и Павлом Корниловичами Волковыми в 1911 г. Поперечная несущая стена сруба разделяла постройку на две части с самостоятельными входами и прирубами с дворового фасада. В одной части дома продолжает жить потомок Павла Корниловича Волкова (1888–1974). Аналогичные наличники можно увидеть на домах по пер. Красному, 9, на ул. Береговой, 18, на ул. Комсомольской и др.



Рис. 12. Общий вид дома и фрагмент на ул. Обской, 30. Фото Е.В. Ситниковой, 2019 г.

В 1920-е гг. Колпашево становится центром Колпашевской волости (вместо Кетской), с 1922 г. – центром Нарымского уезда. А в начале XX в. поселение превратилось в одну из крупнейших колоний Нарымской политической ссылки, в 1920–30-е гг. сюда ссылались «враги советской власти». С открытием в Западно-Сибирском регионе месторождений нефти и газа Колпашево становится базой нефтегазового комплекса по разведке запасов, освоению месторождений и добыче ресурсов. В результате такого бурного развития в декабре 1938 г. Колпашево получило статус города.



Рис. 13. Общий вид дома и фрагмент по пер. Колпашевскому, 23. Фото Е.В. Ситниковой, 2019 г.



Рис. 14. Общий вид дома и фрагмент по пер. Колпашевскому, 13. Фото Е.В. Ситниковой, 2019 г.



Рис. 15. Общий вид дома и фрагмент по пер. Колпашевскому, 24. Фото Е.В. Ситниковой, 2019 г.

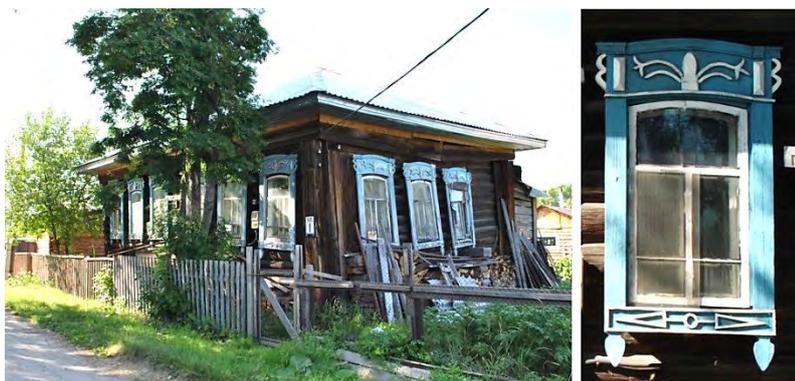


Рис. 16. Дом Павла и Александра Корниловичей Волковых на пер. Красном, 26. Фото Е.В. Ситниковой, 2019 г.

Несомненным преимуществом Колпашева является богатое природное окружение. Помимо могучей сибирской реки Оби с её многочисленными притоками, старицами и заливными лугами, здесь большое количество озёр, два из которых Первое Светлое и Второе Светлое имеют статус памятников природы. Первое находится в 12 км к югу от Колпашева, в сторону деревни Новоильинки. Вода здесь прозрачная, дно песчаное, рядом хвойный и лиственный лес. Второе – в 24 км от города в деревне Мараксы (рис. 17). В центре второго озера находится «плавучий остров». Вода в нем не только прозрачная, но и удивительно голубая, благодаря растворённому в воде радону и другим элементам. Исследования воды в озёрах Колпашевского района показали наличие богатейших источников азотно-метановой хлоридно-натриевой слабосульфидной термальной минеральной воды. Озера находятся в окружении хвойной и лиственничной тайги, богатой орехами, ягодами и грибами. В водах водится большое количество рыбы.



Рис. 17. Колпашево. Второе Светлое озеро. Фото Е.В. Ситниковой, 2018 г.

Статус особо охраняемой природной территории имеет также минеральный источник «Чажемто», расположенный в 40 км к югу от Колпашева. На его основе в 1994 г. открыли санаторий, но еще задолго до этого жители Томска и районов области регулярно приезжали сюда в летние месяцы на берег р. Чай, чтобы поправить или укрепить своё здоровье с помощью сапропелевой грязи и местных минеральных вод.

В самом центре города находится ещё один памятник природы – кедровый парк. Парк был открыт в июне 1962 г. Здесь размещались различные аттракционы, находился кинотеатр «Север», библиотека. Парк и по сей день является не только украшением, но и «лёгкими» города. Воздух здесь удивительно чистый, насыщенный природными фитонцидами.

В 12 км к югу от Колпашева, близ села Озерного, находятся уникальные приречные ивняки, состоящие из 7 видов различных ив с включением высокоствольных белого и черного тополей.

В результате проведенного исследования установлено, что Колпашево как поселение, основанное во второй половине XVII в., имеет богатую историю разных временных периодов. Здесь сохранилась историческая дореволюционная застройка, представляющая историко-культурную ценность. История политических ссылок 1920–30-х гг. составляет отдельную главу в жизни поселения, которую нельзя забыть. Период наиболее активного развития города приходится на середину XX в., когда Колпашево стало базой нефтегазового комплекса страны по разведке запасов, освоению месторождений и добыче ресурсов. Здесь также был создан космический комплекс, который участвовал в сопровождении первого в мире искусственного спутника Земли. Богатое природное окружение придаёт этому поселению особый колорит, здесь во всей полноте можно ощутить широту сибирской природы. Кризис 1990-х оказал значительное влияние на экономику страны в целом, особенно в этот период пострадали малые города, и г. Колпашево не стал исключением. В связи с закрытием градообразующих предприятий численность трудоспособного населения города существенно уменьшилась. Значительный природный и историко-культурный потенциал г. Колпашево может способствовать его развитию и созданию новых рабочих мест. Поэтому сохранение природного и культурного наследия является актуальной и первоочередной задачей.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Бойко В.П., Ситникова Е.В.* Сибирское купечество и формирование архитектурного облика г. Томска в XIX – начале XX в. Томск : Изд-во Том. гос. архит.-строит. ун-та, 2008. 180 с.
2. *Архитектура городов Томской губернии и сибирское купечество (XVII – начало XX века)*. Томск, Бийск, Барнаул, Кузнецк, Колывань, Камень-на-Оби, Нарым, Мариинск, Новоноколаевск / под ред. В.П. Бойко. Томск : Изд-во Том. гос. архит.-строит. ун-та, 2011. 480 с.
3. *Бойко В.П., Ситникова Е.В., Богданова О.В., Шагов Н.В.* Формирование архитектурного облика городов Западной Сибири в XVII – начале XX в. и местное купечество (Тобольск, Тюмень, Томск, Тара, Омск, Каинск). Томск : Изд-во Том. гос. архит.-строит. ун-та, 2017. 324 с.
4. *Ситникова Е.В.* Архитектурный облик старинного сибирского города Тобольска // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2013. № 4 (41). С. 100–114.

5. Ситникова Е.В., Пухлякова М.Ю. Вклад тюменского купечества в формирование культового зодчества г. Тюмени // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2016. № 3 (56). С. 70–81.
6. Ситникова Е.В. Становление и развитие архитектуры сел бывшей Кетской волости // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2020. Т. 22. № 1. С. 9–28.
7. Нарымский край. Материалы статистико-экономического исследования 1910–11 гг., собранные и разработанные под руководством и редакцией В.Я. Нагнибеды. Томск, 1927.
8. Титова О.М. «Купцы» Колесниковы // Газета Колпашевская. 2019. 05 июля. № 27 (706). С. 7.
9. Титова О.М. «Капиталисты» крестьяне Волковы // Газета Колпашевская. 2019. 19 июля. № 29 (708). С. 7.

#### REFERENCES

1. Boyko V.P., Sitnikova E.V. Sibirskoye kupechestvo i formirovaniye arkhitekturnogo oblika g. Tomsk v XIX – nachale XX v. [Siberian merchants and architecture of the city of Tomsk in the 19th and early 20th centuries]. Tomsk: TSUAB, 2008. 180 p. (rus)
2. Boyko V.P. (Ed.) Arkhitektura gorodov Tomskoj gubernii i sibirskoe kupechestvo (XVII – nachalo XX veka). Tomsk, Biysk, Barnaul, Kuzneczk, Koly`van`, Kamen`-na-Obi, Nary`m, Mariinsk, Novonikolaevsk [Tomsk province architecture and Siberian merchants (17–20th centuries). Tomsk, Biysk, Barnaul, Kuznetsk, Kolyvan, Kamen-na-Obi, Narym, Mariinsk, Novonikolaevsk]. Tomsk: TSUAB, 2011. 480 p. (rus)
3. Boyko V.P., Sitnikova E.V., Bogdanova O.V., Shagov N.V. Formirovaniye arkhitekturnogo oblika gorodov Zapadnoy Sibiri v XVII – nachale XX v. i mestnoye kupechestvo (Tobol'sk, Tyumen', Tomsk, Tara, Omsk, Kainsk) [Architecture of West Siberian cities in the 17th and early 20th centuries and local merchants (Tobolsk, Tyumen, Tomsk, Tara, Omsk, Kainsk)]. Tomsk: TSUAB, 2017. 324 p. (rus)
4. Sitnikova E.V. Arkhitekturnyy oblik starinnogo sibirskogo goroda Tobol'ska [Architecture the ancient Siberian city of Tobolsk]. *Vestnik of Tomsk State University of Architecture and Building*. 2013. No. 4 (41). Pp. 100–114. (rus)
5. Sitnikova E.V., Pukhlyakova M.Yu. Vklad tyumenskogo kupechestva v formirovaniye kul'tovogo zodchestva g. Tyumeni [Contribution of Tyumen merchants to the formation of church architecture in Tyumen]. *Vestnik of Tomsk State University of Architecture and Building*. 2016. No. 3 (56). Pp. 70–81. (rus)
6. Sitnikova E.V. Stanovlenie i razvitie arhitektury sel byvshej Ketskoj volosti [Formation and development of architecture of villages of the former Ket volost]. *Vestnik of Tomsk State University of Architecture and Building*. 2020. No. 1 (22). Pp. 9–28.
7. Nagnibeda V.Ya. (Ed.) Narymskii kraj [Narymsky region]. Materialy statistiko-ekonomicheskogo issledovaniya 1910–11 gg. Tomsk, 1927. (rus)
8. Titova O.M. Kupty Kolesnikovy [Merchants Kolesnikovs]. *Gazeta Kolpashevskaya*. 2019. No. 27 (706). Pp. 7. (rus)
9. Titova O.M. Kapitalistye krest'yane Volkovy [Capitalist peasants Volkovs]. *Gazeta Kolpashevskaya*. 2019.No. 29 (708). Pp. 7. (rus)

#### Сведения об авторе

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

#### Author Details

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

УДК 72.03

DOI: 10.31675/1607-1859-2020-22-5-25-35

*Н.У. БАБИНОВИЧ, Е.В. СИТНИКОВА,**Томский государственный архитектурно-строительный университет*

## **«ОБРАЗЦОВОЕ» СТРОИТЕЛЬСТВО В ГОРОДАХ РОССИИ И ТОМСКЕ**

Рассматриваются общие тенденции проектирования и строительства по «образцовым» проектам в стиле классицизм в городах России и Томске. Изучены предпосылки и этапы развития «образцового» проектирования и строительства в России в конце XVIII – начале XIX в. Типовое проектирование служило средством обеспечения быстрого и качественного строительства по всей стране. Это явление охватило почти все области проектирования и оказало сильное влияние на облик русских городов. Актуальность исследования обусловлена проблемами сохранения исторической застройки, соразданной по «образцовым» проектам, получившей широкое распространение в застройке русских городов в конце XVIII – начале XX в., а к настоящему времени находящейся на грани исчезновения. Несмотря на широкий круг авторов, занимавшихся изучением архитектуры классицизма в городах России, классицистическая архитектура сибирских городов, в частности г. Томска, изучена недостаточно.

Цель исследования – изучить этапы развития «образцового» проектирования, выявить объекты, выполненные по «образцовым» проектам в городах России и Томске, выполнить их сравнительный анализ. В статье применены методы: анализа научной литературы и привлеченных источников, сравнительного архитектуроведческого анализа и системно-структурного анализа информации.

Новизна исследования заключается в проведении сравнительного анализа застройки в стиле классицизм в городах России. В статье использованы ранее не опубликованные материалы архивных и натурных исследований.

В результате проведенного исследования установлено, что в городах России в конце XVIII – первой половине XIX в. было приостановлено стихийное строительство, улицы приняли четкие геометрические очертания, дома стали соответствовать заложенным требованиям, которыми сопровождались «образцовые» проекты. В сибирских городах и Томске строительство по «образцовым» проектам выполнялось чаще всего из дерева и продолжалось вплоть до конца XIX в. Построенные в этот период здания уже имели отклонения от строгих классицистических форм: четное количество окон, нарушение симметрии и резной декор.

**Ключевые слова:** архитектурный стиль; классицизм; регулярная планировка; «образцовое» строительство; архитектурный облик; архитектура России; архитектура Томска.

**Для цитирования:** Бабинович Н.У., Ситникова Е.В. «Образцовое» строительство в городах России и Томске // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2020. Т. 22. № 5. С. 25–35.

DOI: 10.31675/1607-1859-2020-22-5-25-35

*N.U. BABINOVICH, E.V. SITNIKOVA,**Tomsk State University of Architecture and Building*

## **MODEL CONSTRUCTION IN RUSSIAN CITIES AND TOMSK**

The article examines the general trends in design and construction in accordance with the model projects on classicism in Russia and the city of Tomsk. The development stages of design and construction in Russia late in the 18th and early 19th centuries are presented. Stand-

ard design ensures fast and high-quality construction throughout the country. This phenomenon covers almost and all design areas has a strong impact on the architecture of the Russian cities. The research concerns the preservation of historical buildings built in accordance with the model projects widespread in the Russian cities in the 18–19th centuries. Despite many works on classical architecture in the Russian cities, it has not been studied enough for Siberian cities and, in particular the city of Tomsk.

The purpose of this work is to study the development stages of the model design, identify objects built according to the model projects in Tomsk and other cities of Russia, and carry out the comparative analysis. The following methods are explored: the literature review, comparative architectural analysis and cross-sectional analysis of the data obtained.

The novelty is the comparative analysis of classical buildings in Russia. This research involves previously unpublished archival materials and field studies.

It is found that in the 18–19th centuries, the spontaneous construction was ceased in Russia. The streets took on clear geometric outlines and the houses met the given requirements accompanied by the model projects. In Tomsk and other Siberian cities, the model projects were based on wooden architecture that continued until the end of the 19th century. Buildings built during this period already had deviations from the classical style, namely the odd number of windows, symmetry breaking, and fillet decoration.

**Keywords:** architectural style; classicism; regular planning; model construction; architectural style; Russia; Tomsk.

**For citation:** Babinovich N.U., Sitnikova E.V. Obraztsovoe stroitel'stvo v gorodakh Rossii i Tomske [Model construction in Russian cities and Tomsk]. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture. 2020. V. 22. No. 5. Pp. 25–35.

DOI: 10.31675/1607-1859-2020-22-5-25-35

Первая треть XIX в. была периодом высокого расцвета архитектуры классицизма в России. Это время значительных достижений. К этому же времени относятся и самые значительные достижения в области «образцового» и повторного строительства XVIII–XIX вв., неразрывно связанные с развитием всей русской архитектуры и градостроительства. Культурному подъему способствовало распространение патриотических идей в русском обществе, особенно усилившееся после победоносного окончания Отечественной войны 1812 г. [1].

Для формирования архитектурного облика массовой жилой застройки городов особое значение имело «образцовое» проектирование и строительство. Индивидуальное проектирование велось только для значимых сооружений, таких как крупнейшие административные здания, соборы, гостиные дворы и жилые здания дворцового типа.

Стремление увеличить число «образцовых» проектов объясняется следующими моментами – нейтрализовать стихийную индивидуальную застройку и обеспечить стилистику архитектурного единства городской среды. Несомненно, увеличение числа «образцовых» проектов способствовало их более широкому использованию, но тем не менее значение типовых проектов как средства жесткого регулирования городской застройки постепенно падало. Большое число проектов и разрешение использовать их в любом сочетании, в зависимости от потребностей застройщика, сводили на нет возможности комплексного, ансамблевого строительства жилых зданий по типовым проектам. «Образцовые» проекты становились главным образом средством государственной пропаганды.

Комиссия, которая просуществовала 34 года, занималась не только регулированием планировки Петербурга и Москвы, но и созданием генеральных планов для 24 городов (Астрахани, Архангельска, Нижнего Новгорода, Твери, Ярославля, Казани, Новгорода, Костромы, Воронежа, Томска, Пскова, Витебска и др.) [2].

### **Этапы развития «образцового» проектирования**

1. В 1714–1737 гг. были созданы первые альбомы «образцовых» проектов.

1714 г. – создание первых альбомов «образцовых» жилых домов для городов, разработанных архитектором Д. Трезини. Серия состояла из трех вариантов домов: для «подлых», домов для «зажиточных», домов для «именитых» [3].

Главной особенностью этих проектов было то, что дома стали выносить на красную линию и требовалось располагать постройку продольным фасадом вдоль улицы, а размещение хозяйственных построек и служб – по периметру участка. Новые требования распространялись и на внутреннюю планировку домов. Предполагалось расположение комнат в два ряда, большие комнаты выходили на главную улицу и меньшие во двор, выходы стали устраивать со стороны улицы. При строительстве деревянных домов, для поддержания единой стилистики городов, требовалось имитировать каменные, т. е. дома обшивались и красились черленью или расписывались под кирпич.

1721 г. – выпущена серия проектов загородных жилых домов с приложением.

1722 г. – разработан проект «образцовой» планировки населенных пунктов в сельской местности.

2. 1737–1762 гг. – создана Комиссия о Санкт-Петербургском строении.

В 1737 г. создана Комиссия о Санкт-Петербургском строении, по специальному заданию – провести перепланировку, планомерную застройку и благоустройство Санкт-Петербурга. Комиссией разработаны и внедрены новые «образцовые» проекты жилых домов.

В 1742 г. произошло упразднение Комиссии о Санкт-Петербургском строении, казнь архитектора П.М. Еропкина и ссылка архитектора И. Бланка в Сибирь.

В 1744–1745 гг. издан альбом-книга, содержащая чертежи ряда регулярных планировок, подписанная И. Бланком. Архитектору Кнобелю поручено выполнить «образцовые» проекты каменных зданий.

3. 1762–1806 гг. – организация Комиссии о строении Санкт-Петербурга и Москвы.

В 1762 г. была организована Комиссия о строении Санкт-Петербурга и Москвы, которая провела большие реконструкционные работы в городах России и разработала новые «образцовые» проекты.

С 1761 по 1796 г. состав сотрудников комиссии менялся: архитектор А.В. Квасов (умер в 1772 г.), И.Е. Старов, с 1774 до 1796 г. возглавлял работы И. Лем.

В 1773 г. архитектором П. Бортниковым были сделаны проекты небольших «образцовых» домов для окраинных районов Москвы.

В 1776 г. – конце 1780-х гг. Комиссией о строении Санкт-Петербурга и Москвы на основе опыта проектирования и строительства было отобрано для застройки городов 8 проектов: 5 – для каменных и деревянных жилых зданий и 3 – для каменных зданий с лавками. Выпуск проектов был необходим в связи с переходом к составлению планов многих городов.

Альбомы, выпущенные Комиссией о строении Санкт-Петербурга и Москвы:

В первую группу вошли 5 примерных фасадов:

№ 1. Каменным сплошным и несплошным домам;

№ 2. Каменным же домам на погребках в один этаж с мезонином;

№ 3. На каменных погребках в один этаж каменным и деревянным домам;

№ 4. Деревянными домам на каменных фундаментах;

№ 5. Деревянными же домам без каменных фундаментов.

Вторую группу составляли 3 варианта зданий с лавками:

№ 6. Каменным домам с лавками;

№ 7. Торговым домам на первый случай в один этаж;

№ 8. Со временем надстроить и другой этаж .

1780-е гг. Комиссией о строении Санкт-Петербурга и Москвы были сделаны дополнительные «образцовые» проекты для деревянных домов, т. к. несмотря на меры, принимаемые для развития каменного строительства, города застраивались в основном деревянными зданиями.

4. 1806–1819 гг. – учреждение Строительного комитета при Министерстве внутренних дел.

5. В 1806–1840 гг. было утверждено 111 планов городов.

В их основу была положена прямоугольная система разбивки улиц, которая создала предпосылки для применения в строительстве «образцовых» проектов планировок жилых кварталов.

В 1835 г. вышел указ, обязывающий владельцев двух соседних участков при постройке домов объединять их одним фасадом, выполненным по «образцовому». Владельцы свободных участков должны были застраивать их в установленные для этого сроки, причем указывалось, что дома должны быть сооружены только по выданным из Комитета планам и фасадам, в противном случае «неправильное строение подлежало сносу за счет хозяина». Такими мерами старались добиться единообразия в застройке г. Санкт-Петербурга.

В 1836 г. выпущено руководство «Полная архитектура городских и сельских хозяев...», Санкт-Петербург. В данном руководстве разработаны даже вопросы санитарного оборудования зданий (приводятся проекты устройства ванн, даются описания печей с калорифером, устройство водопровода и уборной).

В 1839 г. выпущено руководство к строительству автора И.А. Двигубского «Лексикон хозяйства». Выпущено руководство к строительству автора А.А. Рудольского «Архитектурный альбом для хозяев», Санкт-Петербург.

С появлением в России железных дорог учрежден комитет, в состав которого входили К.А. Тон и Н.Е. Ефимов, разрабатывавший проекты путевых зданий для всей линии Петербург – Москва. Строительство военных поселений и казарм велось специальным Департаментом военных поселений, в проектиро-

вании их принимали участие К.А. Тон, А.А. Тон, А.П. Брюллов, А.И. Штакенштейндер.

6. В 1840–1841 гг. выпущены новые альбомы чертежей.

В 1840–1841 гг. – новые альбомы чертежей «образцовых» фасадов, выполненных в «новом вкусе» и предназначенных для руководства «комитетами по устройству городов». Альбом включал 12 тетрадей со 178 фасадами и был издан Департаментом военных поселений.

1842 г. – выпущены проекты «образцовых» фасадов обывательских домов, выполнялись архитекторами департамента проектов и смет Главного управления путей сообщения и публичных зданий, среди которых были Л.И. Шарлемань, И.И. Шарлемань, Н.Е. Ефимов, Ф.И. Руска, К.А. Ухтомский, В.Е. Морган и др.

Таким образом, в России в конце XVIII – начале XIX в. происходили преобразования государственного и градостроительного масштаба, связанные с реконструкцией проектов жилого и общественного назначения. Во второй половине XVIII в. стали применять «образцовые» проекты жилых домов, а разработка площадей и типовых кварталов получает дальнейшее развитие [4].

Можно отметить несколько этапов перехода от роскоши барокко и рококо к сдержанному классицизму.

1760–70-е гг. – ранний русский классицизм (ведущие архитекторы А.Ф. Кокоринов, Ж.Б. Валлен-Деламот, А. Ринальди). Архитектура еще сохраняет пластику и динамику форм, присущую барокко и рококо.

1770–90-е гг. – годы зрелой поры классицизма (ведущие архитекторы М.Ф. Казаков, В.И. Баженов, И.Е. Старов). Создание классического типа столбчатого дворца-усадьбы и крупного комфортабельного жилого дома.

Новая серия «образцовых» проектов жилых домов и других частных построек была издана в 1809–1812 гг. Пять гравированных альбомов, объединенных под общим названием «Собрание фасадов, Его Императорским Величеством высочайше апробированных для частных строений в городах Российской империи», – это документ, с исчерпывающей полнотой отражающий методику применения типизации в жилом строительстве в начале XIX в.

В связи с большим объемом проектного материала, содержащегося в «Собрании фасадов», его издание растянулось на несколько лет. В 1809 г. вышли два альбома с содержащимися в них 100 проектами (рис. 1, 2).

В 1812 г. вышли еще два альбома, третий и четвертый со 124 изданиями, тем самым был завершён выпуск альбомов.

Издание пятого альбома пришлось на 1811 г., в нем были собраны проекты заборов и ворот.

Таким образом, все пять альбомов содержали 224 проекта жилых, хозяйственных, промышленных, торговых и других зданий и свыше 60 проектов заборов и ворот [4].

В дополнение к «Собранию фасадов» в 1812 г. были утверждены также 26 «образцовых» гравированных чертежей кварталов, которыми надлежало руководствоваться при проектировании кварталов и их разделении на участки [5].

В Сибири в конце XVIII в. отмечается явный недостаток специалистов, первые назначения на должности губернских архитекторов были сделаны

лишь в конце 1770 – начале 80-х гг. (Иркутское, Кольванское и Тобольское наместничества). Поэтому к концу XVIII в. в России окончательно складывается сообщество губернских архитекторов, задачей которых было реализовать массовое строительство общественных и жилых зданий по «образцовым» проектам, присланным из столицы, в которой уже шло строительство по этим проектам. Если проследить застройку российских городов, то очевидно, что в любом городе можно встретить постройку, выполненную по «образцовому» проекту. Если сравнить дома, построенные по одному «образцовому» проекту в разных регионах страны, то можно наглядно увидеть, как работала система типового проектирования и строительства в конце XVIII – первой половине XIX в. Для примера выбран проект небольшого дома с мезонином из «Собрания фасадов, Его Императорским Величеством высочайше апробированных для частных строений в городах Российской империи» (рис. 3).

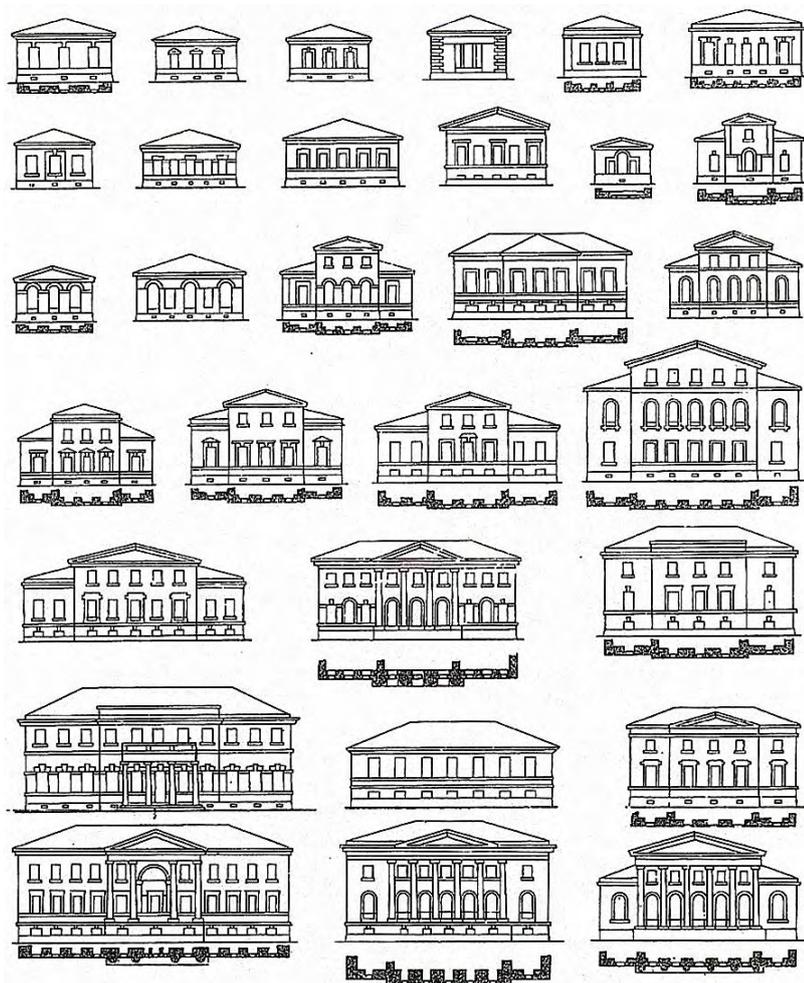


Рис. 1. Лист из «Собрания фасадов, Его Императорским Величеством высочайше апробированных для частных строений в городах Российской империи». Фасады первого альбома 1809 г. [4]

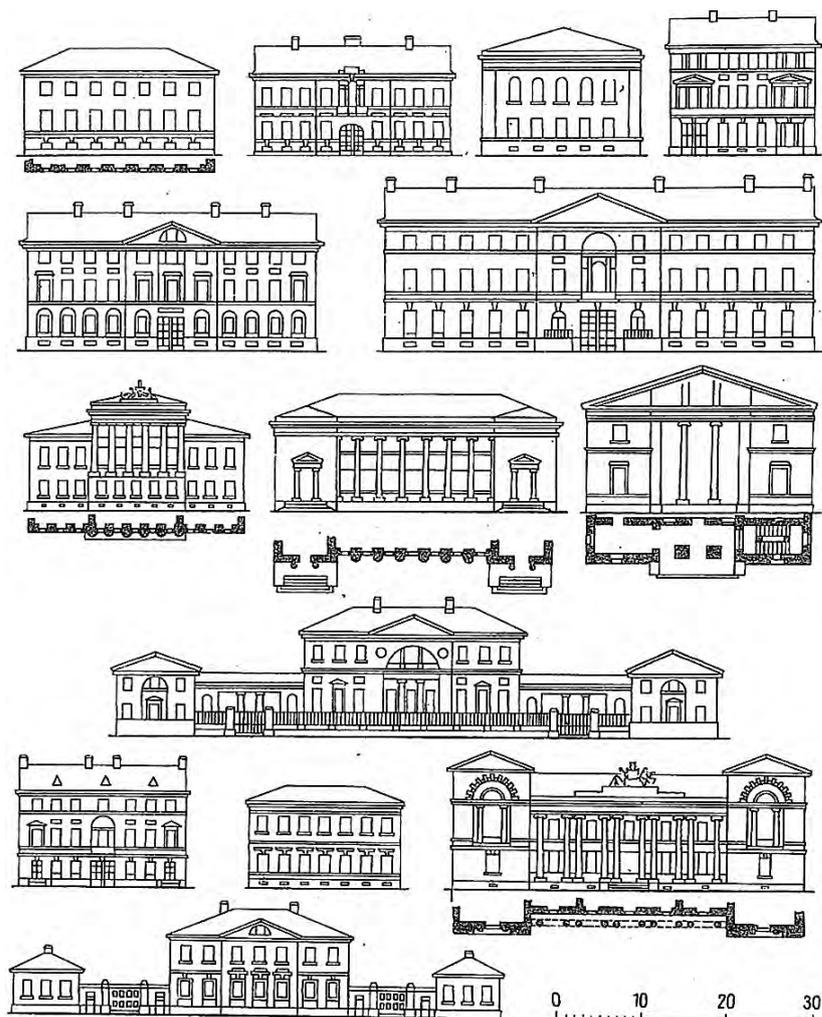


Рис. 2. «Собрание фасадов». Фасады второго альбома 1809 г.

Рис. 3. Проектный фасад дома с мезонином из «Собрания фасадов, Его Императорским Величеством высочайше апробированных для частных строений в городах Российской империи». Фасады первого альбома 1809 г.



По данному проекту был построен дом купца Давыдова на ул. Пятницкой, 62, в Москве (рис. 4). На главном фасаде здания – семь окон по первому этажу и три окна на мезонине, завершающемся треугольным фронтоном с полуциркульной люкарной и двухскатной крышей. Оконные проемы оформлены профилированными наличниками, а три окна в центре на первом этаже выделены рустом и замковыми камнями.

По такому же проекту построен старинный особняк конца XVIII в. в Ростове на ул. Ленинской, 5, в котором сейчас размещается пансионат «Дом с мезонином» (рис. 5). Незначительные отличия в оформлении здания не влияют на общее восприятие дома, отвечающего всем признакам классицизма.



Рис. 4. Дом с мезонином купца Давыдова на ул. Пятницкой, 62, в Москве [7]



Рис. 5. Пансионат «Дом с мезонином» на ул. Ленинской, 5, в Ростове

Сибирские дома, построенные по этому «образцовому» проекту, выполнены из дерева, хоть и на каменном основании. Такие дома имитировали каменную архитектуру и повторяли те же композиционные приемы. Эти здания обшивались профильной доской, а углы выделялись «под руст». Частные дома, выполненные на базе «образцовых» фасадов, нередко имели мезонин [6].

Примерами таких объектов могут являться: дом купца И.Г. Гусева на ул. Обороны, 43б, в г. Минусинске Красноярского края (рис. 6) и дом с мезонином на ул. Пристанской, 1, в Тюмени (рис. 7). Обшивка фасадов домов горизонтальной профильной доской имитирует руст кирпичной кладки. В отличие от тюменского объекта с аутентичным классицистическим декором, минусинский дом с мезонином хоть и имеет соответствующие пропорции, однако дополнен резным эклектичным декором и балконом на кронштейнах. Это объясняется тем, что в Сибири строительство по «образцовым» проектам продолжалось и во второй половине XIX в., в период расцвета эклектики, богатой на замысловатый резной декор.



Рис. 6. Дом с мезонином И.Г. Гусева в г. Минусинске. Фото начала XX в.



Рис. 7. Дом с мезонином на ул. Пристанской, 1, в Тюмени

В губернском г. Томске также можно было встретить дома, построенные по данному проекту. Наиболее ранний из них – дом томского коменданта Томаса де Вильнева, в котором в 1791 г. останавливался А.Н. Радищев (рис. 8). Однако в данном случае здание двухэтажное с полноценным кирпичным этажом. В остальном объект полностью отвечает стилистике классицизма. Тогда как другой пример – дом золотопромышленников Филимоновых на ул. Почтамтской (совр. пр. Ленина) в г. Томске – уже украшен резными наличниками (рис. 9).



Рис. 8. Дом томского коменданта Томаса де Вильнева, в котором в 1791 г. останавливался А.Н. Радищев



Рис. 9. Дом золотопромышленников Филимоновых на ул. Почтамтской (совр. пр. Ленина) в г. Томске. Не сохранился

Надо отметить, что в конце XIX – начале XX в., со сменой «архитектурной моды», здания достаточно часто получали новое оформление фасадов. Поэтому не исключено, что строгий классицистический дом в период эклектики мог быть украшен резным декором.

В Томске можно наблюдать и такие отклонения от «образцового» проектирования, как применение четного количества окон. Так, например, дом П. Каймановича на ул. Спасской (совр. ул. Советская, 34) запроектирован и построен с более развитой центральной частью – в четыре окна, вместо трех, что нарушило устоявшиеся пропорции в восприятии дома с мезонином, и здание больше похоже на двухэтажный дом (рис. 10, 11). Главный вход, выходящий на главный фасад, нарушает симметрию постройки (рис. 11).

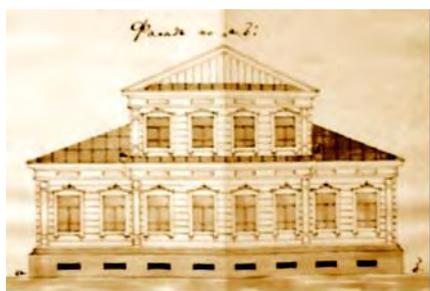


Рис. 10. Проект, заявление П. Каймановича на строительство дома по ул. Спасской (совр. ул. Советская) в г. Томске. Чертеж из фондов ГАТО



Рис. 11. Дом с мезонином по ул. Советской, 34, в г. Томске

Таким образом, по результатам проведенного анализа можно утверждать, что в городах России в конце XVIII – первой половине XIX в. было полностью приостановлено стихийное строительство как общественных зданий, так и жилых домов. Улицы приняли четкие геометрические контуры, дома стали соответствовать заложенным требованиям, которыми сопровождались «образцовые» проекты. Единственный недостаток: все города стали застраиваться как под копирку и лишились своей индивидуальности.

В сибирских городах и Томске строительство по «образцовым» проектам выполнялось чаще всего из дерева и продолжалось вплоть до конца XIX в. Построенные в этот период здания уже имели отклонения от строгих классицистических форм (четное количество окон, нарушение симметрии) и украшались резным декором. В результате здания приобретали индивидуальные черты, что свойственно периоду эклектики.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бабинович Н.У., Ситникова Е.В. Классицизм в застройке городов европейской части России и Сибири // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2019. Т. 22. № 2. С. 9–23.
2. Манонина Т.Н. Формирование застройки городов Западной Сибири в первой половине XIX в. // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2010. № 3. С. 59–65.
3. Иванов В.Н. «Образцовые» проекты в жилой застройке русских городов XVIII–XIX. Москва : Госстройиздат, 1961.
4. Ожегов С.С. Типовое и повторное строительство в России в XVIII–XIX веках. Москва : Стройиздат, 1984.
5. Белецкая Е., Крашенинникова Н., Чернозубова Л., Эрн И. «Образцовые» проекты в жилой застройке русских городов XVIII–XIX вв. Москва : Госстройиздат, 1961.
6. Олейник А.Ю., Ситникова Е.В. Применение «апробированных» фасадов в деревянной архитектуре г. Томска второй половины XIX в. // Региональные архитектурно-художественные школы. 2014. № 1. С. 233–238.
7. Улица Пятницкая, 62. Дом с мезонином купца Давыдова. URL: [https://progulki-pomskve.ru/publ/doma/pjatnickaja\\_62](https://progulki-pomskve.ru/publ/doma/pjatnickaja_62)

#### REFERENCES

1. Babinovich N.U., Sitnikova E.V. Klassitsizm v zastroyke gorodov Rossii i Sibiri [Classicism in housing development in European Russia and Siberia]. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture*. 2019. V. 22. No. 2. Pp. 9–23. (rus)
2. Manonina T.N. Formirovaniye zastroyki gorodov Zapadnoy Sibiri v pervoy trety XIX v. [Urban development in West Siberia late in the 19th century]. *Vestnik of Tomsk State University of Architecture and Building*. 2010. No. 3. Pp. 59–65. (rus)
3. Ivanov V.N. Obraztsovyye proyekty v zhiloy zastroyke russkikh gorodov XVIII–XIX vv. [Projects of housing development in Russian cities in the 18–19th centuries]. Moscow: Gosstroizdat, 1961. (rus)
4. Ozhegov S.S. Tipovoye i povtornoye stroitelstvo v Rossii v XVIII–XIX vekakh [Standard and recurrent construction in Russia in the 18–19th centuries]. Moscow: Stroizdat, 1984. 169 p. (rus)
5. Beletskaya E., Krashenninnikova N., Chernozubova L., Ern I. Obraztsovyye proyekty v zhiloy zastroyke russkikh gorodov XVIII–XIX vv. [Projects of housing development in Russian cities in the 18–19th centuries]. Moscow, 1961. (rus)
6. Oleinik A., Sitnikova E.V. Primeneniye aprobirovannykh fasadov v derevyannoi arkhitekture g. Tomska vtoroi poloviny XIX v. [Facades in wooden architecture of Tomsk

late in the 19th century]. *Regional'nye arkhitekturno-khudozhestvennye shkoly*. 2014. No. 1. Pp. 233–238. (rus)

7. Ulitsa Pyatnitskaya, 62. Dom s mezoninom kuptsa Davydova [62, Pyatnitskaya Street, Davydov's House with a mezzanine]. Available: [https://progulkipomoskve.ru/publ/doma/pjatnickaja\\_62](https://progulkipomoskve.ru/publ/doma/pjatnickaja_62)

#### **Сведения об авторах**

*Бабинович Надежда Устиновна*, ст. преподаватель, Томский государственный архитектурно-строительный университет, 634003, г. Томск, пл. Соляная, 2, [nadezda.babinovich@gmail.com](mailto:nadezda.babinovich@gmail.com)

*Ситникова Елена Владимировна*, канд. архитектуры, доцент, Томский государственный архитектурно-строительный университет, 634003, г. Томск, пл. Соляная, 2, [elensi@vtomske.ru](mailto:elensi@vtomske.ru)

#### **Authors Details**

*Nadezhda U. Babinovich*, Senior Lecturer, Tomsk State University of Architecture and Building, 2, Solyanaya Sq., 634003, Tomsk, Russia, [nadezda.babinovich@gmail.com](mailto:nadezda.babinovich@gmail.com)

*Elena V. Sitnikova*, PhD, A/Professor, Tomsk State University of Architecture and Building, 2, Solyanaya Sq., 634003, Tomsk, Russia, [elensi@vtomske.ru](mailto:elensi@vtomske.ru)

УДК 711.4-112:72.035(470)

DOI: 10.31675/1607-1859-2020-22-5-36-49

*В.М. МЖЕЛЬСКИЙ,  
Новосибирский государственный  
архитектурно-строительный университет (Сибстрин)*

## **ТЕОРИЯ И ФАКТОЛОГИЯ ЭВОЛЮЦИИ АРХИТЕКТУРНЫХ СТИЛЕЙ В ТРУДАХ ИССЛЕДОВАТЕЛЕЙ XIX–XX ВВ.**

Проблеме возникновения и развития архитектурных стилей уделяло внимание не одно поколение исследователей, начиная с Г. Вёльфлина и заканчивая современными историками архитектуры. При этом, несмотря на наличие консенсуса у ученых по поводу очевидных фактов, обращает на себя внимание не только разница взглядов на основные причины эволюции стилей, но и различие самих подходов исследования. В статье акцентируется внимание на отдельных вопросах данной темы. Затронута проблема проявления закономерностей эволюции архитектурных стилей не только в далёком прошлом, но и в XX в. Автор в сравнительном контексте рассматривает научные подходы и выводы различных исследователей по этому вопросу, выявляет как сходство, так и различие этих мнений, а также их соответствие фактам.

Актуальность исследования обусловлена необходимостью сопоставления фундаментальных научных трудов, касающихся данной темы, с новыми исследованиями в этой области, а также рассмотрения истории этого вопроса и систематизации имеющегося материала.

Цель исследования: сравнительный анализ закономерностей эволюции архитектурных стилей, отраженных в трудах исследователей XIX–XX вв., выявление сходств и различий их научных точек зрения по данному вопросу и некоторых черт полемики по этой теме в советских и современных научных публикациях.

Методологической и теоретической основой исследования является сравнительный анализ теоретических трудов историков, искусствоведов и архитекторов XIX–XX вв. и некоторых современных научных публикаций, касающихся данной темы.

В результате исследования были выявлены сходства и различия научных точек зрения различных исследователей на проблему эволюции архитектурных стилей, а также самих подходов исследования. Это было обусловлено различиями научных школ, целями и задачами исследований, научным интересом и мировоззрением самих исследователей.

**Ключевые слова:** архитектурный стиль; эволюция; тектоника; конструктивный стиль; орнаментальный стиль.

**Для цитирования:** Мжельский В.М. Теория и фактология эволюции архитектурных стилей в трудах исследователей XIX–XX вв. // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2020. Т. 22. № 5. С. 36–49.

DOI: 10.31675/1607-1859-2020-22-5-36-49

*V.M. MZHELSKY,  
Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering*

## **THEORY- AND FACTUALLY-BASED ARCHITECTURAL STYLE EVOLUTION IN THE WORKS OF RESEARCHERS OF THE 19–20TH CENTURIES**

The article analyzes the problem of the architectural style evolution not only in the past, but also in the 20th century. The comparative analysis of the different scientific approaches

to this issue shows both their similarities and differences as well as their compliance with the facts.

This paper compares the fundamental scientific works with new research results in the field and considers the history of this issue and systematizes the facts available.

The aim of this work is to carry out the comparative analysis of the architectural style evolution based on works of scientists of the 19–20th centuries, identify similarities and differences in their scientific points of view on this issue and discussions in the Soviet and modern literature.

The methodology and approaches of the study include the review of theoretical works of historians, art historians and architectural experts of the 19th and 20th centuries and also the up-to-date scientific publications.

Similarities and differences in the scientific opinions of researchers concerning the evolution of the architectural styles are identified due to the different scientific schools, goals and objectives of research, scientific interests and worldview of researchers.

**Keywords:** architectural style; evolution; tectonics; structural style; ornamental style.

**For citation:** Mzhelsky V.M. Teoriya i faktologiya evolyutsii arkhitekturnykh stilei v trudakh issledovatelei XIX–XX vv. [Theory- and factually-based architectural style evolution in the works of researchers of the 19–20th centuries]. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture. 2020. V. 22. No. 5. Pp. 36–49.  
DOI: 10.31675/1607-1859-2020-22-5-36-49

Проблема эволюции архитектурных стилей – одна из фундаментальных в истории и теории архитектуры. Выявлению её исторических особенностей и закономерностей уделяло внимание не одно поколение исследователей. Первым следует упомянуть Якоба Буркхардта, который ещё в 1843 г. высказал мысль о том, что на последних стадиях развития художественных стилей утрачивается истинное значение форм, которыми продолжают пользоваться лишь ради эффекта как такового, без понимания самой сути стиля. Эту фазу Буркхардт именовал «рококо», используя этот термин как по отношению к известному под этим названием стилю XVIII в., так и по отношению к поздней готике [1, с. 133]. Но первым, кто наиболее фундаментально затронул этот вопрос, пожалуй, был Генрих Вёльфлин, который в своём труде «Ренессанс и барокко» (1888 г.) достаточно подробно рассмотрел изменение стиля на примере одной эпохи и одной страны. Исследовав обширный фактический материал по этой теме, он охарактеризовал переход от ренессанса к барокко в Италии как переход от строгого к «свободному и живописному», от законченного к бесформенному. Он отмечал, что «словом “барокко” принято обозначать стиль, в котором растворился ренессанс, или, как нередко говорят, в который ренессанс выродился» [2, с. 52]. Причем и развитие самого барокко можно разделить на определенные стадии. В начале своего существования оно «было тяжело, массивно, лишено свободы и серьезно; постепенно его массивность тает. Формы становятся легче и радостнее и в конце концов переходят в игривое разрушение всех тектонических форм, которое мы называем рококо». Но после этого «разрушения всех тектонических форм» наступает новое их возрождение: «предшественником барокко был ренессанс; вслед за барокко появился новый классицизм» [Там же, с. 54]. Схожие закономерности развития стиля наблюдаются и в другие эпохи, поскольку «подобное явление

предлагает нам и история античного искусства, где постепенно появляется понятие вычурного, барочного» [2, с. 52].

Таким образом, Вёльфлину принадлежит заслуга открытия объективных закономерностей художественного строя архитектуры итальянского барокко. Исходя из развития художественного видения, он различал три последовательные имманентные ступени развития стиля (архаика, классика, барокко) во всякой художественной культуре. Однако более поздние исследователи отмечают, что по мере углубления научных знаний выявлялась невозможность уложить в рамки разработанных Вёльфлиным стилиевых критериев барокко всё многообразие резко несходных между собой явлений и форм искусства XVII–XVIII вв. в различных европейских странах [3, с. 11]. Впрочем, и сам Вёльфлин уже в упомянутой выше ранней своей работе указывал, что это превращение стиля имело для искусства Италии совершенно иное значение, чем на Севере. В Италии лучше всего знали, что есть строгость формы, а у северных народов архитектура ренессанса не создала столь совершенные, чистые и закономерные формы. При этом он в своём исследовании точно ограничивает поле наблюдения, отмечая, что единственного, общего для всей Италии, барокко нет, что только римское барокко является плодом наиболее полного и коренного преобразования ренессанса, в то время как в других местах «проглядывают остатки старого стиля, а новый стиль лишь высокопарно повторяет то, что раньше выражалось просто» [2, с. 53–54].

Что касается принципа трехчастной периодизации, то даже для архитектуры итальянского Возрождения он сомнителен, т. к. некоторые более поздние исследователи, отмечая глубокие и принципиальные различия между архитектурой до и после 1520-х гг., предлагают рассматривать общий ход развития итальянской архитектуры XV–XVI вв. в целом как двухчастный [4, с. 45]. Но и сам Вёльфлин писал, что, по крайней мере, в Риме высокий ренессанс не завершился отличным от него поздним ренессансом; наоборот, «его высшая точка оказалась началом пути к барокко» [2, с. 55].

Попытку проанализировать развитие стилей архитектуры и изобразительных искусств и выявить закономерности их эволюции предпринял также немецкий историк искусства Эрнст Кон-Винер. В своем известном труде «История стилей изящных искусств» (1910 г.) он пришёл к выводу, что из исторической последовательности развития европейских стилей, от крито-микенского до стиля XIX столетия, вытекает, что всякий раз за конструктивным стилем следует декоративный, а затем орнаментальный стиль, который снова вытесняется конструктивным, и каждый стиль постепенно развивается из предыдущего. При этом он отмечал, что явления стиля в истории человечества чрезвычайно разнообразны, а наше понятие о красоте относительно, что «не только мнения отдельных людей, но и вкусы эпох расходятся между собой» [5, с. 211, 213]. То есть он по-своему уточнил и переформулировал то, что ранее выявил Вёльфлин, рассмотрев процесс развития художественных стилей на более обширном европейском материале, существенно расширив хронологические и географические границы исследования. При этом Кон-Винер в своих обобщающих выводах сознательно избегает характеристик исторических стилей. Он подмечает в них только две тенденции: конструктив-

ную и деструктивную и рассматривает их развитие с точки зрения чередования этих тенденций. Отбросив частности, он стремился точно охарактеризовать общие закономерности.

В конструктивном, или тектоническом, стиле главным должна быть в стене плоскость, преобладают прямые линии, стены и устои ясно выражают силу упора, они ясны и в своей структуре. В декоративном стиле, наоборот, получают развитие те стилистические формы, которые можно назвать самодовлеющими, лишенными тектонического чувства: колонны, пилястры и стены разрушаются живописно прочувствованной, выступающей из плоскости декорацией, усложняется объемно-пространственная форма, ярко выражен синтез архитектуры и изобразительных искусств. К конструктивным стилям Кон-Винер относил дорический стиль Древней Греции, романский – Средневековья, ранний ренессанс Италии; к декоративным – эллинистический и римский стиль, развитую готику и барокко. Он так же, как и Вёльфлин, выделял и последний тип – развитой орнаментальный стиль, в котором совершенно исчезли все целесообразные формы, орнамент повсюду главенствует, и все задачи сводятся к тому, чтобы достигнуть впечатления возможно большего богатства. Таковы поздний римский стиль, готика и рококо [5, с. 211–213]. То есть Кон-Винер разделяет стили на типы, и каждый исторический стиль может быть причислен по определенным признакам либо к конструктивному, либо к начальной или поздней стадии деструктивного стиля.

Следует отметить, что уже после опубликования труда Э. Кон-Винера Г. Вёльфлин издает исследование под названием «Основные понятия истории искусства. Проблема эволюции стиля в новом искусстве» (1915 г.), посвященное изобразительному искусству и архитектуре стран Западной Европы Нового времени. Продолжая и развивая тему, затронутую ещё в «Ренессансе и барокко», и учитывая новые научные данные, он анализирует развитие художественного творчества в контексте борьбы и смены пяти пар противоположностей: 1) линейности и живописности; 2) плоскостности и глубины; 3) замкнутой формы и открытой формы; 4) тектонического начала и атектонического начала; 5) безусловной ясности и неполной ясности. Причем процессы эти происходят параллельно во всех видах искусства, но полного параллелизма нет, особенно если речь идёт о разных странах и регионах. По словам учёного, «народы и поколения движутся различным темпом» [6, с. 255]. Здесь он отмечает сложность процессов исторического развития стилей, обусловленную различными обстоятельствами, в том числе национальным характером, но не даёт этому подробного объяснения, делая упор, прежде всего, на анализ художественной формы.

В заключении к этой своей работе Вёльфлин уделяет внимание периодичности развития искусства, которую до него уже допускал Якоб Буркхардт. Он отмечает, что «понятие периодичности предполагает факт прекращения эволюции, а затем возобновления её» [Там же, с. 276], и в качестве примера приводит обновление стиля около 1800 г., когда пережитки барокко и рококо были полностью вытеснены неоклассицизмом. При этом Вёльфлин отходит от той односторонней точки зрения на эволюцию стиля, которой он придерживался ранее, утверждая, что трафаретное объяснение, будто каждое явление должно порождать свою противоположность, мало удовлетворяет. Теперь он полага-

ет, что помимо внутренней эволюции художественной формы здесь играют роль и внешние обстоятельства, которым, по его мнению, принадлежит главная роль в обновлении стиля. То есть периодичности способствует «общее изменение физиономии духовного мира», переоценка бытия во всех областях, что, в частности, выражает художественная критика эпохи [6, с. 276].

Возвращаясь к теме обновления искусства около 1800 г., Вёльфлин приходит к тривиальным, но, очевидно, необходимым на том этапе развития науки выводам, что для периодичности развития стилей скорее характерна «картина спирального движения» [Там же, с. 277], поскольку последующий период не является точным повторением предшествующего. И в предшествующий период при переходе от Средневековья к Новому времени старое и новое переплетаются так тесно, что иногда трудно «отрезать одно от другого» и определить, с какого момента следует начинать главу о новом искусстве [Там же, с. 278]. То есть существует проблема определения точки отсчёта для анализа развития стиля. Это утверждение особенно справедливо в отношении развития искусства Возрождения за пределами тех областей Италии, где оно зародилось. Но даже там, где оно зародилось, затруднительно определить эту точку отсчёта, начало новой эпохи, хотя в целом явно прослеживается постепенная и последовательная смена периодов: судя по всему, гораздо проще констатировать не начало, а расцвет эпохи стиля. Здесь Вёльфлин выступает против строгих требований «чистоты» делений на периоды, отмечая, что в старой форме уже содержится новая. И это соответствует утверждению Кон-Винера о постепенном развитии нового стиля из предыдущего.

Научные труды Вёльффлина, являющиеся первыми попытками анализа развития стилей в архитектуре и изобразительных искусствах, служат классическим примером формального подхода в исследовании этой проблемы и до сих пор вдохновляют учёных [7, 155–157]. Но их справедливо критикуют за порой необоснованную фрагментарность и некорректность, которая становится понятна только благодаря контексту при достаточной эрудированности читателя. Например, когда Вёльфлин противопоставляет видение художественной формы на севере и на юге, то под севером он подразумевает в основном Германию, а под югом – Италию, не учитывая при этом Голландию, Францию, Испанию и т. д.

Продолжая тему эволюции архитектурных форм в различные эпохи, следует учитывать некоторые обстоятельства. Например, орнаментальная готика наиболее ярко проявилась в основном в культовом зодчестве, а также в архитектуре некоторых городских ратуш и дворцов. Но в архитектуре жилых, часто фахверковых и хозяйственных построек, она, как правило, имела иные, более конструктивные, утилитарные формы. И хотя фахверк со временем тоже усложняется, обогащается декоративными элементами или иногда сам в дальнейшем становится декором, лишаясь своей конструктивной роли, но всё равно процесс этот в жилой архитектуре не столь динамичен и кардинален, как в культовой. Кон-Винер упоминает это в своём труде, отмечая конструктивность гражданской готики.

Народная архитектура эпохи готики, барокко и рококо отличается от элитной. Она либо имеет совсем иной архаичный консервативный характер,

либо в более упрощённых формах воспроизводит то, что проявляется в полную силу в архитектуре, создаваемой элитами. Утилитарная по сути фортификационная архитектура также проходила свою особую эволюцию, отличную от эволюции культового зодчества. Поэтому если и приходится говорить об эволюции стиля, то её логичней отслеживать на примере изменений в архитектуре зданий какого-либо одного региона, типа и функционального назначения. Например, подобного рода изменения хорошо заметны в архитектуре главных фасадов итальянских церквей базиликального типа (рис. 1).



Рис. 1. Церковь Санто Спирито ин Сассия в Риме. 1538–1545 гг. Архитектор Антонио да Сангалло (а); церковь Сант Иньяцио в Риме. 1626–1650 гг. Архитектор Алессандро Альгарди (б); церковь Сант Анна ла Мизерикордия в Палермо. 1632 г. Фасад построен в 1736 г. по проекту Джованни Бьяджо Амико (в)

В процессе формирования и эволюции архитектурных стилей встречаются и другие их особенности. Например, в раннехристианской и византийской культовой архитектуре, а нередко и в архитектуре рококо, основной акцент переносится на интерьер здания, где может наблюдаться обилие живописи, орнамента, дематериализация архитектурных форм при сравнительно сдержанном убранстве фасадов. Всё это относится к особенностям синтеза искусств, складывающихся в те или иные эпохи.

Учитывая неравномерность развития архитектуры, обусловленную региональными, функционально-типологическими, сословными и иными причинами, необходимо разобраться с основными факторами, влияющими на это. И здесь подходы исследователей разнятся. Если Вёльфлин, в особенности в своих ранних работах, рассматривал эволюцию стиля в основном с точки зрения внутренней логики развития архитектурной формы, обусловленной изменениями в сфере психологии человеческого восприятия этой формы, то Кон-Винер изначально полагал, что основное влияние на этот процесс оказывают материальные движения в жизни народа и её экономике, а не развитие техники и не духовные движения, которые сами являются продуктом развития [5, с. 216]. Социально-экономическими причинами он объяснял расцвет, упадок и неравномерность развития архитектуры, формирование региональных особенностей того или иного стиля и задержку в развитии некоторых стилей.

Этой точки зрения придерживался и советский историк В.М. Фриче – автор труда «Социология искусства» (1926 г.). Согласно Фриче, повторяемость типов искусства объясняется повторяемостью общественно-экономических формаций. Так феодально-земледельческо-жреческая общественная организа-

ция существовала и в Египте, и в архаической Греции, и в Средние века на Западе; абсолютистские общества в эпоху эллинизма и в Европе в XVI, XVII, XVIII вв.; буржуазное общество в Греции классического периода, в Италии и Нидерландах XV–XVII вв. и в Европе второй половины XIX в. И все схожие по этим признакам общественно-экономические организации породили одинаковые или аналогичные типы искусства [8, с. 12–13]. Например, «всякому тектоническому стилю присуще нечто демократическое, потому что простота его форм делает доступной даже для бедняка любую из его красот <...> деструктивный, богатый орнаментикой стиль <...> позволяет вполне пользоваться своей красотой лишь достаточным классам» [Там же, с. 216]. При этом тектонический стиль всегда создается самым сильным народом своего времени (а другие народы и страны этот стиль известным образом дифференцируют), а в стилях, лишенных тектонического чувства, заложена нивелирующая интернациональная тенденция [Там же, с. 82].

Отталкиваясь от выводов Кон-Винера о характере синтеза искусств в различные эпохи, М.В. Фриче отмечал в истории разных народов смену господства отдельных видов изобразительного искусства. Так первоначально господствующая архитектура в процессе эволюции уступает место скульптуре, которая позже уступает место живописи [Там же, с. 74–75]. И это соответствует смене в архитектуре тектонического или конструктивного стиля декоративным стилем, т. е. рационального архитектурного мышления мышлением живописным, что, согласно Фриче, определяется социально-экономическим процессом накопления материальных благ у господствующих классов [Там же, с. 84]. Но эти процессы нуждаются в рассмотрении и с формалистской точки зрения, как предлагал Вёльфлин. Если архитектура изначально конструктивна и функциональна, то в скульптуре или пластике главную роль играет форма как таковая. Она ещё цельна и ясна в своих очертаниях, но основная её черта не конструктивность, а пластичность. Скульптуре свойственна большая свобода в работе с формой. Позже пластичность сменяется живописностью, когда форма, усложняясь, переходит в бесформенность, обогащается нюансами, ей начинают быть свойственны свободная неопределенность, декоративность. И здесь архитектура изменяет своей природе, «пытается воздействовать средствами, свойственными другому роду искусства: она становится живописной» [2, с. 72, 154]. Таким образом, развитие архитектурных форм идёт от простого к сложному, пока это усложнение не приходит к своему пределу, если внешние обстоятельства этому не препятствуют.

Советский историк и теоретик архитектуры М.Я. Гинзбург, судя по всему, также разделял взгляды Кон-Винера на эволюцию стиля. В своём труде «Стиль и эпоха» (1924 г.) он отмечал, что «когда появляется новый язык стиля, когда изобретаются новые элементы его, тогда, конечно, нет надобности разбивать их чем-либо иным – новое рождается большей частью как конструктивная или утилитарная необходимость, лишенная декоративных прикрас. Впоследствии появляются декоративные элементы, не нарушая сначала органической жизни памятника, пока насыщенность ими не переходит и эти границы, впадая в самодовлеющую игру декоративных элементов. Молодость нового стиля по преимуществу конструктивная, зрелая пора органична, увя-

дание декоративно. Такова примерная схема генетического роста значительного большинства стилей» [9, с. 119–120]. Вместе с тем Гинзбург, будучи не только историком архитектуры, но и практикующим архитектором, не рассматривает здесь социально-экономические причины эволюции стилей, подобно Вёльфлину анализируя логику развития архитектурной формы как таковой. Но позже он, придавая определяющее значение функции в архитектуре, касался и этих причин, отмечая, что для каждой эпохи наиболее характерны те или иные художественные организмы, и различая стили генетически более ценные и менее ценные, поскольку они, по его мнению, «в большей или меньшей степени обладают чертами, годными к перерождению, потенциальными возможностями созидания нового» [10, с. 10].

Цитируя Гинзбурга, Фриче отмечает, что он, в отличие от Кон-Винера, писавшего о двух основных типах архитектонического стиля: конструктивном и деструктивном, выделяет ещё и органический стиль. Если конструктивный стиль, по его словам, порождён практической целесообразностью, утилитарным стремлением, то органический представляет собой гармоническое сочетание целесообразности и украшений, а декоративный выражает собой торжество украшений над целесообразностью. Каждый архитектурный стиль проходит в своём развитии эти три фазы [8, с. 82–83].

А.К. Якимович в своём предисловии к изданию «Ренессанс и барокко» [2, с. 14–15] отмечал, что подобные подходы в исследовании истории искусств были выработаны ещё Вёльфлиным, что все его тезисы хорошо сопрягаются с исходными постулатами нормальной логики и вербального человеческого мышления, которое линейно и исходит из того, что всякое развитие имеет начало, апогей и завершение. Этому, судя по всему, соответствует и трёхстадийность развития искусства, вокруг которой традиционно ведутся дискуссии в искусствоведческой среде. Но вместе с тем для немецкого искусствознания было свойственно описывать историю искусства как историю смены и борьбы двух противоположных принципов. Это было в определенной мере унаследовано и другими искусствоведческими школами, в том числе советской. Здесь в качестве примера как раз и можно привести упомянутые выше пять оппозиций Вёльфлина. И такой подход, очевидно, восходит ещё к истокам гегелевской диалектической философии, а в дальнейшем и ницшеанской [1, с. 136–138]. Так в эпохе Возрождения было принято видеть ясное, рациональное аполлоническое начало, а в последующей эпохе дионисийское, стихийное, эмоциональное [3, с. 23].

Стилистические и хронологические различия развития архитектуры в странах Западной Европы XVII – первой половины XVIII в. исследователи объясняют разными причинами. Одни видели корни этих различий в национальном характере, в преобладающем мышлении творческой элиты той эпохи, другие, в том числе советские искусствоведы, – в общественно-политических и экономических причинах. В частности, было подмечено, что в таких странах, как Франция, Англия, Голландия, где в то время шёл активный процесс формирования национальных государств, движимый нарастающими силами капиталистического развития и завершающийся государственным объединением наций, сложился классицизм, а в Италии, Южной Германии, Фландрии, Испа-

нии и Португалии, где наиболее явно господствовала католическая контрреформация и были сильны феодальные пережитки, развивалось барокко [3, с. 21]. Впрочем, и во французском, и в английском классицизме XVII в. временами прослеживаются барочные черты, а само развитие этого классицизма связано с освоением заимствованных из Италии эпохи Возрождения ордерных форм. Но и этот классицизм первой волны во Франции сменило рококо.

А.М. Кантор и Г.А. Недошивин в связи с этим отмечали, что каждый новый исторический стиль теряет какую-то часть своей всеобщности по сравнению с более ранними стилями. Первоначальная цельность стиля подвергается размыванию, дроблению. Например, стиль эпохи эллинизма более многолик и многосоставен по сравнению с древнеегипетским искусством и греческой архаикой. И в Новое время, в отличие от Средневековья, многие крупные мастера не могут быть вмещены в рамки какого-либо стиля. Так нарастают и противоречия внутри стиля (классицизирующие тенденции в барокко, романтические – в классицизме и т. д.), что усиливает зыбкость, подвижность стилистических границ [11, с. 515].

М.В. Алпатов отмечал, что и само понятие стиля в искусствоведении толковалось по-разному, но при этом злоупотребление понятием стиля и его неправильное понимание не дают нам право вовсе его отбросить при изучении истории искусства. При этом он критикует концепцию, согласно которой через всю историю проходят всего два основных стиля, называемых то классицизм и романтизм, то ренессанс и барокко, указывая на то, что «потребность раскрыть закономерность в художественном развитии прошлого вполне оправданна, но это развитие приобретает слишком схематический характер» [12, с. 23]. Он также писал о сходстве в развитии искусства античности и Нового времени, указывая при этом, что подобные выводы встречаются уже в идеях итальянского историка и философа XVII–XVIII вв. Джамбаттисты Вико о круговороте культуры, хотя уже и сам Вико говорил не о параллельности кругов развития, а о движении, восходящем как бы по спирали: историческое развитие искусства, как и человечества в целом, идёт не всегда прямым, а часто извилистым путём.

Вслед за Вельфлиным М.В. Алпатов также выделяет три закономерные стадии развития художественного творчества: «раннюю», «зрелую» и «позднюю», или «архаику», «классику», «манеру». Но эта схема, по его мнению, не может считаться универсальным ключом для расшифровки развития всех стилей, потому что она не учитывает различные обстоятельства, которые не только задерживали переход от одной ступени к другой, но и порой придавали этим ступеням новое содержание [Там же, с. 24]. Алпатов предлагал различать вопрос о сходстве хода развития искусства от вопроса сходства самих художественных явлений, но отмечал, что «порою художники разных эпох близки друг другу, даже не подозревая об этом» [Там же, с. 25]. При анализе эволюции стиля, в отличие от Кон-Винера, его интересовало не соотношение конструктивного и декоративного начал, а развитие каждого конкретного исторического стиля до зрелой стадии, за которой наступает его упадок, но вместе с тем формируются основы нового стиля. В то же время он высказывает точку зрения, согласно которой разделы мировой истории искусства не отде-

лены преградами стилевых категорий, поскольку существует внутреннее родство великих произведений искусства разных эпох.

Но если М.В. Алпатов критиковал трехстадийную схему развития искусства именно как схему, не всегда учитывающую все обстоятельства, то Г.К. Вагнера, судя по всему, она вообще не устраивала. Известна его критика А.И. Некрасова за то, что он в своей книге «Очерки по истории древнерусского зодчества», вышедшей в 1936 г., «не преодолел тогдашнего увлечения гегелевской триадой, отразившегося на работах И. Иоффе, М.Я. Гинзбурга и др.» [13]. Для Г.К. Вагнера история древнерусской архитектуры представляла сложную картину сосуществования и смешения различных зарубежных влияний, региональных традиций и соответствующих им линий развития. Стили в тех условиях, по его мнению, отражали актуальные запросы наиболее активных слоев общества, и их изменения некорректно рассматривать как развитие с таким делением на периоды. Он в большей степени согласен с Б.Р. Виппером и А.И. Каплуном, различая широкое понятие «стиля эпохи», включающего в себя «все и всякие проявления стиля в искусстве этой эпохи, их общности и различия», и более узкое понятие «исторического стиля», представляющего собой конкретную линию развития архитектуры, в котором более определенно выражен исторический идеал [14, с. 28, 90]. В целом в советском искусствознании уже в середине XX в. было принято видеть в стиле широкую и ёмкую историко-художественную категорию, точнее, художественное выражение исторически обусловленного типа эстетического сознания, где могли противостоять друг другу различные прогрессивные и консервативные тенденции. И такой взгляд отличается от концепций вульгарного социологизма, видевшего в стиле лишь отражение определённой классовой идеологии.

Г.С. Кнабе, ссылаясь на В.И. Ленина, писал о том, что всякое теоретическое знание предполагает отвлечение от бесконечно живой подвижности и многогранности познаваемых объектов, тем самым – определенное их упрощение и обеднение. При этом Кнабе критикует односторонние подходы к исследованию истории культуры, отмечая, что «это цена, которую приходится платить за обнаружение внутренней сущности и внутренних связей предметов, за выявление общих абстрактных категорий, их объединяющих», что «историческая наука сполна заплатила эту цену в первой половине XX века, увлеченно создавая картину прошлого, в которой общество представало бы как система категорий – социально-экономических, социально-политических, идеологических – и, главное, которая бы этими категориями исчерпывалась. Развитие любой науки, однако, состоит в приближении теоретической схемы к истинной действительности, в том, чтобы теоретическое знание всё меньше упрощало и обедняло объект, всё полнее охватывая его в реальном многообразии сторон и оттенков» [15, с. 9]. Следовательно, всё определяется методом исследования и корректностью в формулировке его целей и задач.

В связи с этим примечателен взгляд С.О. Хан-Магомедова на проблему эволюции стилей в исследованиях, посвященных истории советской архитектуры 20–30-х гг. XX в. И.О. Бембель в своей статье рассматривает тезис, выдвинутый С.О. Хан-Магомедовым, о том, что историю архитектуры нельзя свести к единому и непрерывному поступательному движению, но что классика и мо-

дернизм представляют собой два разнородных «суперстиля», за которыми стоят две принципиально разные философские парадигмы [16, с. 30–33]. Хотя сам этот тезис не нов. Подобное можно встретить у Жермена Базена в его рассуждениях о двух типах художественного выражения, соответствующих двум типам жизненных установок, «одна из которых нацелена на безмятежное существование, другая патетически устремлена в будущее» [1, с. 136].

Однако исследование С.О. Хан-Магомедовым проблемы эволюции стилей не ограничивается этим тезисом, т. к. он отмечал, что история мировой архитектуры представляет собой сложную картину взаимовлияний и архитектуру любого народа можно сравнить с рекой, у которой наряду с основным истоком (национальные традиции) есть много притоков (влияния). Но в связи с накоплением опыта прошлого архитектурная преемственность становится всё более сложной и запутанной. Об этом может свидетельствовать период эклектики в архитектуре второй половины XIX в., когда расширение диапазона эстетических вкусов человека в процессе освоения достижений мировой культуры происходит одновременно со всё более усложняющейся избирательной оценкой художественных произведений различных периодов и народов. Но очевидно существует психологически оптимальный диапазон разнообразия художественных средств выразительности современной человеку архитектуры, в пределах которого и происходит формирование стиля [17, с. 33]. То есть необходимо учитывать и влияние вкусовых предпочтений эпохи на формирование архитектуры, поскольку она всё равно развивается в рамках характерного для данной эпохи эстетического идеала.

А в XX в. процессы формо- и стилеобразования приняли глобальный характер, в том числе благодаря средствам массовой информации. Тогда вместо зональных региональных стилей сформировалась глобальная стилевая система, а ускорившийся научно-технический прогресс ускорил процессы в архитектурно-строительной сфере. При этом для историка всегда важно найти первичные истоки тех или иных явлений [Там же, с. 6], но многие процессы становятся очевидными лишь с исторической дистанции.

Согласно С.О. Хан-Магомедову, каждый стиль – это всегда очень сложная, разнокомпонентная устойчивая система. Новый стиль с точки зрения широты амплитуды творческих поисков имеет как бы два основных пика – на этапе становления и на этапе завершения формирования развитой художественно-композиционной системы средств и приёмов выразительности. Период между двумя этапами характеризуется сужением амплитуды формально-эстетических поисков, концентрацией усилий на выработке стилевого единства [Там же, с. 8]. То есть новый современный стиль появился не как узкое стилевое течение, постепенно расширявшее амплитуду средств и приёмов, а уже на раннем этапе возникает как очень развитый комплекс средств и приёмов, хотя ещё и недостаточно связанных между собой, но уже обозначивших общие контуры стиля. Его можно сравнить с ветвистой кроной дерева без чётко выявленного «ствола» – стилевого стержня. На следующем этапе идёт борьба за то, что признать за этот «ствол», а затем то, что было принято за «ствол», отбрасывает многие «ветви» общей стилевой кроны и пробивается сквозь традиционные художественно-композиционные системы, опираясь,

прежде всего, на научно-технические достижения и логику формообразования. Когда сформировавшийся «ствол» нового стиля оголён и ещё не успел вырастить разветвлённую крону, многие ветви этой кроны лежат, образно говоря, у основания этого «ствола». Это те возникшие на этапе становления ростки стиля, которые были отброшены на следующем этапе, но которые оказываются опять востребованными в дальнейшем.

В качестве примера такого процесса образования нового стиля можно привести развитие архитектуры советского авангарда, или конструктивизма, 20–30-х гг. XX в. По С.О. Хан-Магомедову, протоконструктивизм (протоавангард) – это движение через различные стилистические течения и концепции к стилевому единству в рамках архитектурного авангарда. А постконструктивизм (поставангард) – это движение от единого направления в разные стороны. Все эти поиски имели родимые пятна рационализма и конструктивизма до тех пор, пока во второй половине 1930-х гг. не определился новый мощный вектор (стремление к классике) [17, с. 638–639]. Схожая картина наблюдается в период модернизма и постмодернизма. То есть постконструктивизм – это творческий путь к классике через опыт авангарда, и различные архитекторы неодинаково преодолевали стилистику этого этапа – одни быстрее, другие медленнее. Причем некоторые видели в нём самоценное творческое явление.

В связи с этим С.О. Хан-Магомедовым было подмечено, что по отношению к предыдущему этапу в развитии архитектуры действует так называемый «эффект отталкивания», приводящий к усилению критического начала в его оценке, наблюдающийся, прежде всего, в среде прогрессивной части творческой общественности и связанный, очевидно, с перенасыщением формами предшествующего стиля и исчерпанием ими своего потенциала [Там же, с. 6, 33]. При этом особый интерес для исследования представляет процесс рационализации архитектуры в периоды упадка старого архитектурного стиля и формирования нового, что можно видеть на примере архитектуры эпохи Просвещения XVIII в. и авангарда первой трети XX в. Эти два периода во многом схожи. Тогда возникли центры формирования нового стиля, и этот новый стиль самоутверждался на отрицании предшествующего периода, по отношению к которому начал действовать временный «эффект отталкивания».

В заключение необходимо отметить, что история исследования формирования и развития архитектурных стилей отражает эволюцию взглядов учёных на эту проблему в контексте сложения научных школ и методов от формализма и социологизма до комплексного подхода. На подходы исследования и выводы относительно рассматриваемой темы во многом влияли степень изученности вопроса, мировоззрение исследователей и их актуальный научный интерес.

В процессе поиска закономерностей в эволюции архитектурных стилей исследователи пришли к вполне логичным выводам, что архитектурная форма в её взаимодействии с другими видами искусства, как правило, развивается от простого к сложному. Но когда этот процесс достигает своего предела, либо какие-то обстоятельства меняют вектор развития архитектуры, наступают качественные изменения, сопровождающиеся преодолением инерции прежней стилистической эпохи и формированием нового тектонического стиля, который в дальнейшем, в рамках своего развития также оттачивает свои приёмы,

ищет разнообразные средства своего выражения, усложняется, дробится, дифференцируется. И каждый из этих эволюционных этапов является необходимым для развития архитектурного стиля и его соответствия функционально-эстетическим запросам времени. Хотя такого рода развитие не исключает периоды кризисов в архитектуре и искусстве в целом. При этом разные исследователи рассматривают различные аспекты эволюции архитектурных стилей. Например, Г. Вёльфлин и М.В. Алпатов анализируют развитие стиля от архаической ранней стадии к зрелой классической и поздней, Э. Кон-Винер и М.Я. Гинзбург – от конструктивной стадии к деструктивной, С.О. Хан-Магомедов – от эклектики в переходные периоды к стилистическому единству или от ретроспективизма к авангарду и наоборот.

Вместе с тем разные учёные выделяют различные факторы, влияющие на этот процесс. Например, Кон-Винер полагал, что основную роль здесь играют социально-экономические причины, поскольку история человечества – это чередование расцветов и кризисов, реализация потенциала развития и преодоление накапливающихся противоречий. А Вёльфлин, будучи формалистом, придавал большое значение логике развития архитектурной формы как таковой. Многие более поздние исследователи вообще не выделяют какой-либо один фактор и не настаивают на строго закономерной периодичности, т. к. полагают, что это упрощает порой достаточно сложную картину генезиса архитектурных форм.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Базен Ж.* История истории искусств: от Вазари до наших дней. Москва : Прогресс – Культура, 1994. 528 с.
2. *Вёльфлин Г.* Ренессанс и барокко. Санкт-Петербург : Азбука-классика, 2004. 288 с.
3. *Всеобщая история архитектуры:* в 12 т. Т. 7. Западная Европа и Латинская Америка XVII – первая половина XIX в. / под ред. Н.В. Баранова. Москва : Изд-во литературы по строительству, 1969. 620 с.
4. *Всеобщая история архитектуры:* в 12 т. Т. 5. Архитектура Западной Европы XV–XVI вв. Эпоха Возрождения / под ред. Н.В. Баранова. Москва : Изд-во литературы по строительству, 1967. 660 с.
5. *Кон-Винер Э.* История стилей изобразительных искусств. Москва : Сварог и К, 2000. 219 с.
6. *Вёльфлин Г.* Основные понятия истории искусства. Проблема эволюции стиля в новом искусстве. Москва : В. Шевчук, 2009. 344 с.
7. *Петренко Д.С.* Формальный анализ Генриха Вёльфлина в художественном образовании // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2015. № 2 (Ч. 1). С. 154–157. URL: <https://applied-research.ru/pdf/2015/2-1/6394.pdf>
8. *Фриче В.М.* Социология искусства. 3-е изд. Москва ; Ленинград : Государственное изд-во, 1930. 205 с.
9. *Гинзбург М.Я.* Стиль и эпоха: проблемы современной архитектуры. Москва : Государственное изд-во, 1924. 238 с.
10. *Карпов В.В.* Типология и идеология. Возвращение М.Я. Гинзбурга // Academia. Архитектура и строительство. 2013. Вып. № 3. С. 5–18. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/tipologiya-i-ideologiya-vozvrashchenie-m-ya-ginzburga>
11. *Большая советская энциклопедия:* в 30 т. Т. 24. Кн. I / под ред. А.М. Прохорова. 3-е изд. Москва : Советская энциклопедия, 1976. 608 с.
12. *Алпатов М.В.* Всеобщая история искусств. Т. 1. Москва ; Ленинград : Искусство, 1948. 514 с.
13. *Вагнер Г.К.* О своеобразии стилообразования в архитектуре Древней Руси (возвращение к проблеме). URL: <http://www.rusarch.ru/vagner1.htm>

14. *Каплун А.И.* Стиль и архитектура. Москва : Стройиздат, 1985. 232 с.
15. *Кнабе Г.С.* Древний Рим – история и повседневность. Москва : Искусство, 1986. 208 с. URL: [http://vivo.voco.astronet.ru/VV/BOOKS/KNABE/INTRO\\_1.HTM](http://vivo.voco.astronet.ru/VV/BOOKS/KNABE/INTRO_1.HTM)
16. *Бембель И.О.* «Суперстили» и периодизация в архитектуре // *Academia. Архитектура и строительство*. 2018. Вып. № 4. С. 29–34. URL: <http://aac.raasn.ru/article/view/75/58>
17. *Хан-Магомедов С.О.* Архитектура советского авангарда. Книга первая. Проблемы формообразования. Мастера и течения. Москва : Стройиздат, 1996. 712 с.

## REFERENCES

1. *Bazin G.* Istoriya istorii iskusstv: ot Vazari do nashikh dnei [A history of art: from prehistoric times to the present]. Moscow: Progress-Kul'tura, 1994. 528 p. (transl. from Fr.)
2. *Wölfflin H.* Renessans i barokko. [Renaissance and Baroque]. Saint-Petersburg: Azbuka-klassika, 2004. 288 p. (transl. from Germ.)
3. *Baranov N.V. (Ed.)* Vseobshchaya istoriya arkhitektury v 12 tomakh [The general history of architecture], in 12 vol. Moscow: Stroiizdat, 1969. V. 7. 620 p. (rus)
4. *Baranov N.V. (Ed.)* Vseobshchaya istoriya arkhitektury v 12 tomakh [The general history of architecture], in 12 vol. Moscow: Stroiizdat, 1967. V. 5. 660 p. (rus)
5. *Cohn-Wiener E.* Istoriya stiley izobrazitel'nykh iskusstv [History of fine arts styles]. Moscow: Svarog i K, 2000. 219 p. (transl. from Germ.)
6. *Wölfflin H.* Osnovnyye ponyatiya istorii iskusstva. Problema evolyutsii stilya v novom iskusstve [Principles of art history. The problem of the development of style in early modern art]. Moscow: V. Shevchuk, 2009. 344 p. (transl. from Germ.)
7. *Petrenko D.S.* Formal'nyy analiz Genrikha Vol'flina v khudozhestvennom obrazovanii [Formal analysis of Heinrich Wölfflin in art education]. *Mezhdunarodnyi zhurnal prikladnykh i fundamental'nykh issledovaniy*. 2015. No. 2. Pp. 154–157. (rus)
8. *Fritzsche V.M.* Sotsiologiya iskusstva [Sociology of art], 3rd ed. Moscow, Leningrad: Gosizdat, 1930. 205 p. (rus)
9. *Ginzburg V.Y.* Stil' i epokha [Style and epoch]. Moscow: Gosizdat, 1924. 238 p. (rus)
10. *Karpov V.V.* Tipologiya i ideologiya. Vozvrashcheniye M. Ya. Ginzburga [Typology and ideology. Return of Moisei Ginzburg]. *Academia. Arkhitektura i stroitel'stvo*. 2013. No. 3. Pp. 5–18. (rus)
11. *Prokhorov A.M. (Ed.)* Bol'shaya sovetskaya entsiklopediya v 30 tomakh [Great Soviet Encyclopedia], 3rd ed., in 30 vol. Moscow: Sovetskaya entsiklopediya, 1976. V. 24. 608 p. (rus)
12. *Alpatov M.V.* Vseobshchaya istoriya iskusstv [General art history]. Moscow, Leningrad: Iskustvo, 1948. V. 1. 514 p. (rus)
13. *Wagner G.K.* O svoeyebrazii stileobrazovaniya v arkhitekture Drevney Rusi (vozvrashcheniye k probleme) [Architectural style formation in Ancient Russia (return to the problem)]. Available: [www.rusarch.ru/vagner1.htm](http://www.rusarch.ru/vagner1.htm) (rus)
14. *Kaplun A.I.* Stil' i arkhitektura [Style and architecture]. Moscow: Stroyizdat, 1985. 232 p. (rus)
15. *Knabe G.S.* Drevniy Rim – istoriya i povsednevnost' [Ancient Rome: history and daily life]. Moscow: Iskustvo, 1986. 208 p. (rus)
16. *Bembel I.O.* Superstili i periodizatsiya v arkhitekture [Superstyles and chronological analysis in architecture]. *Academia. Arkhitektura i stroitel'stvo*. 2018. No. 4. Pp. 29–34. (rus)
17. *Khan-Magomedov S.O.* Arkhitektura sovetskogo avangarda. Kniga pervaya. Problemy formoobrazovaniya. Mastera i techeniya [Architecture of the Soviet avant-garde. Book 1. Form making. Masters and trends]. Moscow: Stroyizdat, 1996. 712 p. (rus)

## Сведения об авторе

*Мжельский Виктор Михайлович*, канд. искусствоведения, доцент, Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин), 630008, г. Новосибирск, ул. Ленинградская, 113, [vickt.mj@yandex.ru](mailto:vickt.mj@yandex.ru)

## Author Details

*Victor M. Mzhelsky*, PhD, A/Professor, Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering, 113, Leningradskaya Str., 630008, Novosibirsk, Russia, [vickt.mj@yandex.ru](mailto:vickt.mj@yandex.ru)

УДК 728.03

DOI: 10.31675/1607-1859-2020-22-5-50-64

*М.А. РУБЛЕВ<sup>1</sup>, Р.В. БУЛГАЧ<sup>2</sup>,**<sup>1</sup>Новосибирский государственный**архитектурно-строительный университет (Сибстрин),**<sup>2</sup>Новосибирский государственный университет**архитектуры, дизайна и искусств*

## **ТРАНСФОРМАЦИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНО-ПЛАНИРОВОЧНОЙ ОРГАНИЗАЦИИ СЕЛЬСКИХ УСАДЕБ НА ТЕРРИТОРИИ ПРИТОМЬЯ В 1900–1960 ГГ.**

Проводится анализ изменений архитектурных и функционально-планировочных решений усадеб сельского населения на территории Притомья – бассейна р. Томи – в период 1900–1960 гг.

Актуальность темы заключается в выявлении закономерностей (оценке характера) трансформации функционально-планировочных решений крестьянских усадеб (славянского) сельского населения Притомья. В рамках исследования определены основные периоды трансформации, факторы, влияющие на изменения в планировочной структуре усадеб, степень и характер их влияния.

Основная цель исследования – выявление закономерностей трансформации и анализ опыта адаптации функционально-планировочной организации сельских усадеб Западной Сибири к меняющимся типам экономических отношений в сельском хозяйстве: от частной собственности до жесткого государственного контроля (новому типу экономических условий) за период 1900–1960 гг. При этом основными задачами исследования являются: 1) определение этапов эволюционного развития функционально-планировочной организации сельских усадеб; 2) выявление комплекса факторов, определяющих изменения функционально-планировочной организации сельской усадьбы за указанный период; 3) эволюция характера и структуры функционально-планировочной организации сельских усадеб.

В ходе работы использовались следующие методы: анализ источников и литературы по теме исследования, сравнительно-исторический метод при определении основных типов архитектурных решений усадеб Притомья на период конца XX в., система этнографических методов полевого исследования для сбора материалов, необходимых для проведения исследования (интервьюирование, экспертные опросы, обмеры, фотофиксация).

Научная новизна исследования заключается в определении характера и итогов трансформационных процессов функционально-планировочных решений в этнокультурном отношении при формировании сибирской материальной культуры XX в. Теоретической основой данного исследования являются работы сибирских историков, архитекторов и этнографов, таких как А.Ю. Майничева, В.А. Ильиных, Е.А. Ащепков, О.Н. Шелегина, Л.А. Скрябина и др.

**Ключевые слова:** архитектура сельской усадьбы; эволюция крестьянской усадьбы; функционально-планировочная структура; функциональная зона; этап эволюции усадьбы; влияние коллективизации на функционально-планировочные решения крестьянских усадеб; архитектура крестьянских усадеб Притомья.

**Для цитирования:** Рублев М.А., Булгач Р.В. Трансформация функционально-планировочной организации сельских усадеб на территории Притомья в 1900–1960 гг. // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2020. Т. 22. № 5. С. 50–64.

DOI: 10.31675/1607-1859-2020-22-5-50-64

M.A. RUBLEV<sup>1</sup>, R.V. BULGACH<sup>2</sup>,

<sup>1</sup>*Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering,*

<sup>2</sup>*Novosibirsk State University of Architecture, Design and Fine Arts*

## **FUNCTIONAL AND PLANNING ORGANIZATION OF RURAL ARCHITECTURE NEAR THE RIVER TOM IN 1900–1960**

The paper analyzes the changes in the functional and planning solutions of the rural architecture near the river Tom during the period of 1900–1960. The study identifies the main periods of transformation, factors affecting changes in the planning structure of the region, the degree and nature of their influence. The purpose of the paper is to identify the regularities of transformation and analyze the experience of adapting the functional and planning organization in West Siberia to changing economic relations in agriculture: from private ownership to strict state control (a new type of economic conditions) for the period of 1900–1960. The following problems are considered:

1. Identification of factors that determine changes in the functional and planning organization of the rural architecture for the specified period.

2. Determination of the development stages of the functional and planning organization of the rural architecture.

3. Evolution of the nature and structure of the functional and planning organization of the rural architecture.

Methodology and approaches involve the literature review, comparative and historical method of determining the architectural styles of the river Tom region for the period of the late 20th century, ethnographic methods of field research to collect the required materials (interviews, surveys, photographs).

The research implications determine the nature and results of transformation of functional and planning decisions in the context of Siberian material culture of the 20th century. The theoretical basis of this research is the work of Siberian historians, architects and ethnographers.

**Keywords:** rural architecture; functional and planning organization; functional area; evolution stages; collectivization; the river Tom.

**For citation:** Rublev M.A., Bulgach R.V. Transformatsiya funktsional'no-planirovochnoi organizatsii sel'skikh usadeb na territorii Pritom'ya v 1900–1960 gg. [Functional and planning organization of rural architecture near the river Tom in 1900–1960]. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture. 2020. V. 22. No. 5. Pp. 50–64. DOI: 10.31675/1607-1859-2020-22-5-50-64

На сегодняшний день тема крестьянской архитектуры является достаточно исследованной. А.Ю. Майничева в работе «Архитектурно-строительные традиции крестьянства северной части Верхнего Приобья: проблемы эволюции и контактов (середина XIX – начало XX в.)» рассматривает архитектурно-строительные традиции крестьян, основные этапы их формирования, основные проблемы и пути их эволюционных изменений. В работе О.Н. Шелегиной «Очерки материальной культуры русских крестьян Западной Сибири» рассматриваются архитектурно-строительные традиции русских крестьян Западной Сибири XVIII – первой половины XIX в., основные этапы и особенности формирования данных традиций. В работах Л.А. Скрыбиной «Русские Притомья» и В.М. Кимеева «Касьминские чалдоны. Быт и культура русских старожилов Касьминской волости» рассматриваются архитектурно-строительные традиции славянского населения Притомья в период XVII – начало XX в.

В работе Е.А. Ащепкова «Русское народное зодчество в Западной Сибири» рассматриваются вопросы архитектурных и планировочных решений домов и усадеб крестьян Западной Сибири.

Проблема исследования настоящей работы определяется отсутствием описания процесса трансформации крестьянской архитектуры в период 1900–1960 гг., несмотря на обширные исследования в области архитектуры, экономики и общественно-политических процессов в сибирской деревне.

Цель данного исследования – выявление закономерностей трансформации и анализ опыта адаптации функционально-планировочной организации сельских усадеб Западной Сибири к меняющимся типам экономических отношений в сельском хозяйстве: от частной собственности до жесткого государственного контроля (новому типу экономических условий) за период 1900–1960 гг. Исходя из цели, для решения обозначенной проблемы были поставлены следующие задачи исследования:

1. Выявление комплекса факторов, определяющих изменения функционально-планировочной организации сельской усадьбы за указанный период.
2. Определение этапов эволюционного развития функционально-планировочной организации сельских усадеб.
3. Эволюция характера и структуры функционально-планировочной организации сельских усадеб.

Процесс формирования функционально-планировочных решений крестьянских домов и усадеб зависит от множества факторов, причем процесс изменений, спровоцированных этими факторами, напрямую зависит от степени и характера эволюционного либо революционного развития процессов, влияющих на функционально-планировочные решения. Архитектура сельского жилища региона формировалась в рамках традиционной народной крестьянской культуры с начала освоения Сибири. Согласно исследованиям А.Ю. Майничевой [1, с. 102], процессы развития архитектурно-строительных традиций до начала XX в. были определены адаптационными процессами различных этнических общностей, т. е. ключевым фактором формирования архитектурных традиций помимо природно-климатических и социально-экономических факторов являются этнические процессы, которые, в свою очередь, формируют типологическое разнообразие функционально-планировочных решений, сформировавшееся на исследуемой территории к началу XX в. Важно выявить степень влияния каждого из этих факторов на архитектуру усадьбы. В вопросе формирования именно функционально-планировочных решений весьма важна степень влияния каждого из упомянутых факторов. Анализируя результаты влияния каждого отдельно взятого фактора, возможно определить характер и степень его влияния.

К группе *природно-климатических факторов* следует отнести все факторы, определяющие вид хозяйства (скотоводческое, земледельческое, смешанное и пр.), что в свою очередь будет являться определяющим при построении функционально-планировочной структуры. Особенностью данного фактора является то, что по своей сути он является константным, вне зависимости от этнических особенностей и социально-экономических факторов. Согласно этнографическим данным Л.А. Скрыбиной [2], для исследуемой территории Томи

(как и для территории Притомья) характерно смешанное использование элементов земледельческих и скотоводческих хозяйств в структуре одной усадьбы.

К группе *этнических факторов* следует отнести ряд традиций, являющихся характерными для отдельных этнических групп и формирующих определенные различия в организации хозяйств. К такой особенности следует отнести изолированность скотных дворов у старожильской группы населения, тогда как переселенцы не имели такого разделения [2]. Другой особенностью является распространение замкнутого типа планировки усадеб у старожильского населения и свободного у переселенческого. Аналогичные традиции в организации усадьбы наблюдались и на территории бассейна р. Оби [1, с. 26–30], что позволяет говорить об идентичности архитектурно-строительных традиций у соответствующих этнических групп на территории бассейнов рек Оби и Томи.

В большой степени *социально-экономические факторы* формирования архитектуры сельского жилища регулируются политическими решениями в обществе. Примером такого решения является Столыпинская реформа, благодаря которой на территорию Западной Сибири стали массово проникать иные этнические группы с территории Украины, Белоруссии, Центральной России, что спровоцировало появление новых типов планировочных решений усадеб, перераспределение землепользования и прочее, однако следует отметить, что на период конца XIX в. влияние государства не было столь значительным, как в последующие годы.

Сравнивая же воздействие факторов на период до 1917 г., следует отметить равнозначность влияния всех трех групп факторов, обеспечивающих эволюционное развитие крестьянских хозяйств. Доказательством данного тезиса служит общность стереотипов в культуре строительства [Там же, с. 104], несмотря на мультикультурное многообразие и сохранение элементов исконных культур. Преобладание природно-климатических либо социально-экономических факторов над этническими особенностями привело бы к нивелированию этнических особенностей строительства. В свою очередь возможное преобладание этнических особенностей над природно-климатическими и социально-экономическими факторами могло бы привести к преувеличенной локализации самобытности архитектуры жилища этносов-переселенцев, о чем в своем исследовании говорит А.Ю. Майничева [Там же].

Для анализа процесса трансформации функционально-планировочных решений крестьянских усадеб исследуемой территории необходимо определить основные этапы данной трансформации. Так как основным фактором воздействия на сельское хозяйство в XX в. стали социально-экономические преобразования, наиболее верным является определение этапов трансформации, исходя из основных социально-экономических изменений в крестьянском социуме Западной Сибири. Точкой отсчета этапов преобразований следует считать события 1917 г., ввиду кардинального изменения общественно-политического строя.

Согласно исследованиям В.А. Ильиных [3], в период 1910–20-х гг. качественных изменений производственных отношений в аграрной сфере не произошло, следовательно, предпосылок к изменениям функционально-

планировочных решений усадьбы на тот период сформировано не было. Исключением был непродолжительный период продрозверстки, который вскоре был заменен НЭПом, разрешившим вновь рыночные отношения в сельском хозяйстве. Началом кардинальных перемен в организации усадьбы следует считать 1929 г., когда стала проводиться государственная политика ликвидации частной собственности в сельском хозяйстве и проведения массовой коллективизации, что фактически обрушило структуру крестьянского хозяйства, а вслед за этим трансформировалась и функционально-планировочная организация усадьбы. Данный период продолжался до 1953 г., после которого начался третий этап трансформации, при котором крестьянскому населению были постепенно возвращены основные гражданские права, в том числе и права собственности. Появились совхозы, роль которых в дальнейшем существенно увеличилась и которые, по сравнению с колхозами, обеспечивали более высокий уровень благосостояния на селе, но имели иную форму организации труда. Данный период продолжался до 1960-х гг.

Для анализа процесса трансформации необходимо произвести описание функционально-планировочной структуры усадьбы по всем трем анализируемым периодам.

**В первый период (1900–1929 гг.)** трансформации, как и говорилось выше, принципиальных изменений в организации хозяйств коснулись прежде всего смешения традиций в организации усадеб внутри различных этнических групп. В период с 1900 по 1917 г. крестьянские хозяйства можно было разделить на 2 типа: старожильческие и переселенческие. Согласно материалам Л.А. Скрябиной [4, с. 62], отличительной особенностью организации двора *первого типа* на начало XX в. было П-образное расположение построек с размещением дома с левой либо правой стороны от ворот. Амбар ставился напротив дома торцом к улице, между домом и амбаром организовывался забор в технике заплота. В задней части двора устраивался скотный двор, состоящий из временных построек и навесов. За скотным двором устраивался огород. Основной особенностью крытых дворов являлось сезонное покрытие чистого двора в зимний период. Дома в данном типе усадеб представлены домами-пятстенками, домами-связями и домами-крестовиками [6] (данные по Томскому округу).

Организация усадьбы по первому типу производилась, как правило, в один либо в два уровня. При этом в последнем случае одна функция объединяла оба уровня. Двухуровневое расположение жилых изб, нижний скотный двор и верхний чистый двор. В данной планировочной схеме наблюдается четкое разделение усадьбы на две части. В первой части выполняются функции проживания, хранения продукции, транспорта, инвентаря, т. е. функции, направленные непосредственно на жизнедеятельность проживающих в данной усадьбе. Во второй половине усадьбы выполняются функции производства сельскохозяйственной продукции, связанной как со скотоводством, так и с земледелием. Разделение усадьбы по такому принципу позволяет поддерживать высокий санитарный уровень жизни, оптимизировать трудовые процессы с учетом сезонности и климатических особенностей (крытый двор в зимнее время позволяет снижать затраты труда на борьбу с осадками

и обеспечивает удобный доступ ко всем постройкам). Пограничное расположение скотного двора позволяет создавать близкую доступность до жилища, одновременно с этим производить сезонную очистку скотного двора с выносом удобрений в сторону огорода. Также функционирование скотного двора в формате временных построек дает возможность проводить его быструю перепланировку в случае увеличения/уменьшения поголовья скота. В целом в данном типе усадеб производится реализация принципа замкнутости, т. е. максимальной самодостаточности как градостроительного элемента.

Вторым типом организации двора было его встраивание в структуру двойных и тройных домов [4, с. 62]. Наиболее подробно усадьбы подобного типа описаны А.Е. Ащепковым в деревнях Просоково [7, с. 47] и Алаево [Там же, с. 49]. Принципиально, с позиции функционального зонирования, такие схемы представлены на рис. 1–2. Также о существовании данной традиции упоминает в своих исследованиях Л.А. Скрыбина [4, с. 62].

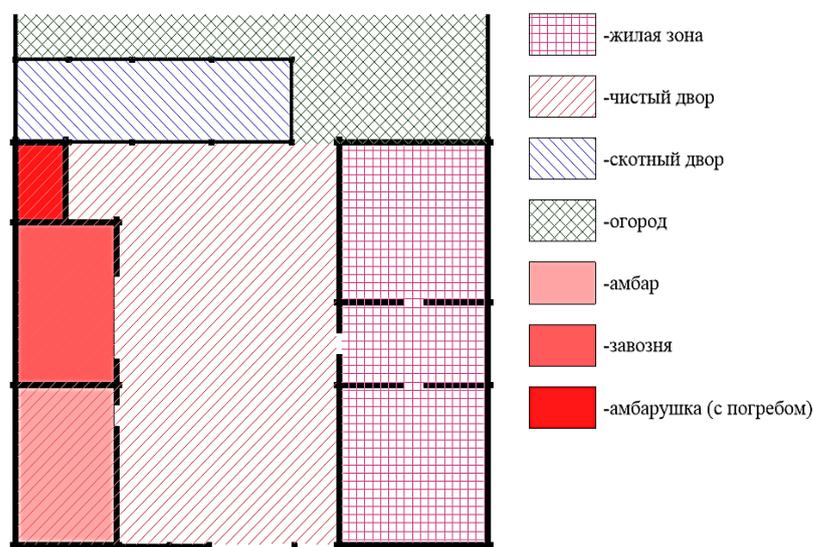


Рис. 1. Принципиальная схема замкнутого типа планировки усадьбы, характерного для старожильческих культур. Тип 1

Организация усадьбы по данному принципу имеет те же положительные стороны, что и решения усадьбы первого типа, однако при этом имеет лучшие условия для содержания скота. Такая компактная структура тройного дома-усадьбы обеспечивает минимальные теплотери и перераспределяет это тепло от жилой избы к чистому двору и хозяйственным постройкам, что соответствует современным принципам экологичности. Однако недостатком двойной-тройной избы является необходимость увеличенных затрат на строительство, теряется возможность перепланировки усадьбы в случае изменений в структуре хозяйства. В этом варианте усадьбы принцип замкнутости реализован более отчетливо. Связь с помещениями для скота и помещениями для хранения сельхозпродукции осуществляется через чистый двор.

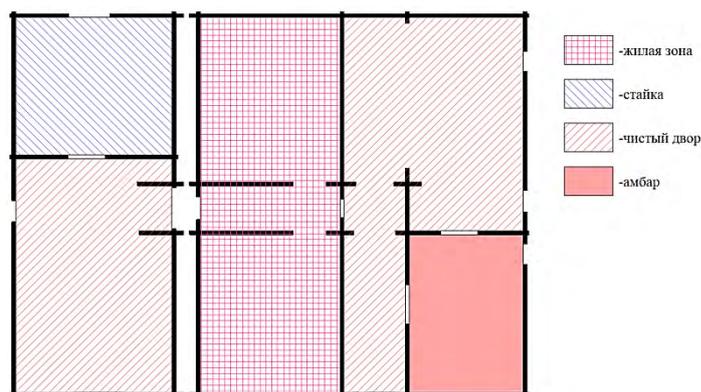


Рис. 2. Принципиальная схема функционального зонирования тройного дома-усадыбы для старожильческих культур. Тип 2

Третьим типом организации усадьбы на территории Притомья был двор свободной планировки [4, с. 63], характерный для переселенческих культур (рис. 3). Основной особенностью планировки данного типа было хаотичное расположение хозяйственных построек по территории усадьбы. При этом постройки для содержания скота были капитальными. С точки зрения функционального зонирования этот тип примечателен смешением различных функций на одной территории, что, с одной стороны, затрудняет организацию технологических процессов в хозяйстве, с другой стороны, открывает возможности по развитию отдельных элементов усадебного комплекса. Ключевым отличием переселенческих усадебных комплексов от старожильческих было отсутствие капитальных ограждений, т. к. в качестве ограждений переселенцы использовали плетень и жердевые заборы.



Рис. 3. Принципиальная схема функционального зонирования усадеб свободной планировки, характерная для переселенческих культур. Тип 3

Как отмечают некоторые исследователи [8], реализация описанных выше функционально-планировочных решений усадьбы обеспечивала высокий экологический потенциал, что, в свою очередь, говорит о высоком уровне приспособленности к природно-климатическим условиям.

В период 1900–1929 гг. крестьянская усадьба претерпела незначительные изменения. Первоначальным изменением, затронувшим старожильческие культуры, стало появление капитальных построек на месте скотного двора (рис. 4), по аналогии с переселенческими культурами. Вместе с этим происходит утрачивание традиции крытых дворов. При этом в некоторых случаях происходит процесс переноса бань в структуру усадьбы.

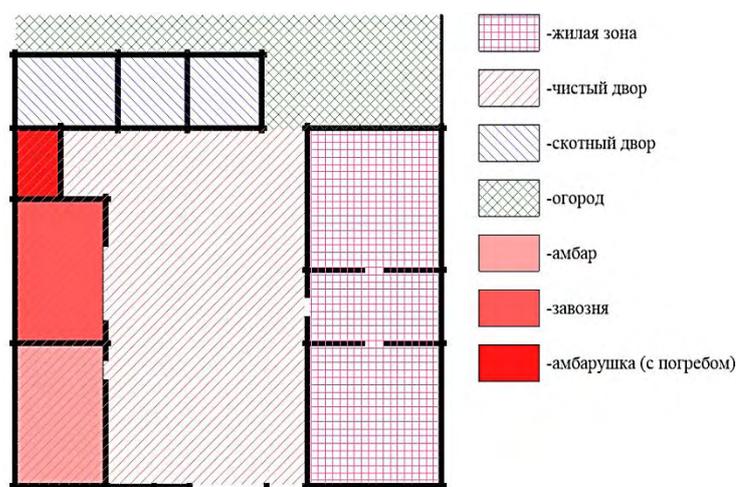


Рис. 4. Принципиальная схема функционального зонирования старожильческого усадебного комплекса в период 1900–1929 гг.

В свою очередь, в переселенческих усадьбах изменения затронули только организацию жилой зоны, т. к. в старожильческих традициях ориентация дома относительно улицы производилась по следующему принципу: дома-связи ориентировались торцом к уличному проезду, дома-пятистенки – фасадной частью, тогда как у переселенцев дома-пятистенки выходили торцом на улицу. Но в период 1900–1929 гг. наметилась устойчивая традиция к использованию традиций старожил в переселенческой строительной практике [4, с. 65].

Следует учесть, что в указанный период наблюдалось снижение доходности сибирского крестьянства, вызванное политикой продналога, из-за введения которого начала сокращаться доля зажиточного и бедного (батрацкого) крестьянства [5]. Следовательно, можно говорить о выравнивании социальных групп в сибирской деревне по имущественному признаку. Однако, учитывая сохранность традиций предыдущего периода, можно сделать вывод о незначительности влияния государственной экономической политики на архитектуру усадьбы в период 1900–1929 гг.

Анализируя данный период с позиции всех трех факторов индуктивным методом, следует сделать вывод о том, что ключевыми факторами трансформации

ции в этот период стали политические изменения, повлекшие за собой активное переселение, и этническое взаимодействие, благодаря которому произошел культурный обмен строительными традициями переселенческих и старожильческих этнокультурных групп. Дополнительной стимуляцией взаимодействием архитектурных традиций при этом выступали экономические обстоятельства. При этом ключевых изменений в функциональном зонировании не произошло. В целом характер изменений в структуре усадьбы можно назвать эволюционными, т. к. данные изменения связаны с поиском более оптимальных форм организации крестьянской усадьбы, позволяющих приспособиться к изменившимся социально-экономическим условиям.

Коренным переломом в организации усадебных комплексов крестьян Притомья следует назвать *период 1930–1953 гг.* Основной причиной трансформации крестьянских хозяйств послужила политика коллективизации, которая по сути носила принудительный характер [3]. Отличительной особенностью первой половины данного периода является резкое снижение доходов крестьянского населения Западной Сибири, изменение формы организации хозяйства и форм собственности, прежде всего на землю [9], что для земледельческих хозяйств стало критическим. Внедрение машинного труда как единственной формы обработки земли, формирование колхозных стад крупного рогатого скота [10] в свою очередь привело к сокращению количества скота у населения, т. к. основной формой формирования колхозного стада, по воспоминаниям Ильи Егоровича Чахлова, 1921 г. р. (д. Чахлово, Кемеровская область), была конфискация личного скота крестьян. По воспоминаниям информатора, его отца, Егору Чахлову, «пришлось выгнать всех коров, чтоб не раскулачили». Вопрос влияния происходящих событий 1930–40-х гг. на формирование жилища и усадьбы на территории Западной Сибири также подтверждается данными современных исследователей [11].

Следовательно, первым элементом, подвергшимся трансформации, стали чистые дворы крестьян-старожилов. Ввиду острой необходимости в организации колхозов и отсутствии необходимых для этого ресурсов, многие дома зажиточных крестьян были изъяты в пользу колхозных управлений для организации контор, предприятий по производству валенок, упряжи и пр., больниц и школ. Примером таких изъятий является дом по адресу село Зарубино, ул. 50 лет Октября, 40. Данный дом, построенный в начале 1900-х гг., в результате изъятия был переделан в пимокатню без изменения планировочных решений (по словам собственников дома) (рис. 5).

По данным Ивана Ильича Чахлова (составлено по воспоминаниям отца, Ильи Чахлова, 1921 г. р.), 1948 г. р., жителя г. Болотное Новосибирской области, жившего ранее в с. Чахлово Юргинского района, данная тенденция в некоторых деревнях носила массовый характер. Аналогичную информацию приводит Макурин Игорь Михайлович, 1946 г. р., житель с. Макурино Кемеровской области, о том, что его отец, Михаил Макурин, «раскатал дом, потому что боялся, что его (дом) в колхоз заберут». Данную тенденцию нельзя считать ключевой, однако свое влияние на последующий период она оказала.

Если анализировать ситуацию по изменениям планировочных решений усадьбы относительно хозяйственных построек, то кардинальных изменений

в массовом порядке не произошло, ввиду активных политических событий 1930–40-х гг. Анализируя материалы Е.А. Ащепкова за 1950 г. [7, с. 28–51], можно сделать вывод о снижении темпов строительства и сохранении планировочных решений усадеб аналогично периоду 1900–30-х гг. Данный вывод можно сделать на основании сохранения зданий и сооружений, относящихся к раннему периоду, при этом воспоминания о строительстве новых домов и усадеб информаторы Зайцев Егор Павлович, 1941 г. р. (с. Камышовка, Мариинский район), Торгунаков Алексей Никонович, 1933 г. р. (с. Колеул, Мариинский район), относят к периоду 1950–60-х гг. Причиной снижения темпов строительства, а по факту его заморозки, становится политика коллективизации в период 1930–40-х гг., при которой происходили кардинальные изменения в организации трудовой и общественной жизни крестьян. Ввиду высоких продовольственных налогов и постоянной занятости в работе коллективных хозяйств, произошло фактическое обнищание населения, повлекшее за собой невозможность нового строительства. По сути причиной схлопывания архитектурно-планировочной структуры усадьбы в период 1930–50-х гг. стали социально-экономические факторы, выраженные в обнищании крестьян в период коллективизации и Великой Отечественной войны.



Рис. 5. Жилой дом с. Зарубино, Кемеровская область, ул. 50 лет Октября

Результатом произошедших событий стало резкое изменение качества строительства в *период 1950–1960-е гг.* Резкое снижение трудоспособного мужского населения на селе в совокупности с низким уровнем жизни привело к деградации строительных традиций. Признаком таких деградаций является «усреднение» традиций. Наиболее ярко это выражено в организации жилой зоны усадьбы. Несмотря на имеющиеся культурные различия в планировке домов и постановке их на участке, к периоду 1950-х гг. в основной своей массе стали применяться пятистенки с ориентацией фасадов на улицу, при этом при строительстве новых усадеб нередко стали применять «перекатанные» дома, т. е. ли-

бо купленные и перенесенные на новое место, либо перебранные из других, более крупных по размеру домов. Примером такого дома является дом в деревне Безменово по ул. Набережной, 14, 1900-х гг. строительства (рис. 6), перевезенный в указанный период из Томской области в начале 1950-х гг. В первоначальном местопребывании дом принадлежал купцу, однако при перевозке он был разделен на трех собственников, сохранив при этом исходную планировку.



Рис. 6. Жилой дом в с. Безменово по ул. Набережной, 14

По факту изменения остальных элементов структуры усадеб для определения тенденции в изменении функционально-планировочных решений на сегодняшний день недостаточно данных. Однако нельзя не упомянуть о примерах «совмещения» традиций. Анализируя планировочные решения усадеб с. Кожевниково (ул. Озерная, 14) (рис. 7 и 8) и с. Просоково (Кандерепский пер, 14) (рис. 9), можно выдвинуть предположение о совмещении решений старожильческих и переселенческих традиций в организации усадеб.

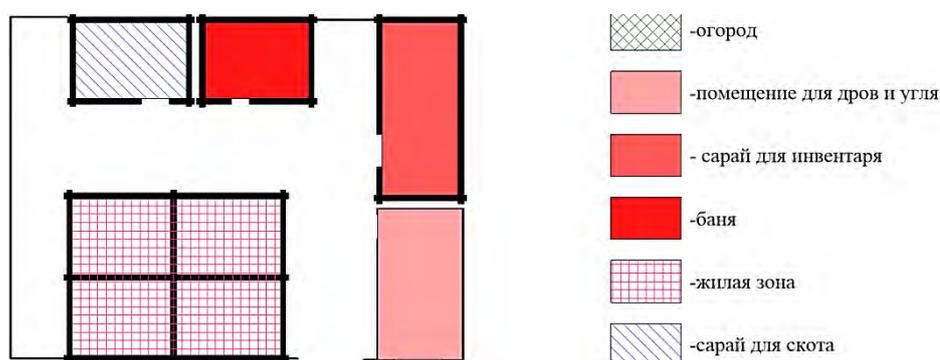


Рис. 7. Планировка двора в с. Кожевниково по ул. Озерной, 14



Рис. 8. Внешний вид дома в с. Кожевниково

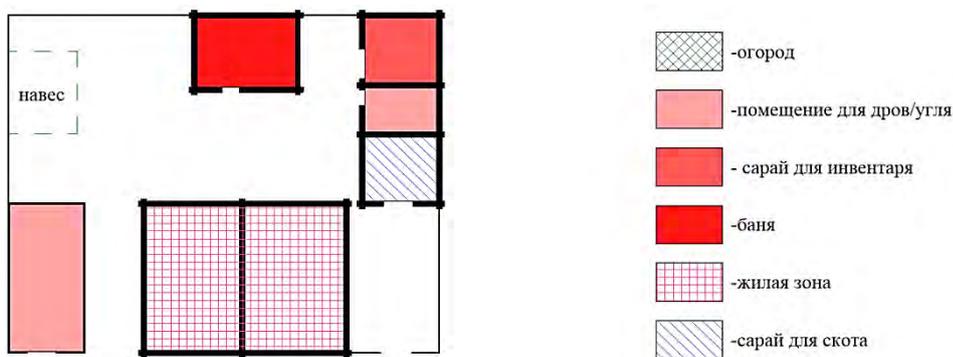


Рис. 9. Планировка двора в с. Просоково по пер. Кандерепскому, 14

От старожилов были переняты системы зонирования усадьбы на чистую и «грязную» части, где в чистой части вместо амбаров ставились кладовые, для хранения инвентаря, и помещения для хранения угля, дров и пр. В «грязную» часть, в свою очередь, сводились постройки для хранения скота, птицы, баня и уличный санузел. Данный тезис на сегодняшний день пока не может быть сформулирован как закономерность, поскольку для установления его массовости необходимо провести ряд полевых исследований. Однако о существовании данных тенденций можно судить на основании решений усадеб, построенных в период 60–80-х гг. XX в. Примером такой усадьбы является усадьба И.И. Чахлова в г. Болотное Новосибирской области (рис. 10) (информатор имеет происхождение из с. Чахлово Кемеровской области) с характерным для переселенческих культур расположением дома и скотного двора. Следовательно, данное предположение, несомненно нуждающееся в проверке, имеет высокий шанс быть верным.

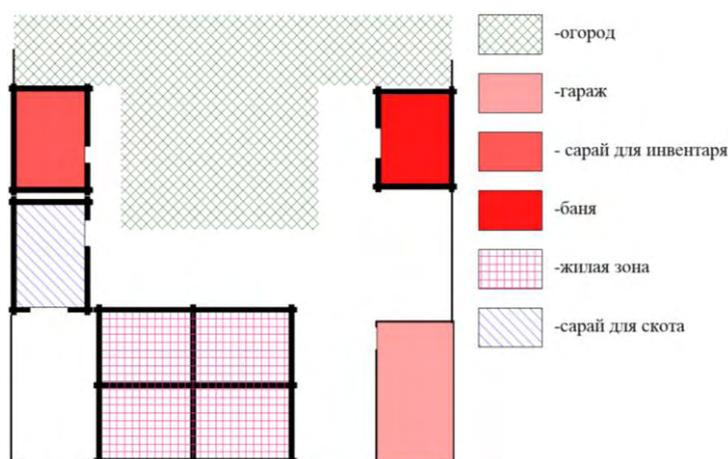


Рис. 10. Планировочные решения усадьбы И.И. Чахлова (строительство 1973–1974 гг.)

Таким образом, анализируя изменения в планировочных решениях усадеб, следует отметить характер одновременного усреднения и угасания строительных традиций, однако при этом необходимо подчеркнуть сохранение определенных элементов этих традиций. Причиной угасания традиций стали социально-экономические факторы, причинами сохранения и усреднения – этнокультурные особенности строительства.

Анализируя же период 1900–60-х гг. в целом, следует прийти к выводу о стагнации культуры строительства, при этом имеющей революционный характер изменений. Ключевыми же факторами данных изменений являлись социально-экономические факторы и этнические особенности строительства, которые, в свою очередь, позволили сохранить ключевые элементы функционально-планировочных решений усадеб славянского населения Притомья.

### Заключение

Период 1900–1960-х гг. является ключевым периодом в трансформации сибирской деревни. По результатам анализа функционально-планировочных решений крестьянских усадеб Притомья в указанный период были определены следующие характерные особенности трансформации:

1. Процесс трансформации крестьянских усадеб Притомья разделяется на три характерных периода: с 1900 по 1929 гг. – период эволюционной адаптации к изменившимся социально-экономическим условиям; 1930–1950 гг. – период экономического прессинга крестьянских хозяйств государством и, как следствие, начало его стагнации. 1950–1960 гг. – период начала угасания и усреднения архитектурных традиций образца 1900-х гг.

2. Ключевыми факторами трансформации функционально-планировочных решений усадеб в первый период были социально-экономические и культурные (этнические особенности строительства) факторы в равной мере, во второй период произошло усиление экономического фактора посредством политических решений советского правительства, в третьем периоде сформировалось его закрепление как преобладающего.

3. В первый период трансформация функционально-планировочных решений усадьбы носила эволюционный характер изменения, причем основной чертой данных изменений была адаптация к изменяющимся условиям. Трансформация второго периода носила революционный характер, при этом основной чертой происходящих изменений была попытка выживания существующих традиций в новых условиях. В третий период произошло закрепление характера изменений предыдущего периода и начало периода потери архитектурно-строительных традиций образца 1900-х гг.

Настоящее исследование не является законченным. В дальнейшем планируется рассмотреть трансформацию функционально-планировочных решений усадеб сельских жителей Притомья в период 1960-х гг. по настоящее время для определения характера влияния основных факторов воздействия на формирование планировочных решений усадьбы в период революционных изменений XX в.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Майничева А.Ю.* Архитектурно-строительные традиции крестьянства северной части Верхнего Приобья: Проблемы эволюции и контактов (середина XIX – начало XX в.). Новосибирск : Изд-во Института археологии и этнографии СО РАН, 2002. 144 с.
2. *Скрябина Л.А., Мархель А.С.* Научный отчет экспедиции этнографического отдела музея-заповедника «Томская Писаница» 1991 // Ученые записки музея-заповедника «Томская Писаница». 2016. № 2. С. 119–136.
3. *Ильиных В.А.* Аграрный строй в Сибири в XX веке: этапы трансформации // Ежегодник по аграрной истории Восточной Европы. 2012. № 1. С. 620–630.
4. *Скрябина Л.А.* Русские Притомья. Историко-этнографические очерки (XVII – начало XX в.). Кемерово : Кузбассвузиздат, 1997. 130 с.
5. *Ильиных В.А.* Социальная мобильность сибирского крестьянства в 1920-е гг.: этапы, тенденции // Гуманитарные науки в Сибири. 2015. № 3. Т. 22. С. 76–81.
6. *Майничева А.Ю., Глухих Е.И.* Строительные традиции русских старожилов в Сибири в XX веке: общее и особенное // Проблемы археологии, этнографии, антропологии Сибири и сопредельных территорий. 2016. Т. 22, С. 521–523.
7. *Ащепков Е.А.* Русское народное зодчество в Западной Сибири. Москва : Изд-во Академии архитектуры СССР, 1950. 140 с.
8. *Любимова Г.В.* Русские Сибири: проблемы экологической адаптации аграрных переселенцев конца XIX – начала XX века // Баландинские чтения. 2018. № 1. Т. 13. С. 518–522.
9. *Ильиных В.А.* Функционирование колхозной системы в Западной Сибири в 1935–1937 годах // Иркутский историко-экономический ежегодник. 2019. С. 24–32.
10. *Ильиных В.А.* Коллективизация деревни: проекты и реальность // Гуманитарные науки Сибири. 2013. № 4. С. 27–33.
11. *Булгач Р.В., Симагин В.А.* Некоторые вопросы генерации сельского жилища Зауралья // Известия вузов. Строительство. 2003. № 12. С. 88–94.

#### REFERENCES

1. *Mainicheva A.Yu.* Arkhitekturno-stroitel'nye traditsii krest'yanstva severnoi chasti Verkhnego Priob'ya: Problemy evolyutsii i kontaktov (seredina XIX – nachalo XX v.) [Architectural and construction traditions of peasantry in the northern part of the river Ob region in the 19th and early 20th centuries]. Novosibirsk, 2002. 144 p. (rus)
2. *Skryabina L.A. Markhel' A.S.* Nauchnyi otchet ekspeditsii etnograficheskogo otdela muzeya-zapovednika «Tomskaya Pisanitsa» 1991 [Scientific report of the ethnographic department of the Tomskaya Pisanitsa Museum, 1991]. *Uchenye zapiski muzeya-zapovednika 'Tomskaya Pisanitsa'*. 2016. No. 2. Pp. 119–136. (rus)

3. *Il'inykh V.A.* Agrarnyi stroi v Sibiri v XX veke: etapy transformatsii [The agricultural system in Siberia in the 20th century: stages of transformation]. *Ezhegodnik po agrarnoi istorii Vostochnoi Evropy*. 2012. No. 1. Pp. 620–630. (rus)
4. *Skryabina L.A.* Russkie Pritom'ya. Istoriko-etnograficheskie ocherki (XVII – nachalo XX v.) [Russian Pritomiye. Historical and ethnographic sketches (17–20th centuries)]. Kemerovo: Kuzbassvuzizdat, 1997. 130 p. (rus)
5. *Il'inykh V.A.* Sotsial'naya mobil'nost' sibirskogo krest'yanstva v 1920-e gg.: etapy, tendentsii [Social mobility of Siberian peasantry in the 1920s: stages, trends]. *Gumanitarnye nauki v Sibiri*. 2015. No. 3. V. 22. Pp. 76–81. (rus)
6. *Mainicheva A.Yu. Glukhikh E.I.* Stroitel'nye traditsii russkikh starozhilov v Sibiri v XX veke: obshchee i osobennoe [Construction traditions of Russian old-timers in Siberia in the 20th century]. *Problemy arkheologii, etnografii, antropologii Sibiri i sopredel'nykh territorii*. 2016. V. 22. Pp. 521–523. (rus)
7. *Ashchepkov E.A.* Russkoe narodnoe zodchestvo v Zapadnoi Sibiri [Russian folk architecture in Western Siberia]. Moscow, 1950. 140 p. (rus)
8. *Lyubimova G.V.* Russkie Sibiri: problemy ekologicheskoi adaptatsii agrarnykh pereselentsev kontsa XIX – nachala XX veka [Russians in Siberia: problems of ecological adaptation of agrarian migrants late in the 19th and early 20th centuries]. *Balandinskie chteniya (Coll. Papers in memory of S.N. Balandin 'Balandin Readings')*. 2018. No. 1. V. 13. Pp. 518–522. (rus)
9. *Il'inykh V.A.* Funktsionirovanie kolkhoznoi sistemy v Zapadnoi Sibiri v 1935–1937 godakh [Functioning of the collective farm system in West Siberia in 1935–1937]. *Irkutskii istoriko-ekonomicheskii ezhegodnik*. 2019. Pp. 24–32. (rus)
10. *Il'inykh V.A.* Kollektivizatsiya derevni: proekty i real'nost' [Collectivization of village: prospects and reality]. *Gumanitarnye nauki Sibiri*. 2013. No. 4. Pp. 27–33.
11. *Bulgach R.V., Simagin V.A.* Nekotorye voprosy generatsii sel'skogo zhilishcha Zaural'ya [Problems of rural housing in the Transurals]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Stroitel'stvo*. 2003. No. 12. Pp. 88–94. (rus)

#### Сведения об авторах

*Рублев Матвей Анатольевич*, аспирант, ассистент, Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин), 630008, г. Новосибирск, ул. Ленинградская, 113, teodrub@yandex.ru

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

#### Authors Details

*Matvei A. Rublev*, Research Assistant, Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering, 113, Leningradskaya Str., 630008, Novosibirsk, Russia, teodrub@yandex.ru

*Ruben V. Bulgach*, PhD, Novosibirsk State University Of Architecture, Design And Fine Arts, 38, Krasniy Ave., 630099, Novosibirsk, Russia, gfgfvf@ngs.ru

УДК 711

DOI: 10.31675/1607-1859-2020-22-5-65-81

*А.В. ЛЕЙЗЕРОВА,  
Уральский федеральный университет  
имени первого Президента России Б.Н. Ельцина*

## **АРХИТЕКТУРНО-ГРАДОСТРОИТЕЛЬНАЯ ТИПОЛОГИЯ КУЛЬТУРНО-ИСТОРИЧЕСКИХ ОСТРОВОВ**

В статье предложена типология исторических территорий города, позволяющая выявить и типизировать культурно-исторические острова. Типологизации предшествует анализ вводимых структурных приемов, определяющих морфологические признаки островных градостроительных образований. Использование методов нечеткой логики видится актуальным средством в попытке достижения объективности при анализе территорий с разновременной застройкой. Иерархичность регламентируемого порядка задается следующими уровнями признаков: устойчивость каркаса – рядовая застройка – визуальные акценты; здание-«блокбастер», «визуальный разрыв». С учетом класса устойчивости были выявлены следующие культурно-исторические острова: музейный кластер, выраженный культурно-исторический остров, невыраженный культурно-исторический остров смешанного типа, островное градостроительное образование с примесью исторической застройки, современный кластер.

**Ключевые слова:** культурно-исторический остров; структурный прием; разновременная застройка; типология; метод нечеткой логики.

**Для цитирования:** Лейзерова А.В. Архитектурно-градостроительная типология культурно-исторических островов // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2020. Т. 22. № 5. С. 65–81.  
DOI: 10.31675/1607-1859-2020-22-5-65-81

*A.V. LEIZEROVA,  
Ural Federal University*

## **ARCHITECTURAL AND URBAN TYPOLOGY OF CULTURAL AND HISTORICAL PLACES**

The article proposes a typology of the historical places in a city for their identification and typification. Classification is based on the analysis of the structural techniques that determine the morphological features of historical places in the urban structure. The use of fuzzy logics seems to be an actual tool to achieve objectivity in the analysis of territories of different development. The hierarchy of the regulated order is determined by the following system of factors: sustainable urban framework – ordinary buildings – visual accents; building-blockbuster, visual gap. Taking into account the sustainability, the following cultural and historical places are identified: the museum cluster, cultural and historical island, cultural and historical island of a mixed type, island-type town-planning with historical buildings, modern cluster.

**Keywords:** cultural and historical island; structural method; different-time buildings; typology; fuzzy logics.

**For citation:** Leizerova A.V. Arkhitekturno-gradostroitelnaya tipologiya kul'turno-istoricheskikh ostrovov [Architectural and urban typology of cultural and historical places]. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture. 2020. V. 22. No. 5. Pp. 65–81.  
DOI: 10.31675/1607-1859-2020-22-5-65-81

## Введение

Ускоряющийся темп роста городов ставит перед архитекторами и градостроителями не только задачу сохранения целостности исторических центров городов в контексте стремительных изменений потребностей общества, но также и вопрос о том, какими могут быть архитектурно-градостроительные структуры исторических частей городов с точки зрения их морфологии и развития. В целях совершенствования оценки состояния территорий исторического центра города и определения границ возможных воздействий, необходимых для развития города и формирования качественной городской среды, могут быть применены предложения по типологии территорий, обладающих различного рода исторической значимостью.

В условиях интенсификации городского развития особую актуальность приобретает кластерный подход, позволяющий решить проблему структуризации городского пространства в виде самостоятельных образований – кластеров [1]. Такая территориальная организация отдельных городских исторических районов позволяет рассматривать градостроительные единицы исторического центра как в качестве туристических и культурных кластеров [2–5], так и в качестве локальных исторических комплексов [6] или локально-целостных городских образований [7]. Существует и типология кластеров в виде высокоурбанизированных многофункциональных узлов городской структуры различной направленности [8]. Как правило, типология данных структур обширна и основана на особенностях их происхождения. В настоящей статье предложена архитектурно-градостроительная типология культурно-исторических островов (КИО) – устойчивых островных градостроительных образований (кластеров), представленных в виде совокупности структурных элементов города с разновременной застройкой, целостной по своим формально-композиционным и социокультурным характеристикам<sup>1</sup>.

### Основные признаки культурно-исторического острова

Организация культурно-исторического острова или системы таких островов в виде архипелагов рассматривается автором как путь решения многих проблем большинства современных исторических городов. Прежде всего, это решило бы проблему идентичности и преемственного развития городов, а также позволило бы избежать появления диссонирующих объектов в исторической части городов. Такой подход развивает идею проекта прошлого столетия «Берлин – зеленый архипелаг», основанного О.М. Унгерсом в содружестве с Р. Колхасом, П. Риманном, Г. Кольхоффом и А. Оваска. Предложенная ими градостроительная модель «городов в городе» по спасению послевоенного фрагментарного Берлина сжимала город «до пределов своих наиболее важных и неделимых частей» [9].

Представление культурно-исторического острова в качестве системы накладывает на него ряд признаков, которым должен соответствовать любой островной культурно-исторический район.

---

<sup>1</sup> Для каждого типа культурно-исторического острова характерны свои регламенты, позволяющие строить новые современные здания, не разрушающие восприятие существующих исторических зданий.

1. Целостность<sup>2</sup> – главное требование, предъявляемое к культурно-историческому острову. Островной район не должен зависеть от внешних факторов, но его составные части в виде структурных элементов города должны быть связаны друг с другом, с местом, где они расположены, с функцией каждого структурного элемента и острова в целом. Сохранение целостности самой структуры лежит в основе обеспечения формально-композиционной устойчивости культурно-исторического острова (сохранение тех структурных элементов, которые обладают большей устойчивостью).

2. Связность – все структурные элементы, входящие в культурно-исторический остров, должны быть связаны между собой. Должен быть обеспечен беспрепятственный доступ между структурными элементами острова. Связность является определяющим критерием при определении границ потенциального культурно-исторического острова: именно «визуальные разрывы», образованные часто транспортными артериями и разрушающие пешеходную связность, становятся границей, отделяющей остров от остального городского «моря». В этом кроется основное отличие предложенной концепции культурно-исторического острова от идеи городов-архипелагов зарубежных исследователей [9, 11], где островной характер города основан на принципе разделения частного и общественного.

3. Структурность – культурно-исторический остров должен характеризоваться не столько свойствами отдельно взятых структурных элементов, сколько признаками его структуры, т. е. описанием связей и отношений между структурными элементами, входящими в состав острова. Структурным репером<sup>3</sup> КИО может выступать не только устойчивый каркас исторической части города или исторические визуальные акценты, но и обычная рядовая историческая застройка, не являющаяся объектом культурного наследия. Разрушить восприятие подобных объектов способно строительство всего одного современного здания<sup>4</sup>. Поэтому объектом охраны должна стать сама структура каркаса традиционных элементов города, выраженная в корреляции характеристик каркаса и ткани определенного типа КИО.

4. Иерархичность – каждый элемент культурно-исторического острова может быть представлен в виде системы. Например, улица может быть рассмотрена как система из структурных приемов и представлять собой часть более широкой системы в виде островного культурно-исторического района. Иерархичность также выражается в формировании модификации порядка зоны регулирования застройки, которую требует структура. Например, первая ступень могла бы регулировать строительство зданий по красным линиям, вторая ступень – по требованиям высотных доминант, третья – регулировала бы плотность застройки и т. д. Таким образом, была бы организована иерархия порядка. Чем больше таких ступеней в этой иерархической лестнице и больше условий упорядоченности, тем более устойчива сама структура.

<sup>2</sup> Рассматривается через аспекты устойчивости.

<sup>3</sup> То есть быть точкой отсчета, основанием для возникновения КИО.

<sup>4</sup> Подобная ситуация встречается во многих центральных районах российских городов. Очень часто рядовая историческая застройка или объекты старше 200 лет, по каким-то причинам еще не внесенные в созданный в 2002 г. реестр объектов культурного наследия, ничем не защищены.

5. Многофункциональность – культурно-исторический остров должен иметь несколько функций, где структурообразующими являются защита рядовой исторической застройки и функционирование как точки притяжения (в силу наличия визуальных акцентов и реперных архитектурных форм). Здесь остров отвечает современной градостроительной парадигме: качественная городская среда сегодня – это плотная и компактная застройка, оптимально использующая городское пространство, наполненная разнообразными функциями и обеспечивающая высокую пешеходную связность [10].

6. Эволюционность – для эволюционного развития города необходимо предусматривать возможность для включения новой застройки. В культурно-исторических островах предполагается новое строительство<sup>5</sup>, гармонично вписанное в среду острова по своим формально-композиционным характеристикам, но не копирующим историческую застройку. У каждого КИО, где предполагается новое строительство, есть свои потребности в создании определенных визуальных эффектов, и новое здание должно считаться с этими требованиями и находиться в границах допустимых воздействий.

7. Множественность описания – культурно-исторический остров, будучи сложной системой, может быть описан через множество различных вариантов островных районов, каждый из которых состоит из разного набора структурных элементов и имеет свой набор связей между элементами системы. Системный подход к определению КИО позволяет рассматривать как целостность не только культурно-исторический остров, но и отдельные структурные элементы города, являющиеся элементами этого острова, что позволяет рассматривать больше разнообразных территорий, обладающих разным потенциалом развития в контексте своей исторической значимости. Это может способствовать формированию диверсифицированного подхода в градостроительстве, позволит подходить к задачам не комплексно, а индивидуально, помогая решить проблемы, не решенные обычным зонированием.

Основой для формирования культурно-исторического острова является устойчивость градостроительного каркаса и наличие исторической застройки, будь то рядовая застройка или визуальный акцент. Предмет охраны КИО идентичен предмету охраны достопримечательного места, однако не все типы КИО могут с ним отождествляться. Некоторые типы КИО могут уточнять достопримечательное место, но не претендовать на звание объекта культурного наследия. Кроме того, установление границ данных градостроительных образований отличается субъективностью метода, на котором оно базируется<sup>6</sup>, что отражается и в формулировке определения предмета охраны достопримечательного места<sup>7</sup>. Характеристики культурно-исторических островов, структурные приемы элементов культурно-исторических островов, а также грани-

<sup>5</sup> Зависит от типа культурно-исторического острова.

<sup>6</sup> «Обоснование границ территории достопримечательного места, представляющих собой центры исторических поселений или фрагменты градостроительной планировки и застройки, должно базироваться на материалах анализа сохранности исторической среды города и установления ее ценности методом визуального восприятия» [12].

<sup>7</sup> «В условиях, если кварталы имеют неплохую сохранность фасадов по всему периметру, не искаженную линию застройки улиц, все это включается в предмет охраны» [12].

цы устойчивости основных структурных элементов города могут дополнить и конкретизировать критерии выявления достопримечательных мест, относящихся к центрам исторических поселений и фрагментам градостроительной планировки и застройки. А использование структурных приемов в типологии культурно-исторических островов может помочь тем территориям, которые лишены перспективы получить статус достопримечательного места или еще не успели этот статус оформить. Немаловажным аспектом, выделяющим культурно-исторический остров, является учет транспортных и социокультурных факторов, выраженных в учете транспортной инфраструктуры города и создании соответствующего функционального и природного контекста.

С учетом изложенного использование методов нечеткой логики может стать полезным инструментом в составлении типологии культурно-исторических островов. При неизбежности субъективного подхода при определении потенциала той или иной территории центральной части города нечеткая логика позволит в максимально возможной степени уменьшить эту субъективность, добавив в процесс принятия решения некий алгоритм.

#### **Метод нечеткой логики**

В условиях субъективности восприятия, которая свойственна произведениям архитектуры и оценки их «созвучности» с контекстом, в качестве инструмента принятия решений может быть интересен метод нечеткой логики. Термин «нечеткая логика» был введен американским профессором Л. Заде в 1965 г. в работе «Нечеткие множества», а уже в 1970 г., совместно с Р. Беллманом, им был подробно рассмотрен процесс принятия решения в нечетких условиях [13, 14]. Исследований на тему применения нечеткой логики в архитектуре и градостроительстве немного, что добавляет актуальности данному исследованию и дает почву для новых. К примеру, в одном из таких исследований М.И. Алиев, Э.А. Исаева, Н.А. Ашрафова, И.М. Алиев и В.Р. Фигаров предприняли попытку проанализировать процесс формообразования в архитектуре, используя метод нечеткой логики. Управляемая архитектором система рассматривается авторами как случайная, где процесс принятия решения происходит в нечетких условиях и нечеткость понятия красоты и гармонии выражается нечеткими множествами, «в которых нельзя указать строгую границу между элементами, принадлежащими и не принадлежащими к нему» [15]. Таким образом, был достаточно подробно показан метод распознавания наилучшего варианта композиции, где решением являлось «нечеткое множество в пространстве альтернатив, получающееся в результате слияния (пересечения) заданных целей и ограничений» [Там же].

Поскольку для определения типа КИО используются новые вводимые понятия, первоочередной задачей является их определение. Сделать это видится целесообразным с помощью методов нечеткой логики, что позволит не только описать вводимые понятия и приемы, но и поможет идентифицировать здание с учетом авторской классификации структурных приемов.

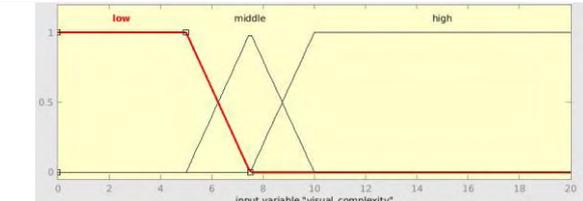
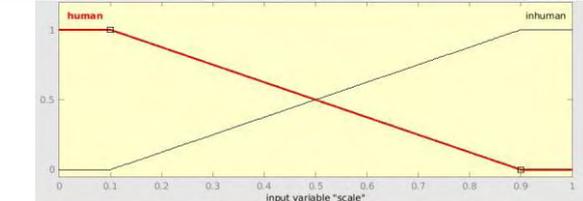
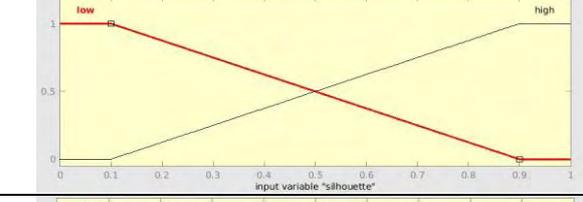
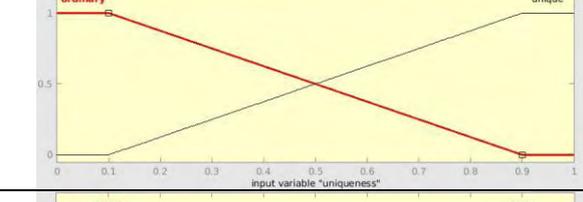
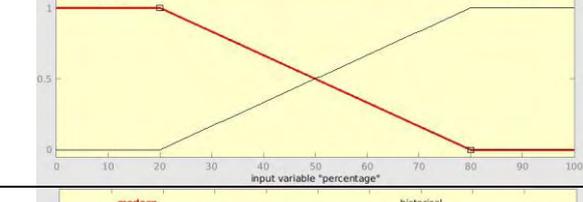
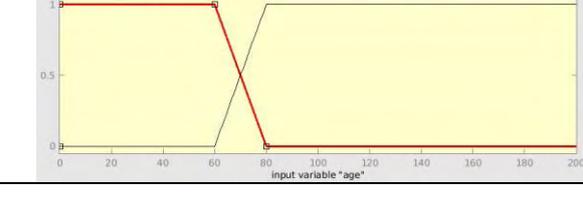
#### **Структурные приемы КИО**

Для определения типа КИО важно выяснить, из чего он состоит, а именно выявить состав визуальных акцентов и рядовой застройки на рас-

смагриваемой территории. Необходимо определить, к какому структурному приему относится то или иное здание. Будем полагать, что структурный прием КИО зависит от факторов, описанных в табл. 1, в качестве входных переменных системы нечеткого вывода.

Таблица 1

## Входные переменные для определения структурного приема КИО

№ п/п	Характеристика	Значение	Функция принадлежности (график фаззификации)
1	Визуальная сложность	Низкая	
		Средняя	
		Высокая	
2	Масштабность	Человеческий масштаб	
		Нечеловеческий масштаб	
3	Воздействие на силуэт	Низкое (не меняет)	
		Высокое (меняет)	
4	Уникальность	Низкая	
		Высокая	
5	Занимаемый % от площади квартала	Низкий	
		Высокий	
6	Возраст застройки	Современная	
		Историческая	

Тогда структурные приемы, являющиеся по своей сути выходными параметрами алгоритма нечеткого вывода Мамдани, можно описать через базу правил системы нечеткого вывода (табл. 2).

Таблица 2

**Характеристика структурных приемов КИО**

№ п/п	Структурный прием (выходные параметры)	Значение	Характеристика структурного приема (база правил системы нечеткого вывода)
1	Рядовая застройка	Историческая рядовая застройка	Если «Визуальная сложность» – «средняя»/«низкая» и «Масштабность» – «человеческая», и «Воздействие на силуэт» – «низкое», и «Уникальность» – «низкая», и «Возраст застройки» – «историческая»
		Визуальная пауза	Если «Визуальная сложность» – «низкая» и «Воздействие на силуэт» – «низкое», и «Уникальность» – «низкая», и «Занимаемый % от площади квартала» – «низкий», и «Возраст застройки» – «современная»
2	Визуальный акцент	Исторический визуальный акцент	Если «Визуальная сложность» – «высокая» и «Уникальность» – «высокая», и «Возраст застройки» – «историческая» Если «Воздействие на силуэт» – «высокое» и «Возраст застройки» – «историческая»
		Здание-аттракцион	Если «Воздействие на силуэт» – «низкое» и «Уникальность» – «высокая», и «Возраст застройки» – «современная»
3	Здание-«блокбастер»	«Блокбастер»	Если «Масштабность» – «нечеловеческая» и «Воздействие на силуэт» – «низкое», и «Занимаемый % от площади квартала» – «высокий», и «Возраст застройки» – «современная»

Система нечеткого вывода структурных приемов КИО была составлена с учетом условия существования КИО: ввиду необходимости отсутствия современного здания, доминирующего по высотным характеристикам над исторической застройкой, при введении соответствующих значений характеристик элементов КИО (входных параметров) не будет выбрано ни одного структурного приема (выходной параметр) (рис. 1).

Таким образом, используя данный алгоритм, представленный системой нечеткого вывода Мамдани, можно определить, к какому типу структурного приема относится то или иное здание на территории потенциального КИО.

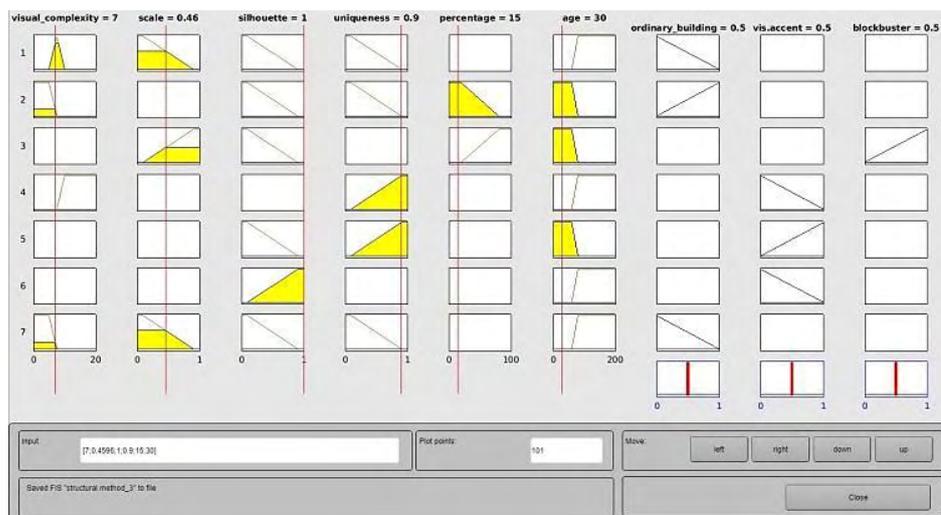


Рис. 1. Результат дефаззификации при современной застройке, оказывающей воздействие на силуэт (выполнено при помощи программы MATLAB)

### Типы КИО

С помощью методов нечеткой логики можно рассмотреть островное градостроительное образование, соответствующее ранее описанным признакам культурно-исторического острова. Существованию КИО не противоречит наличие на его территории современной застройки, но для определения границ возможных воздействий необходимо определить и выявить, к какому типу он относится. В качестве входных переменных системы нечеткого вывода используются ранее проанализированные структурные приемы, классифицированные по временному признаку (табл. 3).

Таблица 3

Входные переменные для определения типа КИО

№ п/п	Характеристика	Значение	Функция принадлежности (график)
1	Рядовая застройка	Только современная	
		Современная и историческая	
		Только историческая	
2	Визуальный акцент	Только современный	
		Современный и исторический	
		Только исторический	

Поскольку, помимо диссонирующих, по высотным характеристикам есть ограничения и по структурным признакам, то структурный прием здание-«блокбастер» исключается из входных переменных. Здесь стоит отметить, что если здание совмещает в себе сразу два структурных приема, например здание-«аттракцион» и здание-«блокбастер», то его наличие допустимо на территории КИО и оправдано его уникальностью, что благоприятно сказывается на социокультурной устойчивости всего острова.

Таким образом, было выявлено: основанием для выделения 5 типов исторических территорий города (табл. 3, 4) послужил сохранившийся исторический каркас. Множественность описания и устойчивость объемно-пространственной структуры, заложенные в понятие КИО, задают необходимость классификации данных типов по степени их устойчивости (табл. 5, 6). Степень устойчивости структуры влияет на границы возможных воздействий – чем больше устойчивость, тем меньше воздействий. Эти рекомендации способны задавать логику пространственной организации, что должно превалировать по значимости над проектированием отдельных зданий.

Таблица 4

Типы и подтипы исторических территорий города

Тип		I	II		III			IV		V
Подтип		I	IIА	IIБ	IIIА	IIIБ	IIIВ	IVА	IVБ	V
Характеристики	Рядовая застройка	историческая	историческая	историческая + современная	историческая	историческая + современная	современная	историческая + современная	современная	современная
	Визуальный акцент	исторический	исторический + современный	исторический	современный	исторический + современный	исторический	современный	исторический + современный	современный

Сохранение исторических красных линий и границ межевания является объединяющим правилом для всех типов исторических территорий города. Однако, как показала данная классификация, не все типы исторических территорий города можно причислить к устойчивым КИО. Точкой перехода функции принадлежности к понятию «устойчивый КИО» (в формально-композиционном аспекте) стало значение 3, 5, т. е. при классе устойчивости в диапазоне от 3 до 4, при умеренной категории исторической значимости, историческая территория города еще может претендовать на звание КИО. Кроме того, анализ исторических центров европейских городов (рис. 3, 4), включенных в список объектов Всемирного наследия ЮНЕСКО, показал, что большинство из них можно отнести к типу III, для которого характерны по

большей части именно значения в диапазоне от 3 до 4. Таким образом, формализация нечеткого понятия «устойчивый культурно-исторический остров» (рис. 2) показывает, что при более низких значениях (< 4) историческая территория не может стать КИО, что не исключает возможности ее образования в целостный по своим формально-композиционным и социокультурным характеристикам островной район<sup>8</sup>.

Таблица 5

## Входные параметры для определения класса устойчивости

Тип	Критерий											
	К1			К2				К1+К2	К3			
	Рядовая застройка			Визуальный акцент					% исторической застройки			
	современная	историческая + современная	историческая	современный	исторический + современный	исторический	0	1	2	3		
	0	1	2	0	1*	2					< 25 %	25 % $\wedge$ 1 < 50 %
I			2			2	4	–	–	–	<b>7</b>	
IIА			2		1		3	–	–	<b>5</b>	<b>6</b>	
IIБ		1				2	3	–	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	
IIIА			2	0			2	–	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	
IIIБ		1			1		2	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	
IIIВ	0					2	2	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	–	
IVА		1		0			1	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	–	
IVБ	0				1		1	<b>1</b>	<b>2</b>	–	–	
V	0			0			0	<b>0</b>	–	–	–	

\* При условии отсутствия современной вертикальной доминанты.

<sup>8</sup> В качестве исключения можно рассматривать исторические территории, застроенные после войны зданиями, имитирующими историческую рядовую застройку. По временным характеристикам такая застройка является современной, но по моральным и формально-композиционным характеристикам такой район можно отнести к КИО (пример – Кельн, Варшава, Гданьск и пр.).

Таблица 6

## Границы допустимых современных воздействий

Класс устойчивости	Категория исторической значимости	Структурный прием			
		Визуальный разрыв* (во фронте застройки)	Рядовая застройка	Визуальный акцент	Здание-«блокбастер»
7	Очень высокая	<p>Возведение ограждений или зеленых насаждений на месте разрывов</p> <p>Возможен перенос исторических зданий с деградирующих территорий с единичными рядовыми зданиями</p> <p>Не рекомендуется строительство новых зданий, имитирующих историческую застройку, но допустимо при обосновании</p>	<p>Только внутри квартала (при квартальной застройке КИО) при отсутствии запрещающих регламентов</p> <p>С условием отсутствия визуального воздействия при восприятии исторических зданий (не более высоты по коньку (парапета) самого низкого здания квартала)</p> <p>Соответствие социокультурным требованиям места (функции и транспорт)</p>	Недопустимо	Недопустимо
5-6	Высокая	<p>Строительство современных зданий на месте разрывов допустимо</p>	<p>Минимальное визуальное воздействие на восприятие исторических зданий при строительстве внутри квартала (не диссонирующее с исторической застройкой)</p> <p>Соответствие социокультурным требованиям места</p>	Не рекомендуется при $K2 = 2$	Недопустимо
		<p>Современное здание – визуальная пауза по отношению к рядовой исторической застройке (с сохранением процентного диапазона исторической застройки в пределах существующей группы)</p>			
3-4	Умеренная	<p>Строительство современных зданий на месте разрывов допустимо</p>	<p>Новые здания не должны превышать высоту соседних зданий рядовой застройки при строительстве внутри квартала</p>	Допустимо (здание-«аттракцион»)	Допустимо, если здание является зданием-«аттракционом»
		<p>Новые здания должны поддерживать опорную историческую и современную рядовую застройку и стать визуальной паузой по отношению к исторической застройке</p> <p>Допустимо строительство новых визуальных акцентов, если они не оказывают негативного воздействия при восприятии исторических зданий и если это оправдано социокультурными потребностями места</p> <p>Важно сохранять процентный диапазон исторической застройки (в пределах существующей группы), чтобы не потерять предмет охраны КИО и не оказаться в низком классе устойчивости</p>			

Окончание табл. 6

Класс устойчивости	Категория исторической значимости	Структурный прием			
		Визуальный разрыв (во фронте застройки)	Рядовая застройка	Визуальный акцент	Здание- «блокбастер»
1–2	Низкая	Допустимо строительство современных зданий при условии обеспечения благоприятного восприятия как исторических визуальных акцентов, так и зданий рядовой исторической застройки Новые здания должны соответствовать формально-композиционным характеристикам опорной исторической застройки в упрощенном виде, чтобы сохранять память места и работать визуальной паузой (за исключением визуальных акцентов) Недопустимо строительство зданий-«блокбастеров» рядом с историческими зданиями Для типа IVA возможен (при необходимости) перенос сохранившихся зданий исторической рядовой застройки в тип I или II для увеличения их категории исторической значимости и класса устойчивости		Допустимо (здание-«аттракцион»)	Допустимо
0	Очень низкая	Строительство современных зданий с учетом сохранения исторических красных линий Определение доминантного стиля опорной современной застройки для определения основных формально-композиционных характеристик будущей разнообразной современной застройки			

\* Визуальный разрыв как градостроительный структурный прием – пустой промежуток во фронте домов, превышающий среднюю ширину основного массива домов (вводимое понятие). Данное понятие может быть использовано и для описания слишком широкой проезжей части или площади. В большинстве случаев визуальным разрывом рядом с визуальным акцентом является большая площадь, что благоприятно сказывается на восприятии акцента. Однако в контексте устойчивости вариант с отсутствием визуальных разрывов рассматривается как наиболее лучший, как {И} в формально-композиционном аспекте (сплочение элементов ткани), так и {И} в социокультурном («принцип обзора и укрытия» [16, 17]).

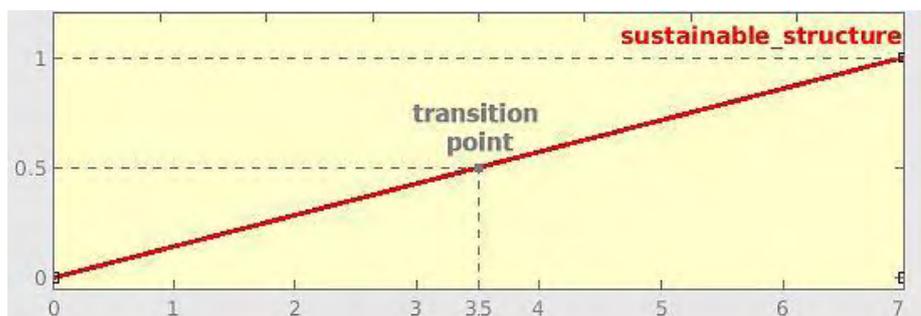


Рис. 2. Описание лингвистической переменной «устойчивый КИО» в архитектурно-градостроительном аспекте



Рис. 3. Тип III Б – исторический центр г. Граца в Австрии, включенный в список объектов Всемирного наследия ЮНЕСКО (URL: <http://whc.unesco.org/uploads/nominations/931bis.pdf>; [http://architime.ru/specarch/hog\\_architektur/broken\\_mirror.htm#3.jpg](http://architime.ru/specarch/hog_architektur/broken_mirror.htm#3.jpg); <https://docplayer.ru/59052281-Arhitekturnoe-proektirovanie-obshchestvennyh-prostranstv.html>)



Рис. 4. Тип IV Б (III Б) – исторический центр г. Кельна в Германии, включенный в список объектов Всемирного наследия ЮНЕСКО (URL: [http://whc.unesco.org/en/list/292/multiple=1&unique\\_number=1628](http://whc.unesco.org/en/list/292/multiple=1&unique_number=1628); [http://historiccities.huji.ac.il/germany/cologne/maps/stockdale\\_1800\\_cologne\\_b.jpg](http://historiccities.huji.ac.il/germany/cologne/maps/stockdale_1800_cologne_b.jpg); [https://www.pac.ru/component/option,com\\_geo/resort,277603/](https://www.pac.ru/component/option,com_geo/resort,277603/))

### Выводы

1. Культурно-исторические острова (КИО), являясь по своей сути кластерами, принадлежат системе исторического центра города. КИО можно определить и как подсистему достопримечательного места, и как островное градостроительное образование, не имеющие строгих охранных регламентов и допускающие новое современное строительство в исторической части города с учетом границ возможных воздействий, зависящих от типа островной исторической территории. Таким образом, КИО можно представить в виде градостроительной системы, сформированной устойчивыми структурными элементами города и ограниченной «визуальными разрывами» (крупными пространственными делителями связности), где целостность системы обеспечивается аспектами формально-композиционной, социокультурной и транспортной устойчивости.

2. С помощью методов нечеткой логики выявлены структурные приемы КИО, позволяющие оценить территорию исторической части города, определить тип КИО и вектор его дальнейшего развития.

3. Выявлена типология исторических территорий города на основании морфологических признаков структурных приемов. Типы классифицированы по категориям исторической значимости, что позволило выявить возможные классы устойчивости для каждого типа.

4. Формализация нечеткого понятия «устойчивый культурно-исторический остров» позволяет идентифицировать историческую территорию города на предмет ее принадлежности к устойчивому КИО, что способствует определению границ возможных воздействий.

5. Выявлена типология КИО в соответствии с результатами анализа, выполненного с помощью метода нечеткой логики и введенных для анализа структурных приемов и классификации по классам устойчивости:

– «музейный кластер» – культурно-исторический остров, характеризующийся очень высокой категорией исторической значимости и отсутствием современной застройки;

– выраженный культурно-исторический остров – характеризуется высоким уровнем исторической значимости, современные здания встречаются либо в составе рядовой застройки, либо в виде визуальных акцентов (зданий-аттракционов), служащих дополнительной точкой притяжения для туристов, но не оказывающих негативного воздействия на восприятие исторических зданий;

– невыраженный культурно-исторический остров смешанного типа – самый распространенный тип исторических территорий города, характеризуется смешением исторической и рядовой застройки, а также умеренной категорией исторической значимости. Является переходным типом по методу нечеткой логики;

– островное градостроительное образование с примесью исторической застройки – характеризуется низким уровнем исторической значимости, что не лишает его принципов островной структуры КИО. Рекомендации к данному типу позволят формировать устойчивые градостроительные образования, привлекающие к себе сохранившейся градостроительной структурой и исто-

рическими объектами. Такие типы исторических территорий города хранят в себе потенциал трансформации если не в туристические кластеры, то как минимум в многофункциональные устойчивые комплексы;

– современный кластер – островное градостроительное образование, сформированное на основе устойчивого исторического градостроительного каркаса. Характеризуется очень низкой категорией исторической значимости, что не ограничивает его в возможности передачи масштаба и ритма некогда расположенных здесь исторических зданий (потенциал формирования интересных средовых приемов, не ограниченных строгими регламентами).

### Заключение

Выявленная типология культурно-исторических островов может быть полезна при оценке исторических территорий городского центра на предмет их принадлежности к типу КИО (или может помочь в оценке потенциала территории на предмет ее принадлежности к достопримечательному месту), что позволит принимать более объективные и эффективные решения в отношении дальнейшего устойчивого развития территории исторического центра города. Использование метода нечеткой логики позволило охарактеризовать авторские структурные приемы, задав процессу идентификации определенный алгоритм. Данный подход к анализу исторических территорий может найти применение среди исследователей в области архитектуры и градостроительства.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Гайкова Л.В.* Полицентризм как парадигма развития российских городов // Архитектон: известия вузов. 2015. № 2. С. 69–81.
2. *Дирин Д.А., Сеницына Е.Г., Кусков А.С.* Кластерный подход к территориальной организации туризма // Известия Алтайского государственного университета. 2012. № 3. С. 109–113.
3. *Гордин В.Э., Матецкая М.В.* Культурные кластеры как генераторы инноваций в развитии туризма в дестинации // Роль туризма в модернизации экономики российских регионов : сб. науч. ст. по материалам Междунар. научно-практической конф. (Петрозаводск – Кондопога, 8–10 июня 2010 г.). Петрозаводск : Карельский научный центр РАН, 2010. С. 195–199.
4. *Ковалев Ю.П.* Региональные туристские кластеры как перспективная составная часть туристского хозяйства // Региональные исследования. 2006. № 3 (9). С. 76–80.
5. *Поморов С.Б.* Научно-проектное обоснование организации туристского кластера в исторической части современного крупного города // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2015. № 3. С. 46–54.
6. *Агеев С.А.* Сохранение локальных исторических комплексов методами градостроительного регулирования : диссертация на соискание ученой степени кандидата архитектуры: 18.00.04. Москва, 2005. 168 с.
7. *Гащенко А.Е.* Формирование базовых градостроительных образований в структуре г. Новосибирска : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата архитектуры: 05.23.22. Санкт-Петербург, 2018. 26 с.
8. *Колесников С.А.* Архитектурная типология высокоурбанизированных многофункциональных узлов городской структуры крупнейшего города : диссертация на соискание ученой степени кандидата архитектуры: 18.00.02. Самара, 2006. 180 с.
9. *Колхас Р.* Нью-Йорк вне себя: Ретроактивный манифест Манхэттена : пер. с англ. Москва : Strelka Press, 2013. 336 с.
10. *Эллард К.* Среда обитания: Как архитектура влияет на наше поведение и самочувствие : пер. с англ. 3-е изд. Москва : Альпина Паблишер, 2019. 288 с.

11. *Aureli P.V.* Возможность абсолютной архитектуры : пер. с англ. Москва : Strelka Press, 2014. 304 с.
12. *Письмо Министерства культуры РФ* от 28 февраля 2017 г. № 49-01.1-39-НМ. О методических рекомендациях по отнесению историко-культурных территорий к объектам культурного наследия в виде достопримечательного места // Гарант : сайт информ.-правовой компании. URL: <http://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/71524352/>
13. *Zadeh L.A.* Fuzzy sets // *Information and Control*. 1965. V. 8. P. 338–353.
14. *Belman R.E., Zadeh L.A.* Decision – making in a fuzzy environment // *Management Science*. 1970. V.17. P. 141–164. Москва : Мир, 1976. С. 172–215. (Принятие решения в расплывчатых условиях : сборник переводов / под ред. И.Ф. Шахнова).
15. *Алиев М.И. и др.* Выбор решения в архитектуре // *Новости искусственного интеллекта*. 2003. № 3. URL: <http://www.raai.org/library/library.shtml?ainewspapers>
16. *Hildebrand G.* The Wright space: Pattern and meaning in Frank Lloyd Wright's houses. WA : University of Washington Press ; First Edition, 1991. 192 p.
17. *Александр К. Исакова С., Сильверстайн М.* Язык шаблонов. Города. Здания. Москва : Студия Артемия Лебедева, 2014. 1096 с.

#### REFERENCES

1. *Gaikova L.V.* Politsentrizm kak paradigma razvitiya rossiiskikh gorodov [Polycentrism as a paradigm of Russian cities development]. *Arkhitekton: izvestiya vuzov*. 2015. No. 2. Pp. 69–81. (rus)
2. *Dirin D.A., Sinitsyna E.G., Kuskov A.S.* Klasternyi podkhod k territorial'noi organizatsii turizma [Cluster approach to territorial organization of tourism]. *Izvestiya Altaiskogo gosudarstvennogo universiteta*. 2012. No. 3. Pp. 109–113. (rus)
3. *Gordin V.E., Matetskaya M.V.* Kul'turnye klasteri kak generatory innovatsii v razvitiit turizma v destinatsii [Cultural clusters as generators of innovations in tourism development in destination]. Rol' turizma v modernizatsii ekonomiki rossiiskikh regionov: sb. nauch. st. po materialam Mezhdunar. nauchno-prakticheskoi konf. (*Proc. Int. Sci. Conf. 'Tourism in Modernization of Economy of Russian Regions'*). Petrozavodsk, 2010. Pp. 195–199. (rus)
4. *Kovalev Yu.P.* Regional'nye turistskie klasteri kak perspektivnaya sostavnaya chast' turistskogo khozyaistva [Regional tourist clusters as a promising component of tourist economy]. *Regional'nye issledovaniya*. 2006. No. 3 (9). Pp. 76–80.
5. *Pomorov S.B.* Nauchno-proektnoe obosnovanie organizatsii turistskogo klastera v istoricheskoi chasti sovremennogo krupnogo goroda [Scientific and design justification for tourist cluster development in historical part of modern big city]. *Vestnik of Tomsk State University of Architecture and Building*. 2015. No. 3. Pp. 46–54. (rus)
6. *Ageev S.A.* Sokhranenie lokal'nykh istoricheskikh kompleksov metodami gradostroitel'nogo regulirovaniya: dissertatsiya na siskanie uchenoi stepeni kandidata arkhitektury [Preservation of local historical complexes by methods of town-planning regulation. PhD Thesis]. Moscow, 2005. 168 p. (rus)
7. *Gashenko A.E.* Formirovanie bazovykh gradostroitel'nykh obrazovaniy v strukture g. Novosibirsk: avtoreferat. dissertatsii na soiskanie uchenoi stepeni kandidata arkhitektury [Formation of basic urban planning formations in Novosibirsk. PhD Thesis]. Saint-Petersburg, 2018. 26 p. (rus)
8. *Kolesnikov S.A.* Arkhitekturnaya tipologiya vysokourbanizirovannykh mnogofunktsional'nykh uzlov gorodskoi struktury krupneishego goroda : dissertatsiya na siskanie uchenoi stepeni kandidata arkhitektury [Architectural typology of highly urbanized multifunctional nodes of the largest city structure. PhD Thesis]. Samara, 2006. 180 p. (rus)
9. *Koolhaas R.* N'yu-Iork vne sebya: Retroaktivnyi manifest Mankhettena [Delirious New York: A Retroactive Manifesto for Manhattan]. Moscow: Strelka Press, 2013. 336 p. (transl. from Engl.)
10. *Ellard C.* Sreda obitaniya: Kak arkhitektura vliyaet na nashe povedenie i samochuvstvie [Environment: How architecture affects our behavior and well-being], 3rd ed. Moscow: Al'pina Pabliisher, 2019. 288 p. (transl. from Engl.)
11. *Aureli P.V.* Vozmozhnost' absolyutnoi arkhitektury [The possibility of an absolute architecture]. Moscow: Strelka Press, 2014. 304 p. (transl. from Engl.)

12. Pis'mo Ministerstva kul'tury RF ot 28 fevralya 2017 g. N 49-01.1-39-NM. O metodicheskikh rekomendatsiyakh po otneseniyu istoriko-kul'turnykh territorii k ob"ektam kul'turnogo naslediya v vide dostoprimechatel'nogo mesta [Letter N 49-01.1-39-NM of the Ministry of Culture of the Russian Federation from February 28, 2017. Methodological recommendations for attributing historical and cultural areas to the cultural heritage objects]. Available: [www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/71524352/](http://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/71524352/) (rus)
13. Zadeh L.A. Fuzzy sets. Information and control. 1965. V. 8. Pp. 338–353.
14. Belman R.E., Zadeh L.A. Decision-making in a fuzzy environment. *Management Science*. 1970. V. 17. Pp. 141–164.
15. Aliev M.I., et al. Vyboraresheniya v arkhitekture [Decision making in architecture]. *Novosti iskusstvennogo intellekta*. 2003. No. 3. Available: [www.raai.org/library/library.shtml?ainews-papers](http://www.raai.org/library/library.shtml?ainews-papers) (rus)
16. Hildebrand G. The Wright space: Pattern and meaning in Frank Lloyd Wright's houses, 1st ed. Washington: University of Washington Press, 1991. 192 p.
17. Aleksander K. Isakova S., Sil'verstein M. Yazyk shablonov. Goroda. Zdaniya [The language of templates. Cities. Buildings]. Moscow: Studiya Artemiya Lebedeva, 2014. 1096 p. (rus)

#### Сведения об авторе

Лейзерова Арина Вениаминовна, ассистент, Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, 620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19, [leyzerova@bk.ru](mailto:leyzerova@bk.ru)

#### Author Details

Arina V. Leizerova, Assistant Lecturer, Ural Federal University, 19, Mira Str., 620002, Ekaterinburg, Russia, [leyzerova@bk.ru](mailto:leyzerova@bk.ru)

УДК 712.01: 712.3

DOI: 10.31675/1607-1859-2020-22-5-82-97

*И.В. БАРСКАЯ, И.В. КУЛИКОВА,  
Томский государственный архитектурно-строительный университет*

### **АНАЛИЗ ТЕРРИТОРИЙ ИСТОРИЧЕСКИХ ПАРКОВЫХ ЗОН СО СЛОЖНЫМ РЕЛЬЕФОМ В Г. ТОМСКЕ**

В основу статьи был положен обзорный анализ территорий парковых зон со сложным рельефом в г. Томске. Обзор позволил выявить проблемы благоустройства территорий со сложным рельефом и пути их решения в различных городах. В ходе исследовательской работы собраны данные некоторых парковых зон исторических районов г. Томска. Проведен анализ ландшафта парковых зон, купеческих заимок и садов XIX – начала XX в., располагавшихся на сложном рельефе.

**Ключевые слова:** г. Томск; городская среда; исторический анализ территорий; заимки купцов; сложный рельеф; ландшафт; благоустройство; прибрежные территории; поймы рек; сады, парки.

**Для цитирования:** Барская И.В., Куликова И.В. Анализ территорий исторических парковых зон со сложным рельефом в г. Томске // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2020. Т. 22. № 5. С. 82–97.

DOI: 10.31675/1607-1859-2020-22-5-82-97

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

### **HISTORICAL PARK AREAS WITH RUGGED TOPOGRAPHY IN THE CITY OF TOMSK**

The article presents the general review of the park areas with rugged topography in the city of Tomsk. The problems of landscaping the territory of rugged topography and ways to solve them are discussed for different cities. The obtained data concern the park areas of the historical Tomsk regions. The landscape analysis is given to the park areas, merchant houses and gardens of the 19th and early 20th centuries, which locate on the territory with rugged topography.

**Keywords:** Tomsk; urban environment; historical analysis; merchant houses; rugged topography; landscape; landscaping; coastal areas; overflow land; gardens; parks.

**For citation:** Barskaya I.V., Kulikova I.V. Analiz territorii istoricheskikh parkovykh zon so slozhnym rel'efom v Tomske [Historical park areas with rugged topography in the city of Tomsk]. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture. 2020. V. 22. No. 5. Pp. 82–97.

DOI: 10.31675/1607-1859-2020-22-5-82-97

Территории со сложным рельефом (овраги, холмы, поймы рек и др.) весьма часто не могут использоваться под строительство по ряду причин: затруднительно и затратно проведение проектно-изыскательских работ, инженерно-геологических, гидрологических, геодезических мероприятий, а также прокладка инженерных коммуникаций и др.

Поэтому такие территории в городах остаются свободными от застроек, большинство из них заброшены, никак не облагораживаются, вследствие чего

зарастают самосевом. Неопрятность и неухоженный вид деревьев и кустарников, а также спонтанно возникающие свалки мусора на неосвоенных территориях портят как экологию, так и внешний вид города. Лучшим решением для использования таких территорий является устройство парковых зон в природном (пейзажном) стиле.

В последнее время особое внимание уделяется теме благоустройства набережных рек. Вопросами решения проблем формирования городской среды на сложном рельефе посвящены работы К.А. Черепанова, Д.В. Бобрышева, С.Э. Вершинина [1, 2], Д.В. Анпольского [3], в которых предлагается комплексный подход к исследованию организации среды приречных территорий, концепция реабилитации рек и обустройство береговых полос с экологическим парком. В работах С.Г. Курбановой, И.А. Рысаевой [4] для формирования комфортной городской среды предлагается использование возможностей геопластики. К.К. Коваленко и Р.Е. Глустый предлагают использовать сетки и георешетки для предотвращения разрушения грунта, создание экологических маршрутов, прогулочных экотроп с беседками, лестницами и видовыми площадками [5]. В центре г. Томска обустроивается набережная р. Ушайки, которая является визитной карточкой района. Вопросам благоустройства прибрежных территорий Томска посвящены работы томских исследователей: В.И. Коренева, А.А. Бурлуцкого, У.Ю. Гусевой [6], В.С. Шульгиной [7], А.А. Сергеевой [8] и др.

Из современных природных ландшафтных объектов на сложном рельефе в Томске, где жители могут погулять и насладиться пейзажными видами, остались Лагерный сад, Университетская роща, Ботанический сад, Буфф-сад, Михайловская роща, набережная р. Томи.

В построенных новых микрорайонах на сложном рельефе часто устраиваются железобетонные подпорные стенки, но полноценного ландшафтного благоустройства не выполняется. В некоторых районах города наблюдаются робкие попытки благоустроить микрорайоны, что в масштабах города не соответствует современным возможностям ландшафтного дизайна. К жилым районам Томска на сложном рельефе можно отнести: мкр. Солнечный, 2-й микрорайон, мкр. Зеленые горки, мкр. Жилмассив, южный склон вдоль Иркутского тракта (пос. Кирпичи, р-н ул. Потанина – Ближний поселок), р-ны Каштак, ул. Ключевская, мкр. Радужный, р-н Лагерного сада, ул. Мокрушина и др.

В Томске достаточно сложный рельеф, а кроме этого, здесь расположено большое количество родников. На видах Томска, отраженных в начале XIX в. в работах мастера ландшафтной живописи А.Е. Мартынова (1768–1826), изображена полноводная р. Ушайка, а весь ландшафт города представлен холмистой местностью [9]. Природно-географические факторы, такие как сложные формы рельефа, родники и заболоченные участки местности, повлияли на направления улиц и тип архитектурной застройки города. Начиная от возведения строений на южном мысе Воскресенской горы, город постепенно стал строиться по ее низу, на надпойменных террасах по берегам рек Ушайки и Томи [10].

Губернатор А.Д. Озёрский, имевший образование горного инженера (закончил Горный кадетский корпус), говорил о съезде с Воскресенской горы:

«Этот съезд, образовавшийся из прохожей тропинки, при постепенном обвале горы, был крайне неудобен для въезда на гору от непомерной высоты земляного полотна, мягкости грунта, а весной и осенью – от размывов воды...» [11]. При его благоустройстве в середине XIX в. по обеим сторонам съезда были устроены небольшие крытые водосточные канавы, выложенные кирпичом, съезд был усыпан крупным гравием, а на гребнях откосов Воскресенской горы были посажены деревья. Из заметок князя К.А. Вяземского о Воскресенской горе, побывавшего в Томске в 1891 г., можно понять, как обстояли дела с благоустройством в городе: «Чего бы не сделали с этой горой французы или немцы, если бы Томск им принадлежал! Тут раскинулись бы и сады, построились бы беседки... У сибиряков же тут сараи, лачуги да помойная яма...» [9].

В конце XIX в. городская дума обратила внимание на обширную, густо населённую и в то же время грязную часть Томска в пойме р. Ушайки, известную под названием «Болото» (рис. 1). Заболоченный район со сложным рельефом, с трёх сторон окруженный Воскресенской горой, и многочисленными родниковыми зонами. Для устройства пологого взвоза в то время городу пришлось выкупить часть земель [11].



Рис. 1. Панорама района Болото, 1970-е гг. Автор фото А. Попов. Частный архив

Городу было выгодно сдавать свободные участки земли, непригодные для застройки и земледелия, или на его окраинах, так называемые неудобицы: холмистые, с оврагами, поймы рек, например участки вдоль рек Томи, Ушайки, Басандайки. Содержание и облагораживание таких территорий со сложным рельефом было затратным для города, а купцам было выгодно брать в аренду земли у города на окраинах или за его чертой, т. к. со временем эти участки можно было выкупить [12]. Здесь купцы занимались промышленным производством, строили дачи и заимки, разбивали сады. Загородный отдых вплоть до конца XIX в. был доступен лишь состоятельным людям, а позже это стало массовым явлением [12, 13].

Одним из основных заработков томских купцов была транспортировка грузов, поэтому для содержания табунов лошадей, а иногда даже конного завода, как у И.Л. Фуксмана на Степановке, приходилось выкупать обширные площади городских и пригородных земель [14]. Окраины Томска использовались под пастбища, сенокосы, а также под пасеки [11]. Поймы равнинных рек служили хорошими сенокосными угодьями. Известно, что в безопасных от эрозии местах такие территории часто распахивались, террасы использовались под посев всевозможных сельскохозяйственных культур, а также служили местом расположения населённых пунктов, особенно в горных районах.

Если говорить об исторических объектах ландшафтной архитектуры Томска на сложном рельефе, то известны ныне не сохранившиеся и те владения купцов и деятелей XIX–XX вв., которые существуют в наше время. Это парки, сады, дачные поселки, заимки и др. В Томске устраивались частные, коммерческие сады [15], которые приносили доход их владельцам.

**Сад И.Д. Асташева.** В середине XIX в. на окраине города, недалеко от моста через р. Томь, на бывшей заимке томского золотопромышленника И.Д. Асташева был устроен небольшой парк (рис. 2), который впоследствии получил название сад «Алтай» [12, 15]. Сад с цветниками, хвойными и лиственными деревьями был расположен на наклонном участке берега р. Томи к северо-западу от Лагерного сада, где сейчас находится пивзавод.

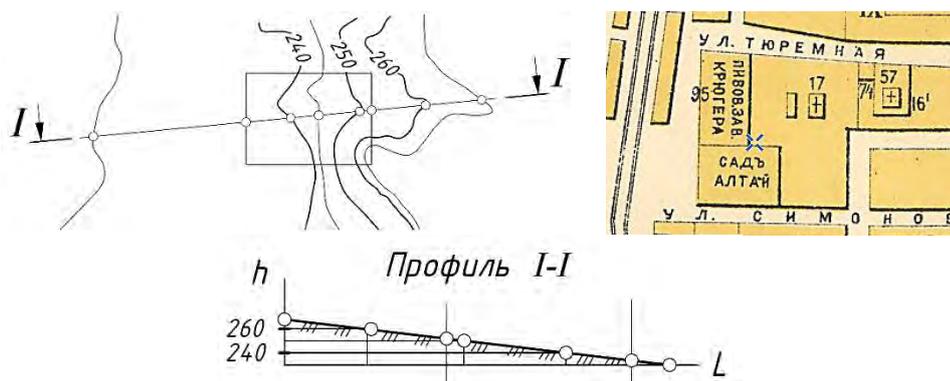


Рис. 2. Планы и профиль рельефа в районе сада И.Д. Асташева (сад «Алтай»). Чертежи выполнены И.В. Барской

**Университетская роща.** Центральное место в паркостроении города принадлежало Университетской роще и всему ансамблю Императорского Томского университета. На фотографиях, сделанных авторами осенью 2019 г., видно, что на территории рощи достаточно крутые уклоны с восточной стороны (рис. 3).



Рис. 3. Университетская роща, осень 2019 г. Автор фото И.В. Барская

По построенным профилям некоторых участков со сложным рельефом с западной и северо-западной сторон рощи видно, что здесь склоны более пологие (рис. 4).

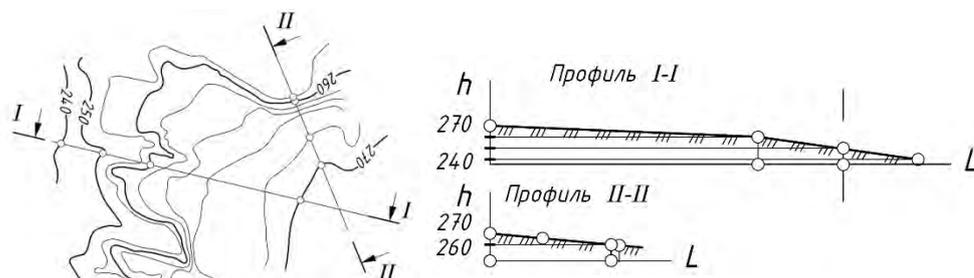


Рис. 4. План и профили рельефа на территории Университетской рощи. Чертежи выполнены И.В. Барской

**Сад Ф.А. Горохова.** В середине XIX в. на месте нынешнего Дома офицеров (пр. Ленина, 50) находился дом с великолепным садом, который располагался по западной бровке Юрточной горы [12]. Можно сделать некоторые выводы о рельефе сада по отзывам одного из очевидцев: «...где 5 лет тому назад возвышались глинистые скалы, – между которых пробирался журчащий ручеек, вероятно какой-нибудь пересохший рукав р. Томи, потому что река здесь очень близко, – теперь в красивой раме тихо струится светлый и стройный пруд...» [16]. По территории сада в то время протекал небольшой рукав р. Томи (рис. 5, 6) под названием Исток, который был превращен в пруд [12].

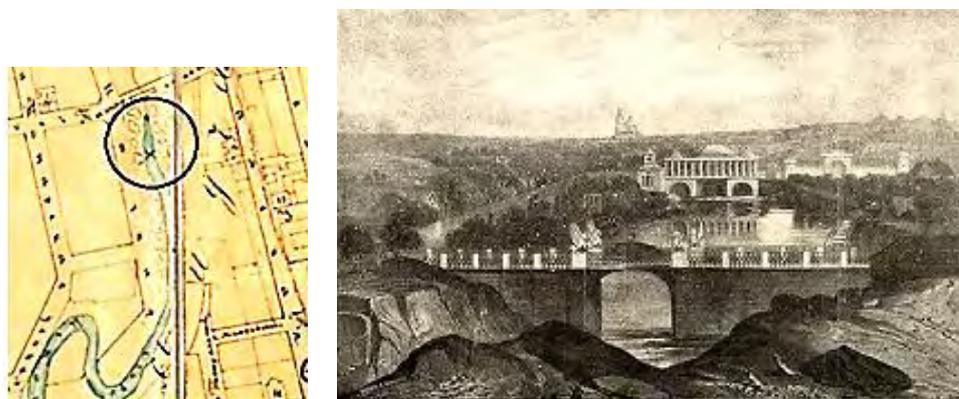


Рис. 5. Пятый восточный участок, фрагмент карты 1833 г. (слева); гравюра «Гороховский сад в 40-х гг. XIX в. Вид из Макаровского переуллка» (справа)

**Сад «Буфф»** (пер. с фр. – «шутовской», «комический») – городской старинный парк с интересным многоуровневым рельефным ландшафтом (рис. 7). Частный сад был устроен известным томским предпринимателем В.Л. Морозовым, для чего он приобрел в собственность поросший лесом обширный участок земли на Торговой улице.

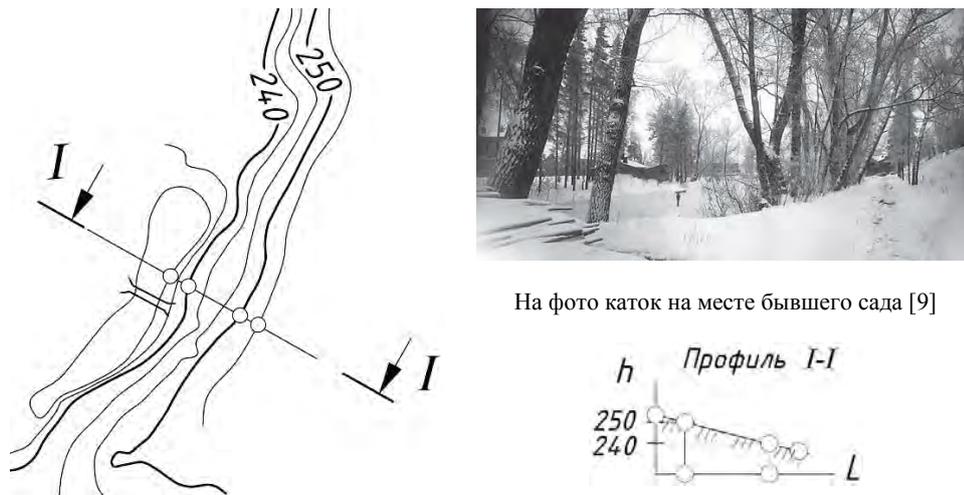


Рис. 6. План и профили рельефа в районе сада Ф.А. Горохова. Чертежи выполнены И.В. Барской

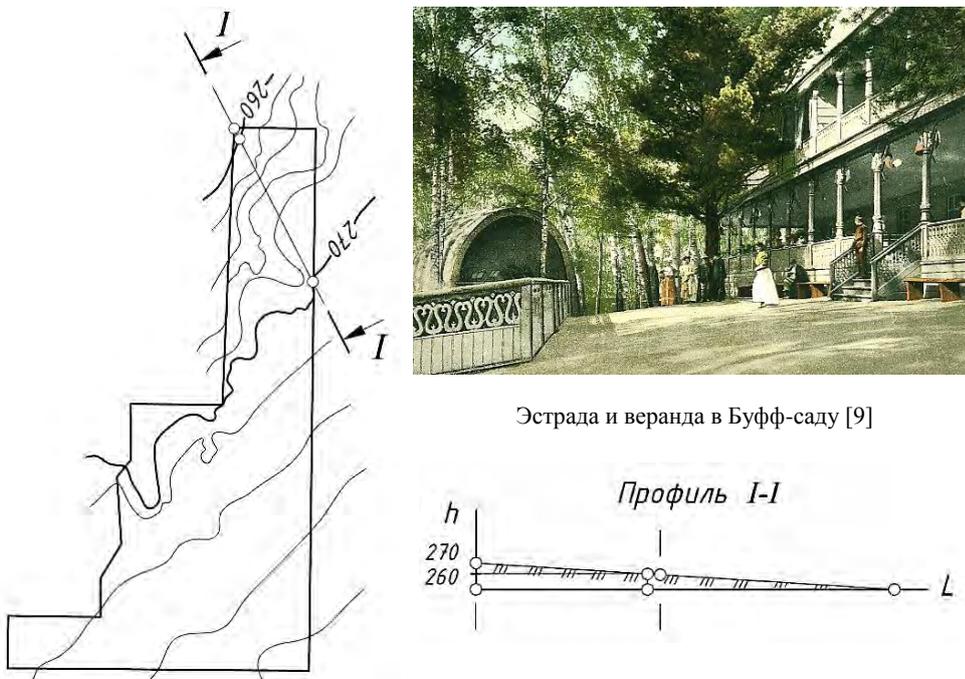


Рис. 7. План и профиль рельефа в районе сада. Чертежи выполнены И.В. Барской

До устройства сада в 1907 г. на этой тогда окраинной территории сохранялся ещё первозданный таёжный лес. В современном парке (рис. 8) предлагается деликатно интегрировать в существующий ландшафт террасные площадки с созданием цветников, преобразовав для этого действующий водопад [17].



Рис. 8. Современный Буфф-сад. Автор фото неизвестен

Довольно большой территорией в русле р. Ушайки является Михайловская роща. Восточнее находится район Хромовки, бывшей загородной заимки купца и золотопромышленника С.Ф. Хромова.

**Сад В.В. Михайлова** – ныне Михайловская роща (рис. 9), названная так по имени её создателя В.В. Михайлова – почётного гражданина Томска, купца, мецената.

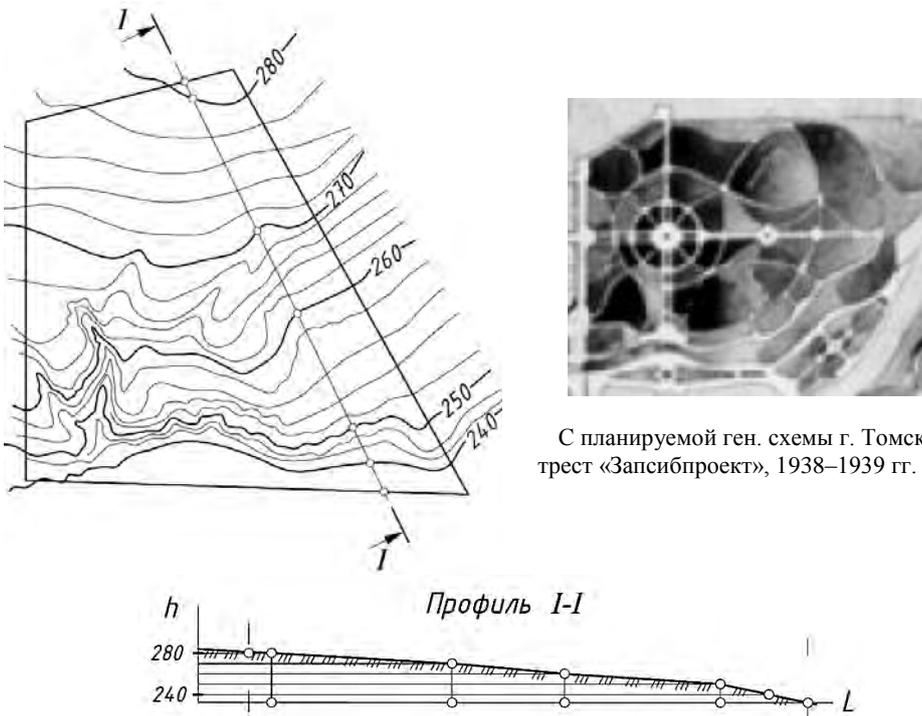


Рис. 9. Рельеф в современной Михайловской роще. Автор фото неизвестен

Из участка диких зарослей на склоне правого берега р. Ушайки были устроены аллеи с беседками, а в центре парка, вокруг огромного кедра, – живой фонтан, струи которого падали в бассейн прямо с кроны дерева [9]. На рис. 10 показаны план и профиль основного южного склона рощи, построенный авторами по данным карты 1933 г., а также фрагмент этой территории с планируемой генеральной схемы г. Томска в 1938–1939 гг.

В современной роще волонтерами предлагалось обустройство экотроп с образовательно-экологической и природоохранной функцией: оформить родник в естественном стиле, обложив края природным камнем; сделать мост с выходом на противоположный берег и небольшую площадку, засыпанную гравием. Инженер-гидролог А.Д. Назаров предложил обустроить спуски и продлить родник до р. Ушайки.

На восточной окраине Томска, недалеко от Михайловской рощи, ниже по течению р. Ушайки находилась заимка Е.И. Королева [12], на территории которой был построен господский дом и разбит сад (рис. 11).



С планируемой ген. схемы г. Томска, трест «Запсибпроект», 1938–1939 гг. [18]

Рис. 10. Планы и профиль рельефа в районе сада В.В. Михайлова. Чертежи выполнены И.В. Барской

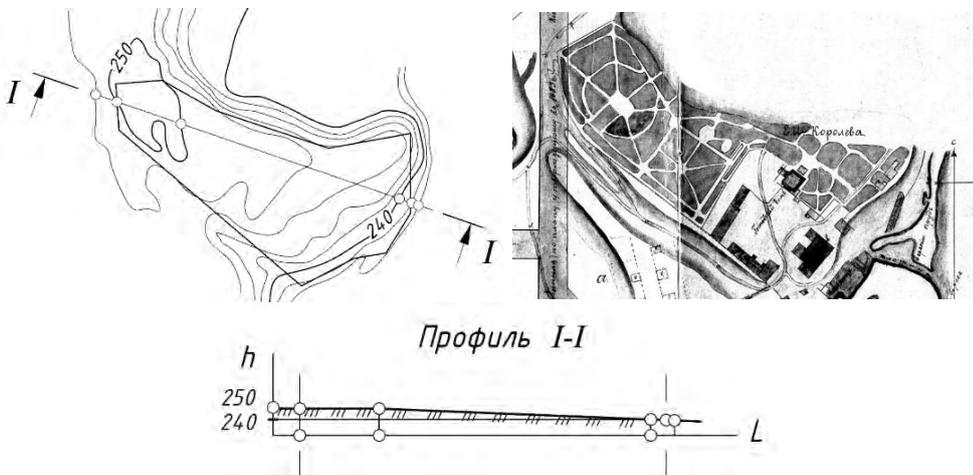


Рис. 11. Планы и профиль рельефа в районе заимки Е.И. Королева. Чертежи выполнены И.В. Барской

Посадки деревьев сохранились до середины XX в., они именовались Ново-Киевской рощей. Современная фотопанорама бывшей заимки Е.И. Королева и рощи показана на рис. 12.



Рис. 12. Современная фотопанорама бывшей заимки Е.И. Королева (на фото слева)

**Заимка и усадьба купца С.Е. Сосулина** располагалась недалеко от Томска в живописном месте на берегу р. Ушайки. Степан Егорович Сосулин приобрел участок земли на склоне и устроил усадьбу с прекрасными садами (рис. 13). По имени хозяина впоследствии территория называлась Степановкой.

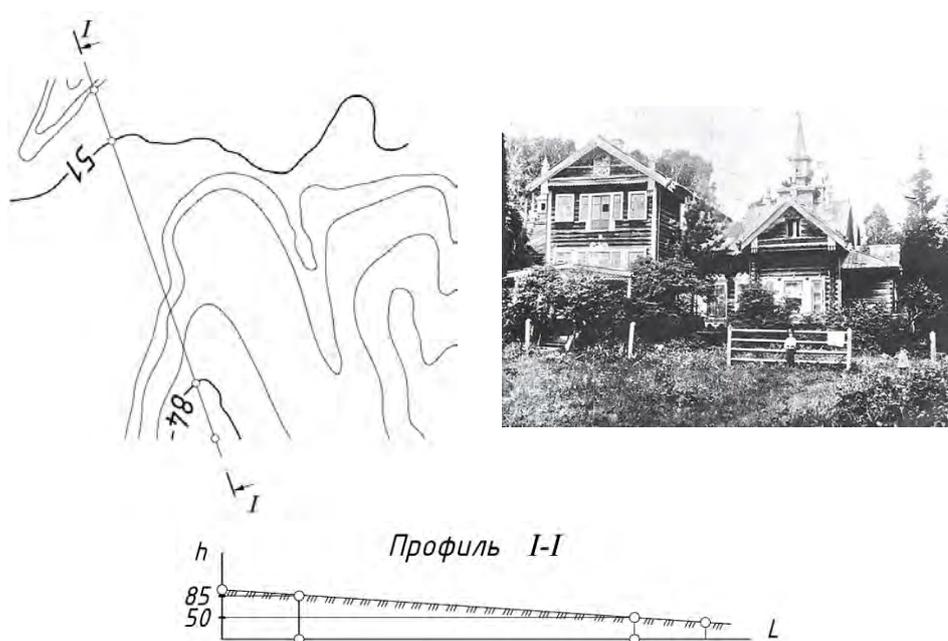


Рис. 13. План и профиль рельефа в районе усадьбы, фото усадьбы на горе купца С.Е. Сосулина. Чертежи выполнены И.В. Барской

Судя по описаниям [16], местность имела сложный ландшафт (рис. 14), где сооружались горки для катания зимой.



Рис. 14. Вид дачи Степановки. М. Колосов, 1871 г.

**Губкинская заимка.** Сад располагался на Воскресенской горе вблизи Соляных амбаров (на Белом озере) на месте нынешнего ТГАСУ (рис. 15).



Рис. 15. Детская площадка Общества физического развития на Губкинской заимке

История сада связана с основанным в 1895 г. в Томске Обществом содействия физическому развитию, основатель которого В.С. Пирусский в 1896 г. запросил у города землю для деятельности общества.

По данным карты 1933 г. построен план и профиль рельефа в районе данного участка (рис. 16).

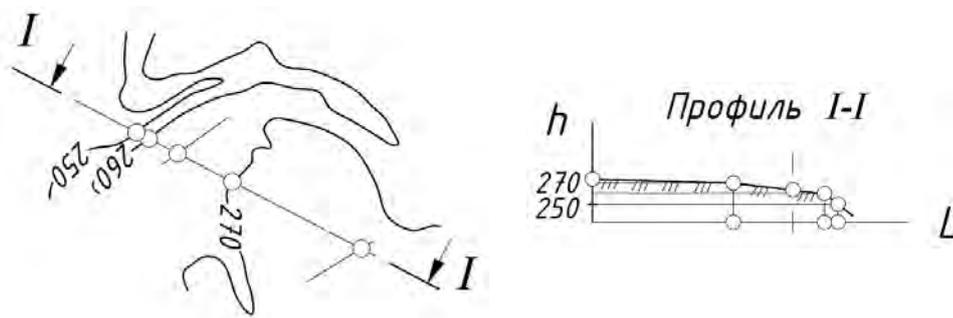


Рис. 16. План и профиль рельефа Воскресенской горы в районе Губкинской заимки. Чертежи выполнены И.В. Барской

Помимо городских зелёных площадок, это общество получило и загородную летнюю колонию на р. Басандайке [9], живописное место с сосновым бором и террасированными берегами рек.

**Дачный поселок Басандайка.** За городом, около деревни Аникиной, была дача томских золотопромышленников Поповых с парком, оранжереями и красивыми постройками, названная «Отрадным уголком». После Поповых около этой деревни начало строиться томское купечество и возникла дачная местность Басандайка (рис. 17).



Рис. 17. Река Басандайка и ее окрестности

Для постройки дачного поселка использовались участки с более пологими склонами (рис. 18), т. к. берега р. Басандайки с вертикальными и горизонтальными расчленениями рельефа, с балками и оврагами, имеют значительную крутизну склонов.

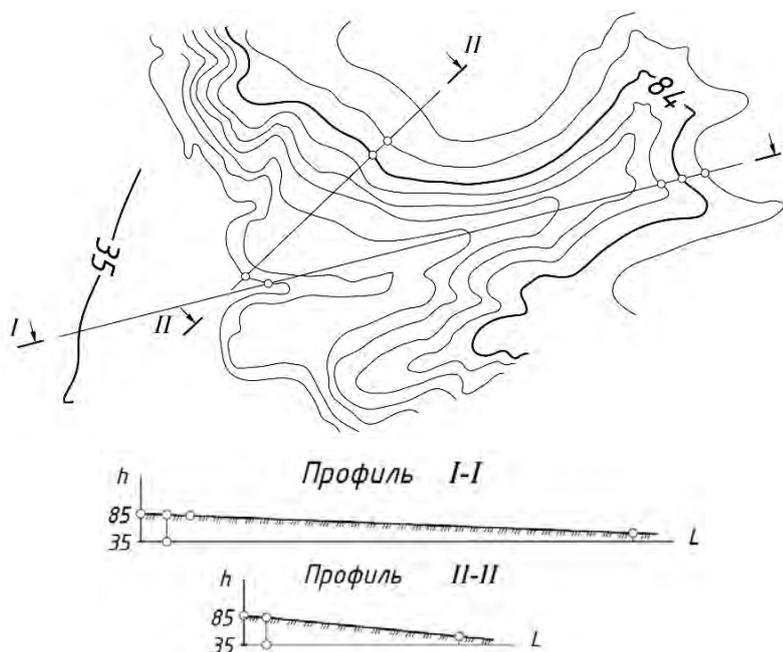


Рис. 18. План и профили рельефа местности в районе пос. Басандайка. Чертежи выполнены И.В. Барской

Построенные авторами планы и профили изучаемых территорий позволили провести анализ рельефа и сделать некоторые выводы. Ландшафт рассмотренных участков имеет на первый взгляд незначительные уклоны, в большинстве своем пологие склоны в черте города и более крутые на заимках и в садах, расположенных на береговых склонах рек, которые раньше располагались за чертой города или в пригороде.

Если рассматривать расположение изучаемых объектов по сторонам света, то большинство из них имело северо-западное основное направление склонов: сад Ф.А. Горохова, Сад «Буфф» В.Л. Морозова, Губкинская заимка, Университетская роща. На северном склоне располагалась заимка С.Е. Сосулина, и соответственно пос. Степановка. Сад И.Д. Асташева имел основной уклон на западную сторону, а в пос. Басандайка участки располагались по берегам реки и большая часть местности открывалась на западную сторону. Основной уклон Михайловской рощи ориентирован на южную сторону, а территория заимки Е.И. Королева – Ново-Киевская роща – располагалась на юго-восточном склоне. Большинство объектов находилось вблизи водоемов, т. к. для содержания садов и посадок, растительности требовался полив. Жили за городом в основном в летнее время, в реках ловили рыбу, купались и использовали воду в производственных целях. На участках со сложным рельефом, с крутыми склонами могли применять различные укрепления, чаще всего из дерева или камня, который добывали по берегам р. Ушайки.

Восточнее от Михайловской рощи, в районе улиц Потанина, Пирусского и пер. Новаторов в пойме р. Ушайки находится территория (рис. 19), которая может быть рассмотрена как потенциальный участок для устройства парковой зоны.



Рис. 19. Фрагмент карты с указанием месторасположения изучаемого участка

Архитектурно-художественная ценность этой территории заключается в том, что границы частных усадеб по ул. Потанина выходят на склоны горы, с которой открываются великолепные пейзажные виды на равнинную пойму р. Ушайки (рис. 20).



Рис. 20. Фотоснимок со стороны ул. Потанина, осень 2019 г. Автор фото И.В. Барская

На левом берегу открываются просторы южных районов г. Томска, которые также имеют сложный рельеф.

Авторами построены план и несколько профилей поверхности земли, чтобы понять характерные для данной территории формы рельефа (рис. 21).

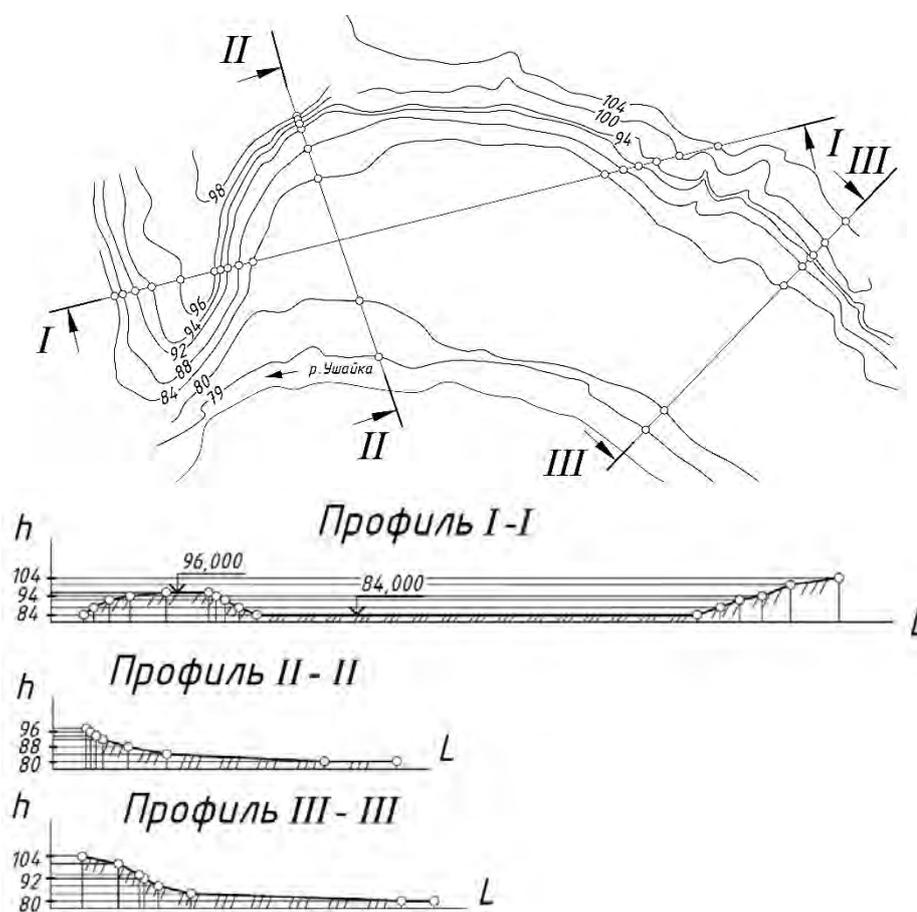


Рис. 21. План и профили рельефа поймы р. Ушайки в районе ул. Потанина. Чертежи выполнены И.В. Барской

С точки зрения градостроительных особенностей – это композиционная значимость в ансамбле города, территория имеет вытянутую в плане конфи-

гурацию, просматриваемость с возвышенных берегов, что дает возможность использования для организации видовых площадок и прогулочных экотроп. Есть подъездные и пешие пути, мостик через р. Ушайку, возможность устройства кольцевых маршрутов (экологических, исторических), недалеко железная дорога с остановкой.

С южной стороны протекает р. Ушайка, с берега которой открываются виды на крутой обрыв, с восточной стороны которого расположены скальные обнажения горы, красивые поля на надпойменной террасе, устье р. Ларинки, представляющие собой уникальный природный комплекс.

В ходе исследования были выявлены проблемы благоустройства территорий со сложным рельефом и пути их решения в различных городах. В процессе исследования собрана историческая информация и изучены данные некоторых современных и исторических районов г. Томска. Данные полученных материалов позволили изучить и проанализировать ландшафт некоторых парковых зон, купеческих заимок и садов XIX нач. XX в., располагавшихся на сложном рельефе. Для устройства природной парковой зоны в г. Томске предложен участок в пойме р. Ушайки в районе ул. Потанина. Планируется собрать исходные материалы и выполнить предпроектный анализ для дальнейшей разработки проекта благоустройства территории.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Черепанов К.А.* Основные проблемы формирования городской среды на сложном рельефе в г. Иркутске // Вестник ИрГТУ. 2011. № 8 (55). С. 110–114.
2. *Бобрышев Д.В., Вершинина С.Э.* Интеграция прибрежных территорий в функционально-планировочную структуру города как необходимое условие их устойчивого развития // Вестник ИрГТУ. 2014. № 12 (95). С. 103–106.
3. *Анпольский Д.В.* Река Темерник как основа перспективного развития рекреационной зоны Ростова-на-Дону // Материалы VIII Всероссийской научно-практической конференции студентов, магистрантов и аспирантов. Ростов-на-Дону ; Таганрог : Изд-во Южного федерального университета, 2018. С. 10.
4. *Курбанова С.Г., Рысаева И.А.* Геопластика как средство формирования комфортной городской среды (на примере г. Казани) // Учёные записки Крымского федерального университета имени В.И. Вернадского. География. Геология. 2018. Т. 4 (70). № 2. С. 99–110.
5. *Коваленко К.К., Глустый Р.Е.* Применение современных методов озеленения сложного рельефа на примере сопки Бурачек в городе Владивостоке // Проблемы современной науки и образования. 2017. № 23 (105). С. 79–82.
6. *Корнев В.И., Бурлуцкий А.А., Гусева У.Ю.* Градостроительные аспекты формирования транспортной схемы в историческом центре г. Томска // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2018. Т. 20. № 1. С. 128–139.
7. *Шульгина В.С.* Архитектурно-пространственная структура прибрежной территории города Томска // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2019. Т. 21. № 5. С. 74–84.
8. *Сергеева А.А.* К вопросу о реконструкции набережных в городской среде // 61-я Университетская научно-техническая конференция студентов и молодых ученых. Томск, 2015. С. 620–625.
9. *Майданюк Э.К.* Сады и парки Томска. Томск : Курсив, 2014. 112 с.
10. *Дмитриенко Н.М.* История Томска / науч. ред. Э.И. Черняк. Томск : Изд-во Том. ун-та, 2016. С. 59.
11. *Жеравина А.Н.* Томск второй половины XIX – начала XX в. (по материалам дореволюционной печати) / под ред. В.П. Зиновьева. Томск : Изд-во Том. ун-та, 2010. 402 с.

12. Манонина Т.Н. Вклад купцов в благоустройство г. Томска во второй половине XIX – начале XX в. // Вестник ТГУ. 2014. № 388. С. 135–139.
13. Дегтярев Д.С. Дачные местности в пригороде Томска в конце XIX – начале XX в. // Известия Алтайского государственного университета. 2015. № 4/1 (88). С. 99–103.
14. *Дорожное хозяйство России*. Цифры и факты : справочно-иллюстративный материал. Москва, 2008. 397 с.
15. 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.
16. *Томск: История города от основания до наших дней* / под ред. Н.М. Дмитриенко. Томск : Изд-во ТГУ, 1999. 430 с.
17. *Сцену, фуд-корт и новые детские площадки предлагают сделать в Буфф-саду Томска*. 4 апреля 2018 г. URL: <https://news.vtomske.ru/news/152752-scenu-fud-kort-i-novye-detskie-ploshchadki-predlagayut-sdelat-v-buff-sadu-tomska> (дата обращения: 09.03.2020).
18. Воронина О.С. История градостроительного развития города Томска в XVII–XX вв. // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2016. № 1. С. 91–106.

## REFERENCES

1. Cherepanov K.A. Osnovnye problemy formirovaniya gorodskoj sredy na slozhnom rel'efe v g. Irkutske [The main problems of forming the urban environment with rugged topography in Irkutsk]. *Vestnik ISTU*. 2011. No. 8 (55). Pp. 110–114. (rus)
2. Bobryshev D.V., Vershinina S.E. Integraciya pribrezhnyh territorij v funkcional'no-planirovochnuyu strukturu goroda kak neobhodimoe uslovie ih ustojchivogo razvitiya [Integration of coastal territories into the functional and planning structure of a city for their sustainable development]. *Vestnik ISTU*. 2014. No. 12 (95). Pp. 103–106. (rus)
3. Anpol'skij D.V. Reka Temernik kak osnova perspektivnogo razvitiya rekreacionnoj zony Rostova-na-Donu [The Temernik river for long-term development of recreational zone in Rostov-on-Don]. In: *Materialy VIII Vserossijskoj nauchno-prakticheskoj konferencii studentov, magistrantov i aspirantov (Proc. 8th All-Russ. Sci. Conf. of Students, Undergraduates and Post-graduates)*. Rostov-on-Don: Southern Federal University, 2018. Pp. 10. (rus)
4. Kurbanova S.G., Rysaeva I.A. Geoplastika kak sredstvo formirovaniya komfortnoj gorodskoj sredy (na primere g. Kazani) [Geoplastics as a means of creating a comfortable urban environment in Kazan]. *Uchyonye zapiski Krymskogo federal'nogo universiteta imeni V.I. Vernad'skogo. Geografiya. Geologiya*. 2018. V. 4 (70). No. 2. Pp. 99–110. (rus)
5. Kovalenko K.K., Tlustyj R.E. Primenenie sovremennyh metodov ozeleneniya slozhnogo rel'efa na primere sopki Burachek v gorode Vladivostoke [Modern methods of rugged topography landscaping the Burachek hill in Vladivostok]. *Problemy sovremennoj nauki i obrazovaniya*. 2017. No. 23 (105). Pp. 79–82. (rus)
6. Korenev V.I., Burlutskii A.A., Guseva U.Yu. Gradostroitel'nye aspekty formirovaniya transportnoi skhemy v istoricheskom tsentre g. Tomsk [City planning aspects of traffic arrangement in historical part of Tomsk-city]. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture*. 2018. V. 20. No. 1. Pp. 128–139. (rus)
7. Shulgina V.S. Arkhitekturno-prostranstvennaya struktura pribrezhnoi territorii goroda Tomsk [Architectural space structure of riverside territories in Tomsk]. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture*. 2019. V. 21. No. 5. Pp. 74–84. (rus)
8. Sergeeva A.A. K voprosu o rekonstrukcii naberezhnyh v gorodskoj srede [Reconstruction of embankments in the urban environment ]. 61-ya Universitetskaya nauchno-tehnicheskaya konferenciya studentov i molodyh uchenyh (*Proc. 61st Conf. of Students and Young Scientists*). Tomsk: TSUAB, 2015. Pp. 620–625. (rus)
9. Majdanyuk E.K. Sady i parki Tomsk [Gardens and parks of Tomsk]. Tomsk: Kursiv, 2014. 112 p. (rus)
10. Dmitrienko N.M. Istoriya Tomsk [History of Tomsk]. E.I. Chernyak, Ed. Tomsk: TSU, 2016. (rus)

11. Zheravina A.N. Tomsk vtoroj poloviny XIX – nachala XX v. (po materialam dorevolucionnoj pečhati) [Tomsk in the 19th and early 20th centuries]. V.P. Zinov'eva, Ed. Tomsk: TSU, 2010. (rus)
12. Manonina T.N. Vklad kupcov v blagoustrojstvo g. Tomska vo vtoroj polovine XIX – nachale XX v. [Contribution of merchants to the Tomsk improvement in the 19th and early 20th centuries]. *Vestnik TSU*. 2014. No. 388. Pp. 135–139. (rus)
13. Degtyarev D.S. Dachnye mestnosti v prigorode Tomska v konce XIX – nachale XX v. [Dacha localities in the suburbs of Tomsk in the 19th and early 20th centuries]. *Izvestiya Altajskogo gosudarstvennogo universiteta*. 2015. No. 4/1 (88). Pp. 99–103. (rus)
14. Dorozhnoe hozyajstvo Rossii. Cifry i fakty [Road economy of Russia. Facts and figures]. Moscow, 2008. 397 p. (rus)
15. 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)
16. Dmitrienko N.M. (Ed.) Tomsk: Istoriya goroda ot osnovaniya do nashih dnei [Tomsk: The history of the city from its foundation to the present days]. Tomsk: TSU, 1999. (rus)
17. Scenu, fud-kort i novye detskie ploshchadki predlagayut sdelat' v Buffo-sadu Tomska [Stage, food court and new playgrounds proposed in the Buffo garden of Tomsk]. Available: <https://news.vtomske.ru/news/152752-scenu-fud-kort-i-novye-detskie-ploshchadki-predlagayut-sdelat-v-buffo-sadu-tomska> (accessed March 9, 2020)
18. Voronina O.S. Istoriya gradostroitel'nogo razvitiya goroda Tomska v XVII–XX vv. [History of architectural urban development of Tomsk in 17–20th centuries]. *Vestnik of Tomsk State University of Architecture and Building*. 2016. No. 1. Pp. 91–106. (rus)

#### **Сведения об авторах**

*Барская Ирина Владимировна*, магистрант, Томский государственный архитектурно-строительный университет, 634003, г. Томск, пл. Соляная, 2, alex22021978@mail2000.ru

*Куликова Ирина Владимировна*, доцент, канд. архитектуры, Томский государственный архитектурно-строительный университет, 634003, г. Томск, пл. Соляная, 2, kivinir@mail.ru

#### **Authors Details**

*Irina V. Barskaya*, Undergraduate, Tomsk State University of Architecture and Building, 2, Solyanaya Sq., 634003, Tomsk, Russia, alex22021978@mail2000.ru

*Irina V. Kulikova*, PhD, A/Professor, Tomsk State University of Architecture and Building, 2, Solyanaya Sq., 634003, Tomsk, Russia, kivinir@mail.ru

# СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ, ЗДАНИЯ И СООРУЖЕНИЯ

УДК 699.844

DOI: 10.31675/1607-1859-2020-22-5-98-110

*В.И. ЕРОФЕЕВ<sup>1</sup>, Д.В. МОНИЧ<sup>2</sup>,*

*<sup>1</sup>Филиал Федерального исследовательского центра  
«Институт прикладной физики Российской академии наук»  
Институт проблем машиностроения РАН,*

*<sup>2</sup>Нижегородский государственный  
архитектурно-строительный университет*

## **РЕЗЕРВЫ ПОВЫШЕНИЯ ЗВУКОИЗОЛЯЦИИ ОДНОСЛОЙНЫХ И МНОГОСЛОЙНЫХ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ ЗДАНИЙ**

Обеспечение акустического комфорта в помещениях жилых, общественных и промышленных зданий является актуальной задачей строительной акустики. Существующие типы ограждающих конструкций часто не обеспечивают требуемой защиты от шума. Целью исследования является изучение резервов повышения звукоизоляции однослойных и многослойных ограждающих конструкций конечных геометрических размеров при диффузном падении звука. Рассмотрение прохождения звука через ограждения выполнено на базе теории самосогласования волновых полей, разработанной научной школой профессора М.С. Седова. Приведены аналитические выражения для расчета предельной звукоизоляции ограждений, определяемой инерционным прохождением звука. Исследованы резервы повышения звукоизоляции однослойных и многослойных ограждающих конструкций конечных размеров. Проведено сравнение теоретических и экспериментальных результатов исследования. Показано, что однослойные и многослойные ограждающие конструкции конечных геометрических размеров обладают резервами повышения звукоизоляции, которые определяются соотношением собственной и предельной звукоизоляции. При проектировании звукоизолирующих ограждающих конструкций необходимо использовать резервы повышения звукоизоляции. Это позволяет повышать звукоизоляцию ограждений без значительного увеличения их массы и толщины. Области наибольших резервов повышения звукоизоляции на частотной шкале находятся вблизи резонансных частот: для однослойных ограждений – вблизи граничной частоты области полных пространственных резонансов; для многослойных сэндвич-панелей – вблизи резонансной частоты системы «масса – упругость – масса», а также вблизи граничной частоты области полных пространственных резонансов для облицовок.

**Ключевые слова:** звукоизоляция; ограждающие конструкции зданий; резонансное прохождение звука; инерционное прохождение звука; граничная частота области прохождения звука; резервы повышения звукоизоляции.

**Для цитирования:** Ерофеев В.И., Монич Д.В. Резервы повышения звукоизоляции однослойных и многослойных ограждающих конструкций зданий //

Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2020. Т. 22. № 5. С. 98–110.

DOI: 10.31675/1607-1859-2020-22-5-98-110

V.I. EROFEEV<sup>1</sup>, D.V. MONICH<sup>2</sup>,

<sup>1</sup>*Mechanical Engineering Research Institute  
of the Russian Academy of Sciences,*

<sup>2</sup>*Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering*

## IMPROVEMENT POTENTIAL FOR SOUND INSULATION OF SINGLE- AND MULTILAYER WALL PANELS

**Relevance:** Acoustic comfort in residential, public and industrial buildings. Existing types of wall panels often do not provide the required noise control. **Purpose:** Investigation of the improvement potential for sound insulation of single- and multi-layer wall panels having finite geometric dimensions with diffuse sound lowering. **Design/methodology/approach:** Consideration of the sound propagation through the wall panel based on the theory of self-coordination of wave fields developed by the Prof. Sedov's scientific school. **Research findings:** Analytical equations for calculating the limiting sound insulation of the wall panels determined by the inertial sound propagation. The improvement potential for sound insulation of single- and multi-layer wall panels having finite dimensions. Comparison of theoretical and experimental results. It is shown that single- and multi-layer wall panels of finite geometric dimensions have improvement potential for sound insulation, which is determined by the ratio between their own and limiting sound insulation. **Practical implications:** Wall panel design must take into account the improvement potential for sound insulation. The sound insulation of wall panels is improved without increasing their mass and thickness. This is of great importance for design solutions for wall panels of civil and industrial buildings. **Originality/value:** The proposed method shows good agreement between experimental data and theoretical calculations. The improvement potential for sound insulation at the frequency level locates near the resonant frequencies, namely: near-boundary frequency of the full spatial resonance for single-layer wall panels; near-resonant frequency of the mass-elasticity-mass panels and near-boundary frequency of the full spatial resonance for multilayer wall panels and panel linings, respectively.

**Keywords:** sound insulation; wall panel; resonant sound propagation; inertial sound propagation; boundary frequency; improvement potential for sound insulation.

**For citation:** Erofeev V.I., Monich D.V. Rezervy povysheniya zvukoizolyatsii odnosloinykh i mnogosloinykh ogradhdayushchikh konstruksii zdaniy [Improvement potential for sound insulation of single- and multilayer wall panels]. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture. 2020. V. 22. No. 5. Pp. 98–110.

DOI: 10.31675/1607-1859-2020-22-5-98-110

### Введение

В настоящее время актуальной задачей является обеспечение акустического комфорта в помещениях жилых, общественных и промышленных зданий. Применяемые наружные и внутренние ограждающие конструкции часто не обеспечивают требуемой защиты от шума. Целью работы является исследование резервов повышения звукоизоляции однослойных и многослойных ограждающих конструкций конечных геометрических размеров при диффузном падении звука. Это позволит разрабатывать рациональные конструктив-

ные решения звукоизолирующих ограждающих конструкций зданий и методы их расчета. Объектами исследования являются ограждающие конструкции зданий, на которые воздействует диффузное звуковое поле в слышимом диапазоне частот (воздушный шум):

1. Однослойные тонкие ограждения (пластины) конечных размеров, для которых преобладающий вклад в звукоизлучение вносят изгибные звуковые волны:  $h < \lambda_n/6$ , где  $h$  – толщина ограждения, м;  $\lambda_n$  – длина изгибной звуковой волны в ограждении, м. Звукоизоляцию ограждающих конструкций конечных геометрических размеров исследовали многие ученые: А. Шох [1], В.М.А. Пьютц [2], Р. Жос и К. Лямюр [3], М.Дж. Крокер и др. [4], К.А. Малхолланд и Р.Г. Лайон [5], В.И. Заборов [6], С.Н. Овсянников [7, 8].

2. Многослойные ограждения конечных размеров, состоящие из двух тонких пластин, связанных между собой изотропным упругим слоем, – бескаркасные сэндвич-панели. Одним из первых вопрос о прохождении звука через слоистые ограждения рассмотрел Л. Беранек [9]. В работах [10, 11] исследовано прохождение звука через многослойные бесконечные ограждающие конструкции. В работах [12–17] исследовались задачи о прохождении звука через сэндвич-панели с целью установить влияние на данный процесс различных физико-механических факторов составных элементов рассматриваемых ограждений. Экспериментальные и теоретические исследования звукоизоляции сэндвич-панелей описываются в работах [18–24]. В работах Я. Лиу и др. [25, 26] разработана теоретическая модель прохождения звука через сэндвич-панели с воздушными промежутками между облицовками и средним слоем. Исследования звукоизоляции слоистых ограждений с вибродемпфирующими слоями проведены А.А. Кочкиным [27].

### Методы исследования

Теория самосогласования волновых полей, разработанная научной школой профессора М.С. Седова [28, 29], устанавливает механизм прохождения звука через ограждающие конструкции с двумя типами волн: резонансное прохождение звука и инерционное прохождение звука. Это позволяет определить предельную звукоизоляцию ограждения с заданными поверхностной плотностью ( $\mu$ , кг/м<sup>2</sup>) и геометрическими размерами: длина  $a$ , м; высота  $b$ , м.

Экспериментальные исследования звукоизоляции ограждающих конструкций проводились в реверберационных камерах лаборатории акустики ННГАСУ по стандартной методике ГОСТ 27296–2012.

### Результаты исследования

1. Резервы повышения звукоизоляции однослойных ограждающих конструкций.

Звуковые волны, падающие со стороны источника шума, образуют в плоскости ограждения поле звукового давления, которое возбуждает в нем изгибные колебания. Волновое поле смещений пластины формируется двумя типами волн [28]: 1) свободными упругими волнами, которые обеспечивают резонансное прохождение звука в режиме собственных колебаний; 2) инерци-

онными (вынужденными) волнами, которые обеспечивают инерционное прохождение звука.

Данное рассмотрение позволяет записать выражение для звукоизоляции ограждающей конструкции ( $R$ , дБ) в следующем виде [28]:

$$R = 10 \lg \frac{1}{(\tau_r + \tau_i)}, \quad (1)$$

где  $\tau_r$  – коэффициент резонансного прохождения звука;  $\tau_i$  – коэффициент инерционного прохождения звука.

На рис. 1 приведена обобщенная частотная характеристика звукоизоляции однослойного тонкого ограждения, построенная по теории самосогласования волновых полей. Рассматриваемый частотный диапазон разделен граничными частотами на отдельные области прохождения звука:  $f_{bm0n0}$  – граничная частота области простых пространственных резонансов (ПрПР);  $f_{bmn0}$  – граничная частота области неполных пространственных резонансов (НПР);  $f_{bmn}$  – граничная частота области полных пространственных резонансов (ППР);  $f_{ri}$  – граничная частота инерционного прохождения звука.

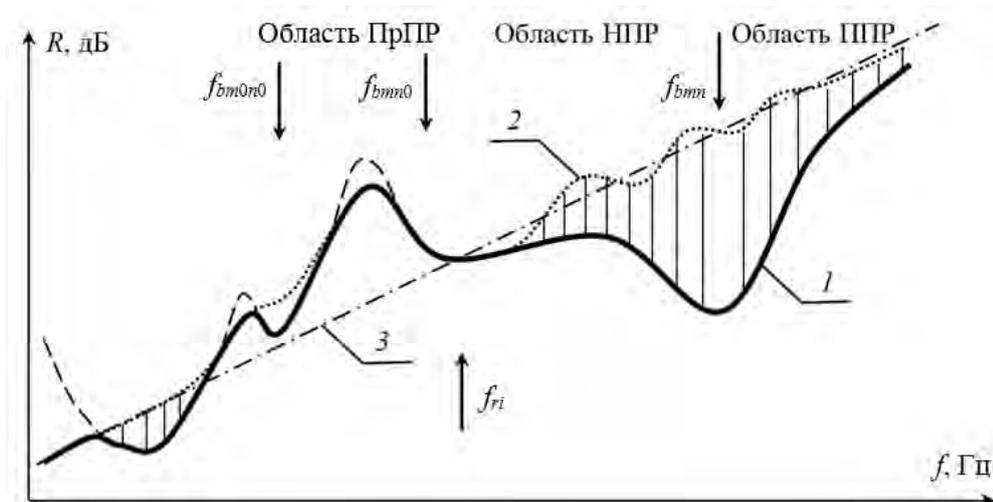


Рис. 1. Обобщенная частотная характеристика звукоизоляции однослойного ограждения конечных размеров:

1 – резонансное прохождение звука; 2 – инерционное прохождение звука; 3 – закон массы

Резонансное прохождение звука через ограждение определяется потерями энергии на рассеивание в материале (коэффициент потерь  $\eta$ ) и степенью самосогласования собственного волнового поля со звуковыми полями в воздушной среде с обеих сторон ограждения ( $A_1$  и  $A_2$  – в помещении с источником шума и в защищаемом от шума помещении соответственно) [28].

Распространение инерционных волн происходит со скоростью следа падающей звуковой волны и не зависит от упругих характеристик материала, а определяется только поверхностной плотностью ограждения ( $\mu$ , кг/м<sup>2</sup>) и его

геометрическими размерами (длина  $a$ , м; высота  $b$ , м). Инерционные и свободные упругие волны различаются начальной фазой движения [28].

Коэффициент резонансного прохождения звука в области частот ниже граничной частоты ППР ( $f < f_{bmn}$ ) определяется из выражения [28]:

$$\tau_r = \frac{1}{\frac{2,3 \cdot \pi}{\rho_0^2 c_0^2 \cdot A^4} \mu^2 f^2 \eta \cos \theta_1 \cos \theta_{2r} + 1}, \quad (2)$$

где  $\rho_0 c_0$  – характеристический импеданс воздушной среды, кг/м<sup>2</sup>с;  $A^4 = A_1^2 \cdot A_2^2$  – характеристика самосогласования собственного волнового поля со звуковыми полями в воздушной среде с обеих сторон ограждения;  $\mu$  – поверхностная плотность ограждения, кг/м<sup>2</sup>;  $f$  – текущая частота звука, Гц;  $\eta$  – коэффициент потерь материала ограждения;  $\theta_1$  – угол падения звуковых волн на ограждение, град (для диффузного звукового поля используется усредненное значение  $\theta_1 = \theta_{cp} = 51^\circ,76$  [28]);  $\theta_{2r}$  – угол излучения звуковых волн в режиме собственных колебаний, град.

Коэффициент инерционного прохождения звука определяется [28] как

$$\tau_i = \frac{1}{\frac{\pi^2}{\rho_0^2 c_0^2 \cdot F_i^2} \mu^2 f^2 \cos \theta_1 \cos \theta_{2i} + 1}, \quad (3)$$

где  $F_i$  – функция отклика ограждающей конструкции в режиме инерционных колебаний;  $\theta_{2i}$  – угол излучения инерционными волнами;  $\rho_0 c_0$ ,  $\mu$ ,  $f$ ,  $\theta_1$  – см. формулу (2).

На основании формул (1), (2), (3) можно записать выражение звукоизоляции однослойного ограждения в области частот ниже граничного ППР ( $f < f_{bmn}$ ) [28]:

$$R = 10 \lg \frac{\pi^2}{\rho_0^2 c_0^2} \frac{\mu^2 \cdot f^2}{\left( \frac{F_i^2}{\cos \theta_1 \cos \theta_{2i}} + \frac{\pi}{1,15} \frac{A^4}{2 \cdot \eta \cos \theta_1 \cos \theta_{2r}} \right)}, \quad (4)$$

где  $\rho_0 c_0$ ,  $\mu$ ,  $f$ ,  $\eta$ ,  $A^4$ ,  $\theta_1$ ,  $\theta_{2r}$  – см. формулу (2);  $F_i$ ,  $\theta_{2i}$  – см. формулу (3).

В знаменателе формулы (4) первое слагаемое в круглых скобках характеризует инерционное прохождение звука через ограждение, а второе слагаемое – резонансное прохождение звука. Когда основной вклад в излучение звука вносят инерционные волны (резонансное прохождение отсутствует,  $\tau_r = 0$ ), данная формула имеет вид [28]:

$$R_{\max} = 10 \lg \frac{\pi^2}{\rho_0^2 c_0^2} \frac{\mu^2 \cdot f^2}{\left( \frac{F_i^2}{\cos \theta_1 \cos \theta_{2i}} \right)}, \quad (5)$$

где  $\rho_0 c_0$ ,  $\mu$ ,  $f$ ,  $\theta_1$  – см. формулу (2);  $F_i$ ,  $\theta_{2i}$  – см. формулу (3).

Формула (5) выражает предельную звукоизоляцию однослойной ограждающей конструкции с заданной поверхностной плотностью и геометриче-

скими размерами ( $R_{\max}$ , дБ). На рис. 1 нанесены кривые, соответствующие инерционному и резонансному прохождению звука через однослойное ограждение. Заштрихованная область между ними обозначает резервы повышения звукоизоляции за счет снижения резонансного прохождения звука ( $\tau_r$ ).

Собственная звукоизоляция реального ограждения всегда меньше своих предельных значений из-за наличия резонансной составляющей прохождения звука ( $\tau_r$ ). Большинство ограждающих конструкций, применяемых при проектировании зданий, обладают резонансными свойствами, которые в большей или меньшей степени снижают их звукоизоляцию в нормируемом диапазоне частот.

Резервы повышения звукоизоляции ограждающей конструкции конечных геометрических размеров – это разница между собственной звукоизоляцией ограждения и ее предельными значениями [30]:

$$\Delta r = R_{\max} - R, \quad (6)$$

где  $R_{\max}$  – предельная звукоизоляция однослойной ограждающей конструкции конечных размеров, определяемая по формуле (5), дБ;  $R$  – собственная звукоизоляция однослойной ограждающей конструкции конечных размеров, определяемая по формуле (4).

На рис. 2 представлены частотные характеристики звукоизоляции рассматриваемого ограждения из гипсоволокнистого листа (ГВЛ). Здесь  $f_{bmn0}$  – граничная частота области неполных пространственных резонансов (НПР),  $f_{bmn}$  – граничная частота области полных пространственных резонансов (ППР).

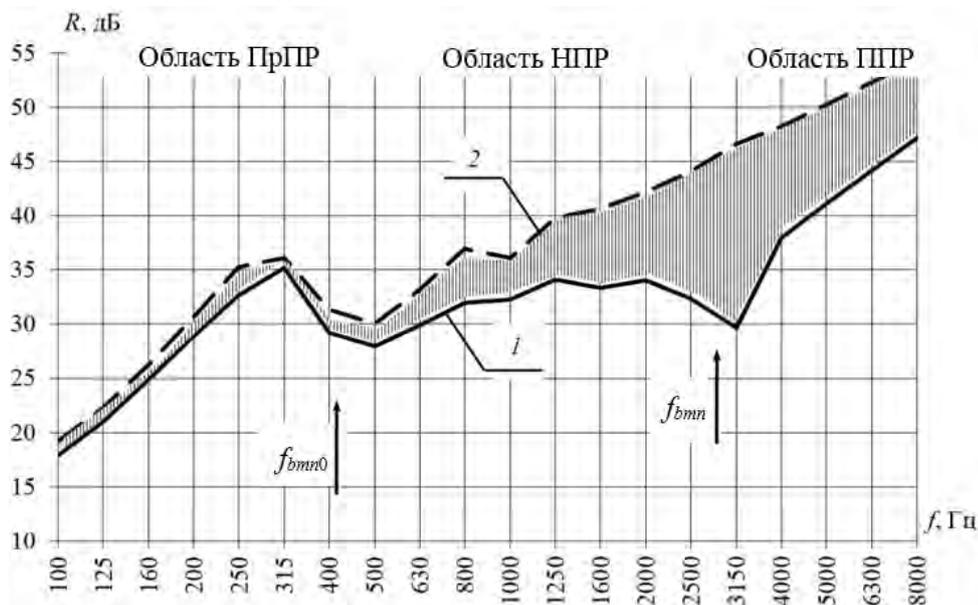


Рис. 2. Теоретические частотные характеристики звукоизоляции ГВЛ ( $a \times b = 1,0 \times 0,5$  м,  $h = 12,5$  мм,  $\mu = 14,3$  кг/м<sup>2</sup>):

1 – собственная звукоизоляция; 2 – предельная звукоизоляция

Заштрихованная область между кривыми 1 и 2 обозначает резервы повышения звукоизоляции за счет снижения резонансного прохождения звука. Одним из способов использования резервов повышения звукоизоляции для однослойных ограждений является изменение цилиндрической жесткости при неизменной массе (ослабление поперечного сечения) [30].

На рис. 3 представлено сравнение результатов теоретических и экспериментальных исследований. Измерения звукоизоляции образца из ГВЛ проведены в малых реверберационных камерах ННГАСУ по стандартной методике ГОСТ 27296–2012. Диапазон частот был выбран исходя из значения граничной частоты диффузности камеры низкого уровня ( $f_{\text{diff}} = 588$  Гц).

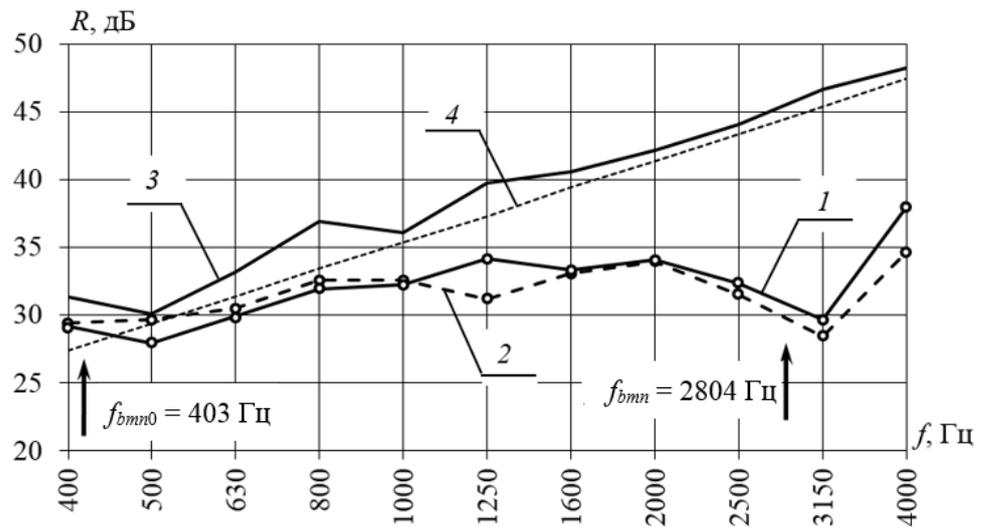


Рис. 3. Частотные характеристики звукоизоляции ГВЛ ( $a \times b = 1,0 \times 0,5$  м,  $h = 12,5$  мм,  $\mu = 14,3$  кг/м<sup>2</sup>):

1 – теоретические значения собственной звукоизоляции; 2 – экспериментальные значения собственной звукоизоляции; 3 – теоретические значения предельной звукоизоляции; 4 – теоретические значения собственной звукоизоляции по закону массы

Измеренные значения звукоизоляции имеют хорошую сходимость с теоретическими значениями, определенными по формуле (1), расхождения составляют 1–3 дБ. Значения граничных частот областей НПР и ППР соответствуют диапазонам снижения звукоизоляции на экспериментальной частотной характеристике.

## 2. Резервы повышения звукоизоляции бескаркасных сэндвич-панелей.

Сэндвич-панели широко применяются при проектировании различных типов зданий в качестве быстровозводимых перегородок в офисных и административных помещениях со свободными планировками, в малоэтажном строительстве, а также при изготовлении звукоизолирующих кабин наблюдения и кожухов для шумного технологического оборудования в производственных цехах.

В настоящей работе объектами исследования являются ограждения общей толщиной 50–150 мм, состоящие из двух тонких одинаковых облицовок, между которыми расположен средний слой из изотропного упругого материала (пенопласт, минеральная вата и др.). В качестве облицовок панелей используются тонкие листовые материалы из гипсоволокнистых листов (ГВЛ), цементно-стружечных плит (ЦСП), ориентированно-стружечных плит (ОСП) толщиной  $h = 10\text{--}16$  мм, для которых выполняется условие  $h < \lambda_n/6$ . Стандартное конструктивное решение сэндвич-панелей предполагает склеивание облицовок и среднего слоя по всей площади поверхности.

На рис. 4 приведены обобщенные частотные характеристики собственной и предельной звукоизоляции бескаркасной сэндвич-панели. Здесь  $f_{bmn0}$  – граничная частота области неполных пространственных резонансов (НПР),  $f_{bmn}$  – граничная частота области полных пространственных резонансов (ППР);  $f_{msm}$  – резонансная частота системы «масса – упругость – масса». Заштрихованная область обозначает резервы повышения звукоизоляции для данного типа многослойных ограждений.

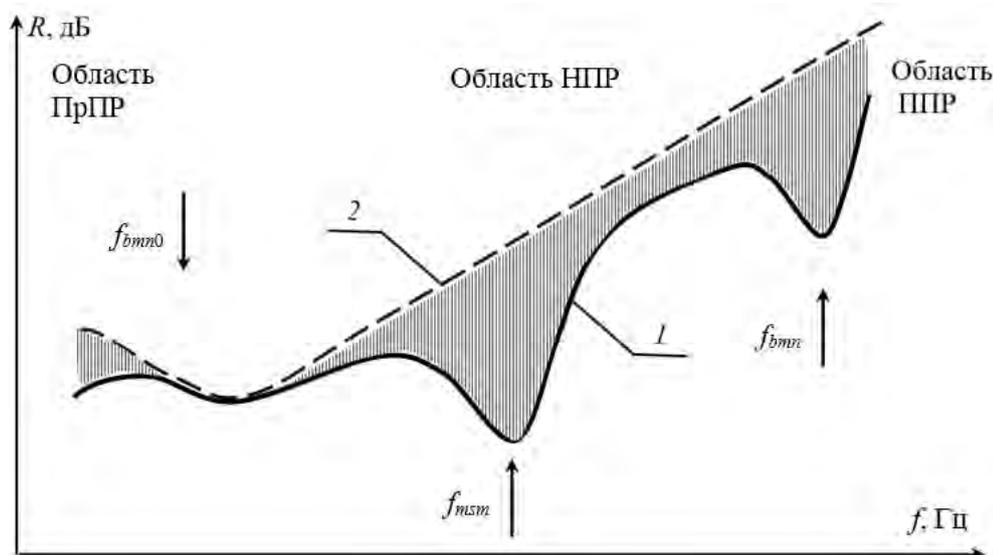


Рис. 4. Обобщенные частотные характеристики звукоизоляции бескаркасной сэндвич-панели конечных геометрических размеров:

1 – собственная звукоизоляция; 2 – предельная звукоизоляция

Коэффициент прохождения звука для данного типа ограждений определяется по формуле [28]:

$$\tau = \tau_{er} + \tau_{ei} + \tau_{1r}\tau_{2r} + \tau_{1i}\tau_{2i}, \quad (7)$$

где индекс «e» означает прохождение звука через внешние облицовки с упругой связью между ними; индекс «r» – резонансное прохождение звука; индекс «i» – инерционное прохождение звука; индексы «1», «2» – порядковые номера облицовок (облицовка «1» расположена со стороны помещения с источником шума).

Когда основным вклад в излучение звука вносят инерционные волны (резонансное прохождение отсутствует,  $\tau_r = 0$ ), предельная звукоизоляция бескаркасной сэндвич-панели конечных геометрических размеров с учетом значения характеристического импеданса воздушной среды ( $\rho_0 c_0 = 420 \text{ кг/м}^2\text{с}$ ) определяется по формуле [22]:

$$R_{\max} = 10 \log \left( \left[ \frac{2 \cdot 10^{-5} \mu_1^2 f^2}{F_{1i}^2} + 1 \right] \left[ \frac{6 \cdot 10^{-5} \mu_1^2 f^2 \cos^2 \theta_2}{F_{2i}^2} + 1 \right] \right), \quad (8)$$

где  $f$  – текущая частота звука, Гц;  $\mu_1$  – поверхностная плотность одной облицовки,  $\text{кг/м}^2$ ;  $\theta_2$  – угол падения звуковых волн на вторую облицовку, град;  $F_{1i}$  – функция отклика первой облицовки, на которую падет звук;  $F_{2i}$  – функция отклика второй облицовки.

Можно видеть, что предельная звукоизоляция сэндвич-панели определяется поверхностной плотностью облицовок, углом падения звука на вторую облицовку, а также величинами функции отклика первой и второй облицовок, которые, в свою очередь, определяются размерами ограждения (длина  $a$ , м; высота  $b$ , м).

На рис. 5 представлено сравнение результатов теоретических и экспериментальных исследований.

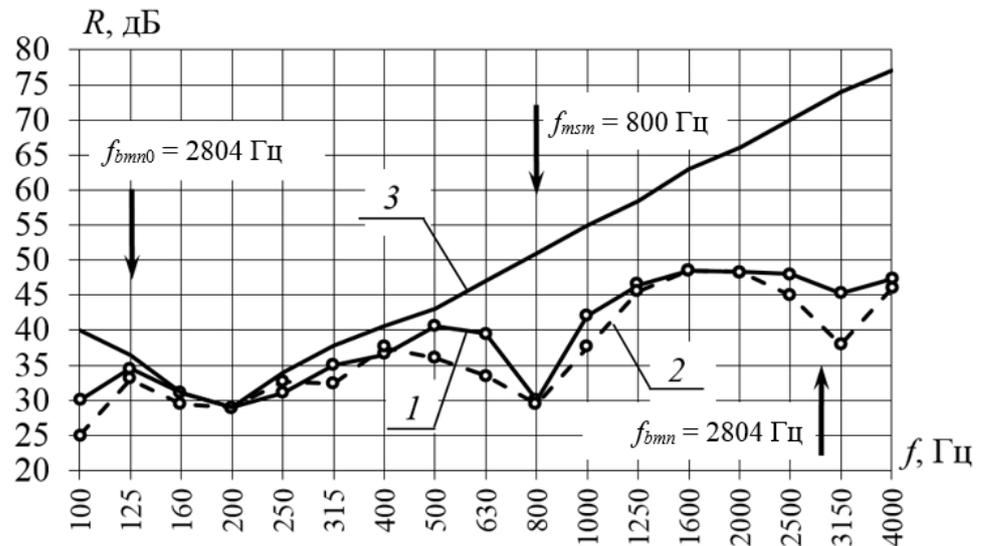


Рис. 5. Частотные характеристики звукоизоляции бескаркасной сэндвич-панели с облицовками из ГВЛ толщиной по 12,5 мм и средним слоем из пенопласта толщиной 50 мм ( $a \times b = 2,0 \times 1,2$  м, общая толщина  $h = 75$  мм, облицовки склеены со средним слоем,  $\mu = 29,6 \text{ кг/м}^2$ ):

1 – теоретические значения собственной звукоизоляции; 2 – экспериментальные значения собственной звукоизоляции; 3 – теоретические значения предельной звукоизоляции

Измерения звукоизоляции образца сэндвич-панели с облицовками из ГВЛ проведены в реверберационных камерах ННГАСУ по стандартной методике

ГОСТ 27296–2012. Измеренные значения звукоизоляции в основном имеют хорошую сходимость с теоретическими значениями, определенными по формуле (7), расхождения составляют 1–3 дБ. Расхождения между теоретическими и экспериментальными значениями вблизи резонансной частоты «масса – упругость – масса» (500, 630, 1000 Гц) составляют 3–5 дБ, что вызвано погрешностями теоретической модели по учету склеивания облицовок и среднего слоя. Расхождения вблизи граничной частоты ППР (3150 Гц) вызваны неполными данными по значениям коэффициента потерь материала облицовок.

Значения граничных частот областей НПР и ППР, а также резонансной частоты системы «масса – упругость – масса» соответствуют диапазонам снижения звукоизоляции на экспериментальной частотной характеристике.

### Заключение

По результатам проведенных теоретических и экспериментальных исследований можно видеть, что однослойные и многослойные ограждающие конструкции конечных геометрических размеров обладают резервами повышения звукоизоляции, которые определяются соотношением собственной и предельной звукоизоляции. Предельная звукоизоляция однослойных ограждений определяется поверхностной плотностью ( $\mu$ , кг/м<sup>2</sup>) и геометрическими размерами (длина  $a$ , м; высота  $b$ , м). Предельная звукоизоляция бескаркасных сэндвич-панелей определяется поверхностной плотностью облицовок, углом падения звука на вторую облицовку и геометрическими размерами ограждения (длина  $a$ , м; высота  $b$ , м).

Области наибольших резервов повышения звукоизоляции на частотной шкале находятся вблизи резонансных частот:

- 1) для однослойных ограждений – вблизи граничной частоты области полных пространственных резонансов ( $f_{bmn}$ );
- 2) для многослойных сэндвич-панелей – вблизи резонансной частоты системы «масса – упругость – масса» ( $f_{msm}$ ), а также вблизи граничной частоты области полных пространственных резонансов для облицовок ( $f_{bmn}$ ).

При проектировании звукоизолирующих ограждающих конструкций гражданских и промышленных зданий необходимо использовать резервы повышения их звукоизоляции. Это позволит получать рациональные конструктивные решения ограждений без увеличения их массы и толщины.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Schoch A. Zum einfluss der Seitlichen begrenzung auf die Schalldurchlässigkeit einfacher Wände // *Acustica*. 1954. V. 4. S. 288–290.
2. Peutz V.M.A. Some fundamental measurements on single and double plate structures // *Proceedings of the 1st ICA-Congress Electroacoustics*. 1953. P. 281–284.
3. Josse R., Lamure C. Transmission du son par une paroi simple // *Acustica*. 1964. V. 14. S. 266–280.
4. Крокер М.Дж., Баттачария М.К., Прайс А.Дж. Расчет прохождения звука и вибрации через перегородки и соединительные стержни при помощи статистического энергетического метода // *Конструирование и технология машин* : пер. с англ. 1971. 93. В. 3. С. 11–18.
5. Mulholland K.A., Lyon R.H. Sound insulation at low frequencies // *Journal of the Acoustical Society of America*. 1973. V. 54. № 4. P. 867–878.

6. Заборов В.И., Лалаев Э.М., Никольский В.Н. Звукоизоляция в жилых и общественных зданиях. Москва : Стройиздат, 1979. 254 с.
7. Ovsyannikov S.N., Koshkin Y.G., Fatyanova A.P. The prediction of sound and vibration in a building using the method of statistical energy analysis // 8th Korea-Russia International Symposium on Science and Technology, KORUS 2004. Tomsk, 2004. P. 331–335.
8. Лелюга О.В., Овсянников С.Н., Шубин И.Л. Исследование звукоизоляции внутренних ограждающих конструкций с учетом структурной звукопередачи // БСТ: Бюллетень строительной техники. 2018. № 7. С. 39–43.
9. Beranek L., Work G. Sound transmission through multiple structures containing flexible blankets // Journal of Acoustical Society of America. 1949. V. 21. № 4. P. 419–428.
10. Заборов В.И., Клячко Л.Н., Новиков И.И. О звукоизоляции трехслойными конструкциями // Акустический журнал. 1984. Т. XXX. Вып. 4. С. 482–485.
11. Karczmarzyk S. Local model of plane acoustic waves propagation in multilayered infinite sandwich structures // Archives of Mechanics. 2011. 63. 5–6. P. 573–598.
12. Moore J.A., Lyon R.H. Sound transmission loss characteristics of sandwich panel constructions // Journal of Acoustical Society of America. 1991. 89. P. 777–791.
13. Bolton J.S., Shlau N.M., Kang Y.J. Sound transmission through multi-panel structures lined with elastic porous materials // Journal of Sound and Vibration. 1996. 191. 3. P. 317–347.
14. Zhou J., Bhaskar A., Zhang X. Sound transmission through a double-panel construction lined with poroelastic material in the presence of mean flow // Journal of Sound and Vibration. 2013. 332. P. 3724–3734.
15. Dym C.L., Lang M.A. Transmission of sound through sandwich panels // Journal of Acoustical Society of America. 1974. V. 56. № 5. P. 1525–1532.
16. Lang M.A., Dym C.L. Optimal acoustic design of sandwich panels. Part 2 // Journal of Acoustical Society of America. 1975. V. 57. № 6. P. 1481–1487.
17. Dijkmans A., Vermeir G. Optimization of the acoustic performances of lightweight sandwich roof elements // INTER-NOISE-2009. Ottawa, Canada. P. 23–26.
18. Thamburaj P., Sun J.Q. Optimization of Anisotropic Sandwich Beams for Higher Sound Transmission Loss // Journal of Sound and Vibration. 2001. V. 254. P. 23–36.
19. Wawrzynowicz A., Krzaczek M., Tejchman J. Experiments and FE analyses on airborne sound properties of composite structural insulated panels // Archives of Acoustics. 2014. V. 39. № 3. P. 351–364.
20. Bobylyov V.N., Tishkov V.A., Monich D.V., Dymchenko V.V., Grebnev P.A. Experimental study of sound insulation in multilayer enclosing structures // Noise Control Engineering Journal. 2014. 62 (5). P. 354–355.
21. Гребнев П.А. Теоретические и экспериментальные исследования звукоизоляции бескаркасных ограждающих конструкций из сэндвич-панелей // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2015. № 2 (49). С. 109–118.
22. Гребнев П.А. Звукоизоляция ограждающих конструкций зданий из сэндвич-панелей : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук. Нижний Новгород : ННГАСУ, 2016. 21 с.
23. Яблоник Л.Р. Упрощенный метод расчета многослойной звукоизоляции, включающей слой волокнистого пористого материала // Акустический журнал. 2018. Т. 64. № 5. С. 639–646.
24. Зверев А.Я., Черных В.В. Экспериментальное определение акустических и виброакустических характеристик многослойных композитных панелей // Акустический журнал. 2018. Т. 64. № 6. С. 727–736.
25. Liu Y., Catalan J.-C. External mean flow influence on sound transmission through finite clamped double-wall sandwich panels // Journal of Sound and Vibration. 2017. 405. P. 269–286.
26. Liu Y., Catalan J.-C. Effects of external and air gap flows on sound transmission through finite clamped double-panel sandwich structures // Composite Structures. 2018. 203. P. 286–299.
27. Кочкин А.А. Исследование влияния физико-механических характеристик слоистых элементов с вибродемпфирующими слоями на звукоизоляцию непрозрачных ограждающих конструкций // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2012. № 3. С. 111–116.

28. Седов М.С. Звукоизоляция // Техническая акустика транспортных машин : справочник / под ред. Н.И. Иванова. Санкт-Петербург : Политехника, 1992. Гл. 4. С. 68–106.
29. Sedov M.S. Effect of breaking free waves in thin plates of double construction // Proceedings of Fourth international congress on sound and vibration / Ed. M.J. Crocker, N.I. Ivanov. Saint Petersburg, 1996. P. 1073–1076.
30. Бобылев В.Н., Монич Д.В., Тишков В.А., Гребнев П.А. Резервы повышения звукоизоляции однослойных ограждающих конструкций. Нижний Новгород : ННГАСУ, 2014. 118 с.

## REFERENCES

1. Schoch A. Zum Einfluss der Seitlichen Begrenzung auf die Schalldurchlässigkeit einfacher Wände. *Acustica*. 1954. V. 4. Pp. 288–290.
2. Peutz V.M.A. Some fundamental measurements on single and double plate structures. *Proc. 1st ICA-Congress Electroacoustics*. Netherlands. 1953. Pp. 281–284.
3. Josse R., Lamure C. Transmission du son par une paroi simple. *Acustica*. 1964. V. 14. Pp. 266–280.
4. Price A.J., Crocker M.J. Sound transmission through double panels using statistical energy analysis. *Journal of the Acoustical Society of America*. 1970. V. 47. Pp. 683–693.
5. Mulholland K.A., Lyon R.H. Sound insulation at low frequencies. *Journal of the Acoustical Society of America*. 1973. V. 54. No. 4. Pp. 867–878.
6. Zaborov V.I., Lalaev E.M., Nikol'skii V.N. Zvukoizolyatsiya v zhilykh i obshchestvennykh zdaniyakh. Moscow: Stroiizdat [Sound insulation in residential and public buildings]. Moscow: Stroyizdat, 1979. 254 p. (rus)
7. Ovsyannikov S.N., Koshkin Y.G., Fatyanova A.P. The prediction of sound and vibration in a building using the method of statistical energy analysis. *Proc. 7th Russ.-Korean Int. Symp. 'Science and Technology'*. Tomsk, 2004. Pp. 331–335.
8. Lelyuga O.V., Ovsyannikov S.N., Shubin I.L. Issledovanie zvukoizolyatsii vnutrennikh ograzhdayushchikh konstruktssii s uchetom strukturnoi zvukoperedachi [Sound insulation of wall systems with regard to sound transmission]. *Byulleten' stroitel'noi tekhniki*. 2018. No. 7. Pp. 39–43. (rus)
9. Beranek L., Work G. Sound transmission through multiple structures containing flexible blankets. *Journal of Acoustical Society of America*. 1949. V. 21. No. 4. Pp. 419–428.
10. Zaborov V.I., Klyachko L.N., Novikov I.I. O zvukoizolyatsii trekhsloinymi konstruktssiyami [Sound insulation of three-layer wall panels]. *Akusticheskii zhurnal*. 1984. V. 30. No. 4. Pp. 482–485. (rus)
11. Karczmarzyk S. Local model of plane acoustic waves propagation in multilayered infinite sandwich structures. *Archives of Mechanics*. 2011. 63. 5–6. Pp. 573–598.
12. Moore J.A., Lyon R.H. Sound transmission loss characteristics of sandwich panel constructions. *Journal of Acoustical Society of America*. 1991. V. 89. Pp. 777–791.
13. Bolton J.S., Shlau N.M., Kang Y.J. Sound transmission through multi-panel structures lined with elastic porous materials. *Journal of Sound and Vibration*. 1996. 191. 3. Pp. 317–347.
14. Zhou J., Bhaskar A., Zhang X. Sound transmission through a double-panel construction lined with poroelastic material in the presence of mean flow. *Journal of Sound and Vibration*. 2013. V. 332. Pp. 3724–3734.
15. Dym C.L., Lang M.A. Transmission of sound through sandwich panels. *Journal of Acoustical Society of America*. 1974. V. 56. No. 5. Pp. 1525–1532.
16. Lang M.A., Dym C.L. Optimal acoustic design of sandwich panels. Part 2. *Journal of Acoustical Society of America*. 1975. V. 57. No. 6. Pp. 1481–1487.
17. Dijckmans A., Vermeir G. Optimization of the acoustic performances of lightweight sandwich roof elements. INTER-NOISE-2009, Ottawa, Canada. Pp. 23–26.
18. Thamburaj P., Sun J.Q. Optimization of anisotropic sandwich beams for higher sound transmission loss. *Journal of Sound and Vibration*. 2001. V. 254. Pp. 23–36.
19. Wawrzynowicz A., Krzaczek M., Tejchman J. Experiments and FE analyses on airborne sound properties of composite structural insulated panels. *Archives of Acoustics*. 2014. V. 39. No. 3. Pp. 351–364.

20. *Bobylyov V.N., Tishkov V.A., Monich D.V., Dymchenko V.V., Grebnev P.A.* Experimental study of sound insulation in multilayer enclosing structures. *Noise Control Engineering Journal*. 2014. V. 62 (5). Pp. 354–355.
21. *Grebnev P.A.* Teoreticheskie i eksperimental'nye issledovaniya zvukoizolyatsii beskarkasnykh ograzhdayushchikh konstruksii iz sendvich-panelei [Theoretical and experimental studies of sound insulation of insulating properties of frameless sandwich wall panels]. *Vestnik of Tomsk State University of Architecture and Building*. 2015. No. 2 (49). Pp. 109–118. (rus)
22. *Grebnev P.A.* Zvukoizolyatsiya ograzhdayushchikh konstruksii zdaniy iz sendvich-panelei : avtoreferat dissertatsii na soiskanie uchenoi stepeni kandidata tekhnicheskikh nauk [Sound insulation of building envelopes made of sandwich panels. PhD Abstract]. Nizhny Novgorod, 2016. 21 p. (rus)
23. *Yablonik L.R.* Uproshchennyi metod rascheta mnogoslainoi zvukoizolyatsii, vlyuchayushchei sloi voloknistogo poristogo materiala [Simplified method for calculating multilayer sound insulation including layers of fibrous porous material]. *Akusticheskii zhurnal*. 2018. V. 64. No. 5. Pp. 639–646. (rus)
24. *Zverev A.Ya., Chernykh V.V.* Eksperimental'noe opredelenie akusticheskikh i vibroakusticheskikh kharakteristik mnogoslainnykh kompozitnykh panelei [Experimental determination of acoustic and vibroacoustic characteristics of multilayer composite panels]. *Akusticheskii zhurnal*. V. 64. No. 6. Pp. 727–736. (rus)
25. *Liu Y., Catalan J.-C.* External mean flow influence on sound transmission through finite clamped double-wall sandwich panels. *Journal of Sound and Vibration*. 2017. V. 405. Pp. 269–286.
26. *Liu Y., Catalan J.-C.* Effects of external and air gap flows on sound transmission through finite clamped double-panel sandwich structures. *Composite Structures*. 2018. V. 203. Pp. 286–299.
27. *Kochkin A.A.* Issledovanie vliyaniya fiziko-mekhanicheskikh kharakteristik sloistykh elementov s vibrodempfiruyushchimi sloyami na zvukoizolyatsiyu neprozrachnykh ograzhdayushchikh konstruksii [The influence of the physical and mechanical characteristics of layered elements with vibration-damping layers on the sound insulation of opaque enclosing structures]. *Vestnik of Tomsk State University of Architecture and Building*. 2012. No. 3. Pp. 111–116. (rus)
28. *Sedov M.S.* Zvukoizolyatsiya [Sound insulation]. In: *Tekhnicheskaya akustika transportnykh mashin: spravochnik* [Technical acoustics of transport vehicles: a reference book]. N.I. Ivanov, Ed. Saint-Petersburg: Politekhnik, 1992. No. 4. Pp. 68–106. (rus)
29. *Sedov M.S.* Effect of breaking free waves in thin plates of double construction. *Proceedings of Fourth international congress on sound and vibration*. M.J. Crocker and N.I. Ivanov, Eds. Saint-Petersburg. 1996. Pp. 1073–1076.
30. *Bobylyev V.N., Monich D.V., Tishkov V.A., Grebnev P.A.* Rezervy povysheniya zvukoizolyatsii odnosloinykh ograzhdayushchikh konstruksii [Improvement of sound insulation of single-layer wall systems]. Nizhny Novgorod, 2014. 118 p. (rus)

#### Сведения об авторах

*Ерофеев Владимир Иванович*, докт. физ.-мат. наук, профессор, филиал Федерального исследовательского центра «Институт прикладной физики Российской академии наук» Институт проблем машиностроения РАН, 603024, г. Нижний Новгород, ул. Белинского, 85, erof.vi@yandex.ru

*Мониц Дмитрий Викторович*, канд. техн. наук, доцент, Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет, 603950, г. Нижний Новгород, ул. Ильинская, 65, dmitriy.monich@mail.ru

#### Authors Details

*Vladimir I. Erofeev*, DSc, Professor, Mechanical Engineering Research Institute of the Russian Academy of Sciences, 85, Belinskii Str., Nizhny Novgorod, 603024, Russia, erof.vi@yandex.ru

*Dmitriy V. Monich*, PhD, A/Professor, Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering, 65, Il'inskaya Str., 603950, Nizhny Novgorod, Russia, dmitriy.monich@mail.ru

УДК 624.045.04

DOI: 10.31675/1607-1859-2020-22-5-111-121

*Г.И. ГРЕБЕНЮК<sup>1</sup>, В.И. МАКСАК<sup>1</sup>, Е.В. ЯНЬКОВ<sup>2</sup>,**<sup>1</sup>Томский государственный архитектурно-строительный университет,**<sup>2</sup>Новосибирский государственный**архитектурно-строительный университет (Сибстрин)*

## **РАСЧЁТ И ОПТИМИЗАЦИЯ КОЛОНН СТУПЕНЧАТОЙ ЖЁСТКОСТИ В УСЛОВИЯХ ПРОДОЛЬНО-ПОПЕРЕЧНОГО ИЗГИБА**

Рассматривается задача расчёта и оптимизации колонн ступенчатой жёсткости, входящих в состав стержневого каркаса промышленного здания. В качестве исследуемого объекта выбран двухпролётный поперечник одноэтажного промышленного здания. Разработана методика квазистатического расчёта наиболее нагруженной средней колонны поперечника. Расчёт проводился приближенным методом по предельной нагрузке. Критический «эйлеровский» параметр сжимающей продольной нагрузки определялся на основе составления дифференциальных уравнений изгиба при бифуркационной форме потери устойчивости на участках колонны. Задача оптимизации параметров сечений колонны на участках ставилась и решалась как задача нелинейного математического программирования. Рассмотрен пример оптимизации средней колонны поперечника с использованием разработанной методики расчёта при составлении системы ограничений в формируемой задаче оптимизации.

**Ключевые слова:** поперечник каркаса; ступенчатая колонна; предельная нагрузка; критический параметр; участки интегрирования; оптимизация сечений рам.

**Для цитирования:** Гребенюк Г.И., Максак В.И., Яньков Е.В. Расчёт и оптимизация колонн ступенчатой жёсткости в условиях продольно-поперечного изгиба // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2020. Т. 22. № 5. С. 111–121.

DOI: 10.31675/1607-1859-2020-22-5-111-121

*G.I. GREBENYUK<sup>1</sup>, V.I. MAKSAK<sup>1</sup>, E.V. YANKOV<sup>2</sup>,**<sup>1</sup>Tomsk State University of Architecture and Building,**<sup>2</sup>Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering*

## **STIFFNESS ANALYSIS AND OPTIMIZATION OF STEPPED COLUMNS UNDER COMBINED BENDING AND COMPRESSION**

The paper presents the stiffness analysis and optimization of stepped columns constituting the core frame of the industrial building. The two-span cross section of a one-storey industrial building is investigated herein. The quasi-static calculation is performed using the limited load approximation method for the cross-section of the most loaded middle column. The critical Euler characteristic of the compressive longitudinal load is determined by the differential bending equations at the bifurcation instability in the column sections. The parameter optimization of the column cross-section is achieved through the nonlinear mathematical programming. The optimization of medium column cross-section is considered using the proposed calculation when setting a set of constraints for the optimization task.

**Keywords:** cross-section; stepped column; ultimate load; critical parameter; optimization; frame section.

**For citation:** Grebenyuk G.I., Maksak V.I., Yankov E.V. Raschet i optimizatsiya kolonn stupenchatoi zhestkosti v usloviyakh prodol'no-poperechnogo izgiba [Stiffness analysis and optimization of stepped columns under combined bending and compression]. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture. 2020. V. 22. No. 5. Pp. 111–121.

DOI: 10.31675/1607-1859-2020-22-5-111-121

### Введение

Колонны ступенчатой жёсткости широко используются в строительной практике, прежде всего в составе каркасов промышленных зданий. При расчёте каркаса часто ограничиваются квазистатическим расчётом в линейной постановке на заданную нагрузку и бифуркационным расчётом на устойчивость каркаса с перемещением нагрузки в узлы.

Вопросам потери устойчивости как отдельных сжатых стержней, так и стержневых систем посвящено множество работ: раздел в учебной литературе [1–4 и др.]; монографии и статьи [5–10]; разделы в нормативной и справочной литературе. При этом, как правило, используется линейно упругая модель материала, а проектные расчёты ведутся по расчётным нагрузкам и расчётным сопротивлениям.

Значительно меньше внимания в учебной и научной литературе уделено вопросом оптимизации стержней (в том числе колонн ступенчатой жёсткости в условиях продольных и продольно-поперечных изгибов). Здесь можно отметить работы [11–20], в том числе такие, в которых в числе ограничений в задаче оптимизации используют ограничения по частотам колебаний и устойчивости [13, 18–20].

В настоящей работе на примере поперечника стержневого каркаса одноэтажного двухпролётного промышленного здания, представленного на рис. 1, предлагаются методики расчёта и оптимизации наиболее нагруженных средних ступенчатых колонн каркаса в условиях продольно-поперечного изгиба.

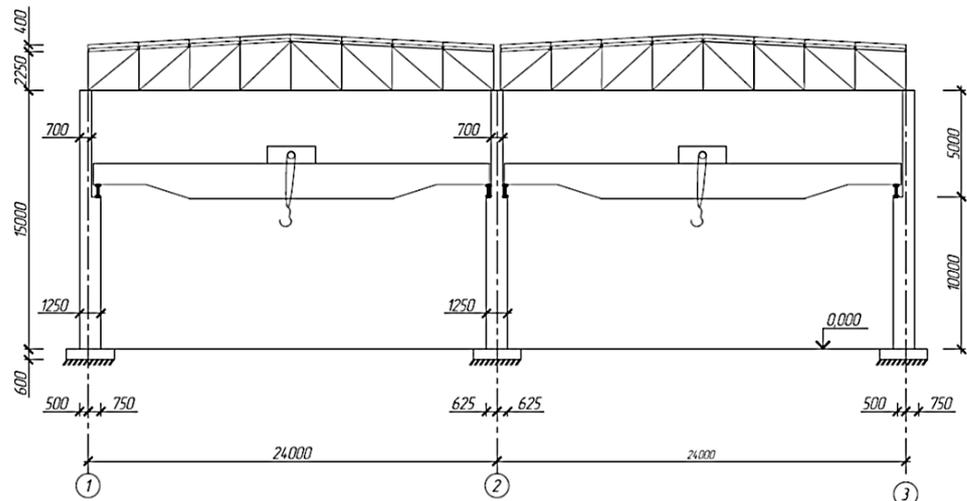


Рис. 1

## 1. Основные допущения при расчёте. Методика расчёта средней колонны ступенчатой жёсткости

К основным допущениям при расчёте отнесены:

- расчёт полного каркаса заменяется расчётом поперечника;
- все колонны каркаса имеют одинаковую изгибную жёсткость;
- продольными деформациями ригелей поперечника (на рис. 1 это разрезные фермы с шарнирным опиранием на колонны) можно пренебречь;
- нагрузки на поперечник (собственный вес, вес покрытия, ветровая, снеговая и крановая) передаются в узлах колонн;
- изгибающие моменты и горизонтальные усилия от крановой нагрузки, передающиеся на колонны каркаса, не учитываются.

На рис. 2 приведена расчётная схема поперечника, составленная с учётом сделанных допущений. Параметры  $q_1$ ,  $q_2$  поперечной ветровой нагрузки и параметр  $F$  продольной нагрузки на колонны рассчитывались с использованием нормативных источников при шаге колонн в продольном направлении здания, равном 6 м.

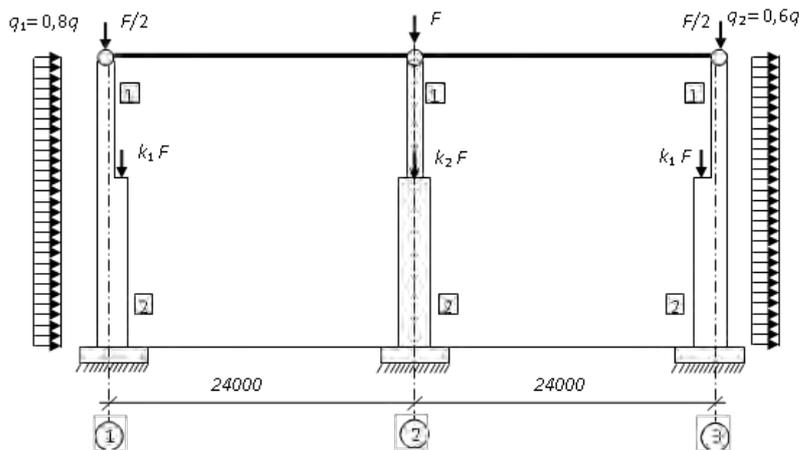


Рис. 2

### 1.1. Линейный расчёт средней ступенчатой колонны в составе статически неопределимой рамы

Расчёт в линейной постановке проводится по недеформированной схеме. Расчётная схема поперечника (рис. 2) представляет собой двухпролётную, дважды статически неопределимую раму, в состав которой входят три вертикальных стержня ступенчатой жёсткости (колонны) и два горизонтальных элемента (ригели), соединяющих колонны в верхних узлах.

При определении усилий в стойках от вертикальных нагрузок система является статически определимой. Продольные силы в стойках можно найти методом сечений. Для средней стойки они равны:

$$N_1 = F = 760 \text{ кН}, \quad N_2 = F(1 + K_2) = 1180 \text{ кН}, \quad K_2 = 0,55.$$

Для расчёта на действие ветровой нагрузки был использован метод сил. Основная система метода сил была образована путем отбрасывания продольных связей элементов ригелей (рис. 3). При этом система распадается на три независимые части, удобные для расчётов.

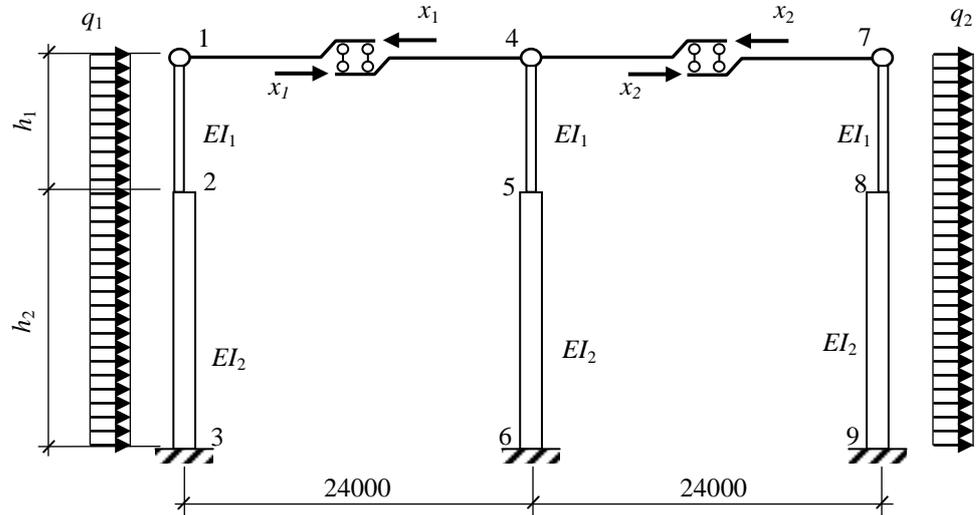


Рис. 3

Для определения неизвестных составлена система канонических уравнений метода сил:

$$\left. \begin{aligned} \delta_{11}x_1 + \delta_{12}x_2 + \Delta_{1F} &= 0, \\ \delta_{21}x_1 + \delta_{22}x_2 + \Delta_{2F} &= 0. \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

Коэффициенты при неизвестных и свободных членах системы (1) определены на основе сопряжения единичных и грузовых эпюр, представленных на рис. 4.

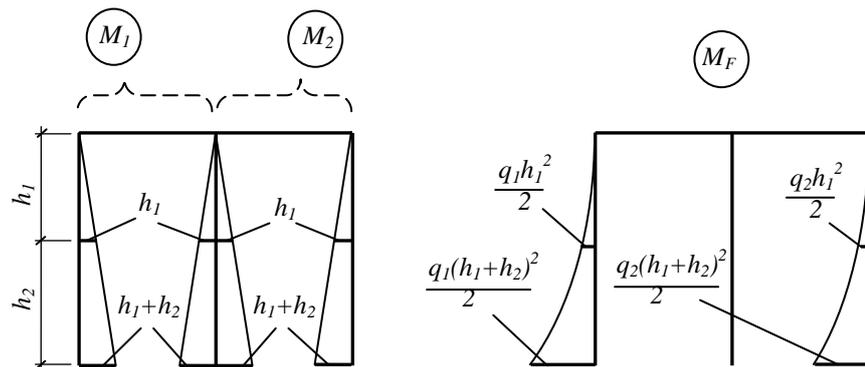


Рис. 4

После вычисления коэффициентов и свободных членов канонических уравнений и решения системы (1) получены выражения для неизвестных:

$$x_2 = \frac{-0,4qC}{3d}, \quad x_1 = \frac{qC}{3d}, \quad (2)$$

где 
$$C = \frac{1}{12} \left[ \frac{1,5h_1^4}{EJ_1} + \frac{h_2}{EJ_2} \left[ h_1^3 + 4(h_1 + 0,5h_2)^3 + (h_1 + h_2)^3 \right] \right], \quad (3)$$

$$d = \frac{1}{3} \left[ \frac{h_1^3}{EJ_1} + \frac{h_2}{EJ_2} \left[ 3h_1^2 + h_2^2 + 3h_1h_2 \right] \right]. \quad (4)$$

Выражения (2) позволяют найти суммарную горизонтальную нагрузку на среднюю колонну в узле 4:

$$p = x_1 - x_2 = \frac{1,4qC}{3d}. \quad (5)$$

Усилия от поперечной ветровой нагрузки в сечениях 5, 6 средней колонны равны соответственно:

$$M_{5П} = Ph_1, \quad M_{6П} = P(h_1 + h_2).$$

Горизонтальные перемещения узлов 4, 5 от поперечной нагрузки можно найти по методу Мора, сопрягая эпюру моментов в средней стойке с соответствующими единичными эпюрами в основной системе метода сил:

$$U_{П4} = \frac{P}{3} \left( \frac{h_1^3}{EJ_1} + \frac{h_2}{EJ_2} (3h_1^2 + h_2^2 + 3h_1h_2) \right), \quad (6)$$

$$U_{П5} = \frac{Ph_2}{6EJ_2} (2h_2^2 + 3h_1h_2). \quad (7)$$

### 1.2. Расчёт средней колонны в условиях продольно-поперечного изгиба

В данном случае расчёт необходимо проводить по нагрузке. Согласно такому подходу, при расчётах на прочность и жёсткость параметры нагружения на среднюю колонну увеличивают до предельного уровня:

$$P_{\text{lim}} = Pk_H, \quad F_{\text{lim}} = Fk_H, \quad (8)$$

где  $k_H > 1$  – коэффициент запаса по нагрузке.

Используя приближенный метод расчёта при продольно-поперечном изгибе [1], необходимо корректировать величины усилий и перемещений, полученные при линейном расчёте на предельную нагрузку, умножая их на коэффициент

$$k_{\Pi} = \frac{1}{1 - \frac{Fk_H}{F_{cr\Theta}}}, \quad (9)$$

где  $F_{cr\Theta}$  – критическое значение параметра продольной нагрузки в постановке Эйлера при потере устойчивости в плоскости изгиба. Далее, при составлении условий прочности и жёсткости полученные предельные значения пара-

метров состояния делятся на коэффициент  $k_H$  и сравниваются с допускаемыми значениями.

Например, при проверке прочности по максимальным нормальным напряжениям условие прочности записывается в виде

$$\max_x \left| \frac{N(x)}{A} + \frac{M_{II}(x)}{W} + \frac{N(x)U_{II}(x)k_H}{W \left( 1 - \frac{Fk_H}{F_{crЭ}} \right)} \right| \leq R, \quad (10)$$

где  $A$ ,  $W$  – площадь и момент сопротивления рассматриваемого сечения средней колонны;  $x$  – координата сечения вдоль продольной оси.

При определении  $F_{crЭ}$  использовался алгоритм определения критического параметра продольной нагрузки для стержней ступенчатой жёсткости с линейно упругой связью в верхнем сечении, разработанный с участием одного из авторов настоящей работы [17]. Чтобы воспользоваться данным алгоритмом, необходимо определить жёсткость  $C_4$  упругоподатливой связи в узле 4 (рис. 5), моделирующей влияние двух крайних колонн. Перемещения верхних сечений крайних колонн от единичного силового воздействия определялись по методу Мора путём сопряжения половины эпюры  $M_1$  (см. рис. 4) самой на себя с учётом изгибных и жесткостей  $EJ_1$ ,  $EJ_2$  участков:

$$\frac{1}{2} \delta_{11} = \frac{1}{3} \left( \frac{h_1^3}{EJ_1} + \frac{h_2}{EJ_2} (3h_1^2 + h_2^2 + 3h_1h_2) \right) = d.$$

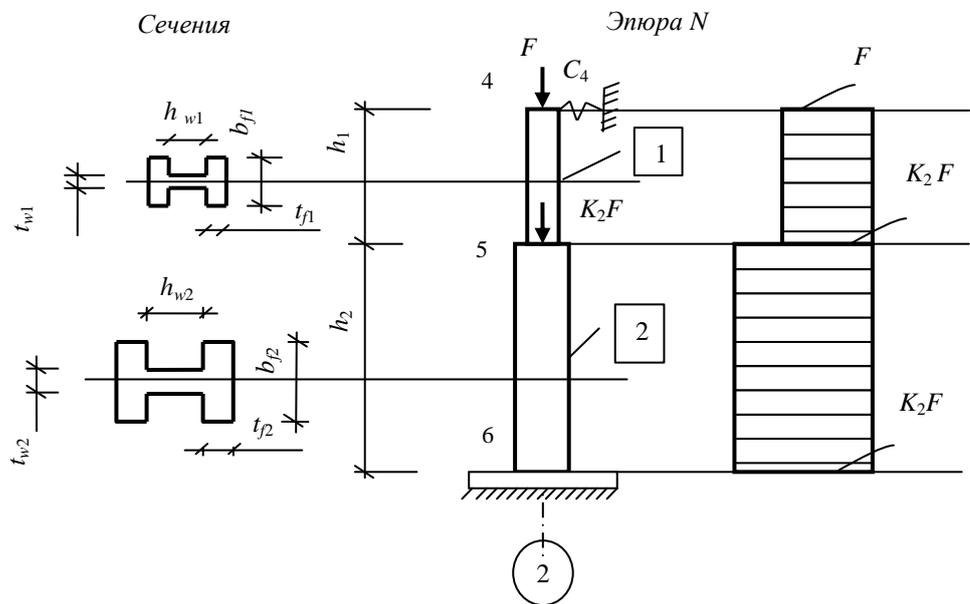


Рис. 5

Величина жёсткости обратно пропорциональна податливости колонны  $C_1 = 1/d$ , а для двух крайних колонн, моделирующих упругую связь средней колонны:

$$C_4 = C_1 + C_7 = 2/d. \quad (11)$$

## 2. Постановка и решение задачи оптимизации средней колонны

Задача оптимизации средней колонны поставлена в форме задачи нелинейного математического программирования:

Требуется найти

$$\min F(X), \quad X \in E^n \quad (12)$$

с соблюдением ограничений вида

$$g_j(X, P(X)) \leq 0, \quad j = 1, \dots, m; \quad (13)$$

$$X_{i,\min} \leq X_i \leq X_{i,\max}. \quad (14)$$

В выражениях (12) – (14):  $F(X)$  – целевая функция;  $X_i, i = 1, \dots, n$  – варьируемые параметры;  $P(X)$  – вектор параметров состояния колонны.

В качестве целевой функции принят объём материала колонны (сталь 3). Варьируемыми параметрами являются размеры двутавровых сечений колонны на участках  $\boxed{1}, \boxed{2}$  (рис. 5):

$$X_1 = b_{f1}; \quad X_2 = t_{f1}; \quad X_3 = h_{w1}; \quad X_4 = b_{w1}; \quad X_5 = b_{f2};$$

$$X_6 = t_{f2}; \quad X_7 = h_{w2}; \quad X_8 = t_{w2}.$$

В состав ограничений (13) входят: ограничения по прочности вида (10); ограничения по жёсткости вида

$$U_4 = \frac{U_{П4}}{1 - \frac{Fk_H}{F_{cr}}} \leq \frac{H_4}{400}, \quad (15)$$

где  $U_{П4}$  – поперечное перемещение узла 4 от нормативной ветровой нагрузки;  $H_4 = h_1 + h_2$ .

Кроме того, в состав ограничений введены параметрические ограничения (14), а также конструктивные ограничения на соотношения размеров полк и стенок сварных двутавров на следующих участках:

$$\frac{X_1}{X_2} \leq 30; \quad \frac{X_3}{X_4} \leq 80; \quad \frac{X_5}{X_6} \leq 30; \quad \frac{X_7}{X_8} \leq 80. \quad (16)$$

При принятых варьируемых параметрах выражение для целевой функции имеет вид

$$F(X) = (2X_1X_2 + X_3X_4)h_1 + (2X_5X_6 + X_7X_8)h_2. \quad (17)$$

Для удобства при решении и обработке результатов поставленной задачи оптимизации все ограничения преобразовывались к безразмерному виду

$$\overline{g_j}(X, P(X)) - 1 \leq 0, \quad j = 1, \dots, m + 2n + 4. \quad (18)$$

Сформированная условно-экстремальная задача оптимизации ступенчатой колонны решалась на основе метода подвижного внешнего штрафа [15] и с использованием программного модуля для решения сформированных задач оптимизации [16]. Ограничения по прочности и жёсткости строились на основе разработанной методики расчёта колонны по нагрузке в условиях продольно-поперечного изгиба. В таблице приведены результаты оптимизации по объёму материала средней, наиболее нагруженной колонны поперечника.

**Результаты оптимизации колонны с учётом и без учёта ограничения по жёсткости**

Вид параметра	Значения параметров в оптимальном проекте	
	без учёта ограничения по жёсткости	с учётом ограничения по жёсткости
$F(X^*)$ , (м <sup>3</sup> )	0,131	0,214
$X_1^*$ , (м)	0,181	0,15
$X_2^*$ , (м)	0,0078	0,0059
$X_3^*$ , (м)	0,464	0,625
$X_4^*$ , (м)	0,0058	0,0079
$X_5^*$ , (м)	0,15	0,20
$X_6^*$ , (м)	0,008	0,0122
$X_7^*$ , (м)	0,80	1,03
$X_8^*$ , (м)	0,01	0,0128
$ \sigma_{\max}^1$ , (МПа)	200,5	169,4
$ \sigma_{\max}^2$ , (МПа)	188,8	101,9
$v_4$ , (м)	0,828	0,0375
$F_{cr\Delta}$ , (кН)	999	2661

Анализируя результаты оптимизации, приведённые в таблице, отметим следующее:

- включение ограничений по жёсткости в данной задаче значительно увеличивает расход материала (на 63 %);
- без учёта ограничения по жёсткости активными были ограничения по прочности, а с его учётом активным становилось ограничение на перемещение верхнего узла 4 средней колонны;
- без учёта ограничения по жёсткости часть параметрических ограничений размеров сечений вышла на нижнюю границу;

- значительная толщина стенки сечений колонн получена вследствие активности конструктивных ограничений на соотношение высоты и толщины;
- при отсутствии ограничения на перемещение значение продольной нагрузки (780 кН) становится ближе к критической «эйлеровой» нагрузке в оптимальном решении, при этом значительно возрастают приближённое значение прогиба колонны (0,828 м) и вклад продольной нагрузки в ограничения по прочности.

### Выводы

1. Разработана инженерная методика расчёта по нагрузке колонн ступенчатой жёсткости, деформируемых в составе каркаса промышленного здания в условиях продольно-поперечного изгиба.
2. Поставлена и решена задача оптимизации сечений средней, наиболее нагруженной колонны каркаса промышленного здания с использованием разработанной инженерной методики расчёта колонн на этапе формирования ограничений задачи оптимизации.
3. Выявлено наиболее существенное влияние на оптимальный проект ограничений на перемещения узлов колонн (они становятся наиболее активными при сближении параметра продольной нагрузки с его критическим значением по Эйлеру в плоскости изгиба).

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Александров А.В., Потапов В.Д., Державин Б.П. Соппротивление материалов. 5-е изд. Москва : Высшая школа, 2007. 500 с.
2. Дарков А.В., Шапошников Н.Н. Строительная механика. Санкт-Петербург ; Москва ; Краснодар : Лань, 2004. 656 с.
3. Смирнов А.Ф., Александров А.В., Лащеников Б.Я., Шапошников Н.Н. Строительная механика. Динамика и устойчивость сооружений. Москва : Стройиздат, 1984. 416 с.
4. Потапов В.Д., Александров А.В., Косицин С.Б., Долотказин Д.Б. Строительная механика. Книга 1. Статика упругих систем. Москва : Высшая школа, 2007. 512 с.
5. Катюшин В.В. Здания с каркасами из стальных рам переменного сечения. Москва : Стройиздат, 2005. 656 с.
6. Краснов Л.А. Справочник для решения задач по сопротивлению материалов. Новосибирск : Изд-во СГУПС, 2004. 118 с.
7. Перельмуттер А.В., Сливкер В.И. Расчётные модели сооружений и возможности их анализа. Киев : ВПП «Компас», 2001. 448 с.
8. Ляхович Л.С. Разделение критических сил и собственных частот упругих систем. Томск : Изд-во ТГАСУ, 2004. 140 с.
9. Пановко Я.Г., Губанова И.И. Устойчивость и колебания упругих систем. Москва : Наука, 1964. 336 с.
10. Прочность, устойчивость, колебания : справочник. Т. 3 / под общ. ред. И.А. Биргера, Я.Г. Пановко). Москва : Машиностроение, 1968. 567 с.
11. Гребенюк Г.И., Попов Б.Н., Яньков Е.В. Основы расчёта и оптимизации конструкций с использованием метода конечных элементов. Новосибирск : НИСИ, 1992. 96 с.
12. Лазарев И.Б. Основы оптимального проектирования конструкций. Задачи и методы. Новосибирск : Изд-во СГУПС, 1995. 296 с.
13. Ляхович Л.С., Малиновский А.П. Оптимизация несущей способности систем по устойчивости и частоте колебаний // Пространственные конструкции в Красноярском крае. 1979. № 12. С. 103–113.
14. Ляхович Л.С. Особые свойства оптимальных систем и основные направления их реализации в методах расчёта сооружений. Томск : Изд-во ТГАСУ, 2009. 372 с.

15. Гребенюк Г.И., Безделев В.В. Метод подвижного внешнего штрафа в задачах оптимального проектирования конструкций. Омск : ОмПИ, 1983. С. 34–40.
16. Безделев В.В., Гребенюк Г.И., Попов Б.Н. Комплекс программ расчёта и оптимизации конструкций «РИОСК» // Проблемы оптимизации и надёжности в строительной механике : тезисы Всесоюзной конференции. Вильнюс : Москласс, 1983. С. 14–15.
17. Grebeniuk G.I., Liuft N.A., Nikolskii A.V. Calculation for stability of centrally compressed rods of steered stiffness in existence linearly deformable connections // IOP Conference Materials, Science and Engineering. Constructions, buildings and structures. 2019. V. 687. 3.
18. Khot N.S. Nonlinear Analysis of Optimized Structures with Constraints on System Stability // AIAA Journal. 1983. V. 21. № 8. P. 1181–1185.
19. Khot N.S., Venkaya V.B., Berke L. Optimum structure design with stability constraints // Journal for numerical methods in engineering. 1976. V. 10. P. 1097–1114.
20. Kinsalass J. Optimum Design of Structures with Buckling Constraints // Journal of Solids and Structures. 1973. V. 9. P. 863–878.

## REFERENCES

1. Aleksandrov A.V., Potapov V.D., Derzhavin B.P. Soprotivlenie materialov [Strength of materials], 5th ed. Moscow: Vysshaya shkola, 2007. 500 p. (rus)
2. Darkov A.V., Shaposhnikov N.N. Stroitel'naya mexanika [Construction engineering]. Saint-Petersburg; Moscow; Krasnodar: Lan, 2004. 656 p. (rus)
3. Smirnov A.F., Aleksandrov A.V., Lashhenikov B.Ya., Shaposhnikov N.N. Stroitel'naya mexanika. Dinamika i ustojchivost' sooruzhenij [Construction mechanics. Dynamics and stability of structures]. Moscow: Stroiizdat, 1984. 416 p. (rus)
4. Potapov V.D., Aleksandrov A.V., Kosicin S.B., Dolotkazin D.B. Stroitel'naya mexanika. Kniga 1. Statika uprugix sistem [Construction mechanics. Book 1. Statics of elastic systems]. Moscow: Vysshaya shkola, 2007. 512 p. (rus)
5. Katyushin V.V. Zdaniya s karkasami iz stalnykh ram peremennogo secheniya [Buildings with steel frames of variable cross-section]. Moscow: Stroiizdat, 2005. 656 p. (rus)
6. Krasnov L.A. Spravochnik dlya resheniya zadach po soprotivleniyu materialov [Material resistance handbook]. Novosibirsk: SGUPS, 2004. 118 p. (rus)
7. Perel'mutter A.V., Slivker V.I. Raschetnye modeli sooruzhenij i vozmozhnosti ix analiza [Models of structural analysis and their capabilities]. Kiev: Kompas, 2001. 448 p. (rus)
8. Lyahovich L.S. Razdelenie kriticheskix sil i sobstvennyx chastot uprugix sistem [Separation of critical forces and eigen-frequency of elastic systems]. Tomsk: TSUAB, 2004. 140 p. (rus)
9. Panovko Ya.G., Gubanov I.I. Ustojchivost i kolebaniya uprugix sistem [Stability and vibrations of elastic systems]. Moscow: Nauka, 1964. 336 p. (rus)
10. Birger I.A., Panovko Ya.G. (Eds) Prochnost, ustojchivost, kolebaniya. Spravochnik, t. 3 [Strength, stability, oscillations: a guide], vol. 3. Moscow: Mashinostroenie, 1968. 567 p. (rus)
11. Grebenyuk G.I., Popov B.N., Yan'kov E.V. Osnovy rascheta i optimizacii konstrukcij s ispol'zovaniem metoda konechnykh elementov [Basics of structural analysis and optimization using the finite element method]. Novosibirsk: NISI, 1992. 96 p. (rus)
12. Lazarev I.B. Osnovy optimal'nogo proektirovaniya konstrukcij. Zadachi i metody [Basics of optimum design of structures. Tasks and methods]. Novosibirsk: SGUPS, 1995. 296 p. (rus)
13. Lyahovich L.S., Malinovskij A.P. Optimizaciya nesushhej sposobnosti ustojchivosti i chastote kolebanij [Load-bearing capacity and oscillation frequency optimisation]. In: Prostranstvennye konstrukcii v Krasnoyarskom krae [Spatial structures in the Krasnoyarsk region]. 1979, No. 12, Pp. 103–113. (rus)
14. Lyahovich L.S. Osobyie svoystva optimal'nykh sistem i osnovnye napravleniya ikh realizatsii v metodakh rascheta sooruzhenij [Specific properties of optimum systems and their implementation in structural analysis]. Tomsk: TSUAB, 2009. 372 p. (rus)
15. Grebenyuk G.I., Bezdelev V.V. Metod podvizhnogo vneshnego shtrafa v zadachax optimal'nogo proektirovaniya konstrukcij [Penalty methods in optimal design of structures]. Омск: ОмПИ, 1983, Pp. 34–40. (rus)
16. Bezdelev V.V., Grebenyuk G.I., Popov B.N. Kompleks programm rascheta i optimizatsii konstrukticii "RIOSK" [Program complex "RIOSK" for structural and optimization analysis]. In: Problemy op-

- timizatsii i nadezhnosti v stroitel'noi mekhanike: tezisy Vsesoyuznoi konferentsii "Problemy` optimizatsii i nadezhnosti v stroitel'noj mekhanike" (Proc. All-Russ. Conf. 'Problems of Optimization and Reliability in Structural Analysis'). Vilnius: Mosklass. 1983, Pp. 14–15. (rus)
17. Grebeniuk G.J., Liuft N.A., Nikolskii A.V. Calculation for stability of centrally compressed rods of steered stiffness in existence linearly deformable connections. *IOP Conference Materials, Science and Engineering. Constructions, Buildings and Structures*. 2019. V. 687.
  18. Khot N.S. Nonlinear analysis of optimized structures with constraints on system stability. *AIAA Journal*. 1983. V. 21. No. 8. Pp. 1181–1185.
  19. Khot N.S., Venkaya V.B., Berke L. Optimum structure design with stability constraints. *International Journal for Numerical Methods in Engineering*. 1976. V. 10. Pp. 1097–1114.
  20. Kinsalass J. Optimum design of structures with buckling constraints. *International Journal of Solids and Structures*. 1973. V. 9. Pp. 863–878.

#### Сведения об авторах

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

Максак Владислав Иванович, докт. техн. наук, профессор, Томский государственный архитектурно-строительный университет, 634003, г. Томск, пл. Соляная, 2, mksak@mail.ru

Янков Евгений Владимирович, канд. техн. наук, доцент, Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет, 630008, г. Новосибирск, ул. Ленинградская, 113, e.yankov@sibstrin.ru

#### Author Details

Grigori I. Grebenyuk, DSc, Professor, Tomsk State University of Architecture and Building, 2, Solyanaya Sq., 634003, Tomsk, Russia, greb@sibstrin.ru

Vladislav I. Maksak, DSc, Professor, Tomsk State University of Architecture and Building, 2, Solyanaya Sq., 634003, Tomsk, Russia, mksak@mail.ru

Evgenii V. Yan'kov, PhD, A/Professor, Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering, 113, Leningradskaya Str., 630008, Novosibirsk, Russia, e.yankov@sibstrin.ru

# СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ

УДК 691.421.24

DOI: 10.31675/1607-1859-2020-22-5-122-128

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

## ОСОБЕННОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НЕКОНДИЦИОННЫХ ВИДОВ СЫРЬЯ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ АНОРТИТОВОЙ КЕРАМИКИ\*

Проанализирован опыт отечественных и зарубежных исследований в области использования некондиционного сырья в качестве сырьевого компонента для производства строительной анортитовой керамики. Приведены результаты исследований сырья для получения анортитовой керамики с различным химическим составом. Установлено, что использование некондиционного сырья в составе керамической шихты позволяет получать строительные изделия с прочностью при сжатии – до 43,1 МПа, плотностью – до 2150 кг/м<sup>3</sup>, водопоглощением – порядка 7 % и морозостойкостью, удовлетворяющей требованиям нормативных документов. Полученные физико-механические показатели обусловлены содержанием анортитовой фазы в составе готовых керамических изделий, что подтверждается проведенными рентгенофазовым и микроскопическим исследованиями.

**Ключевые слова:** керамика; фазовый состав; некондиционное сырье; глина; структурообразование; анортит; муллит.

**Для цитирования:** Власов В.А., Семеновых М.А., Скрипникова Н.К., Шеховцов В.В. Особенности использования некондиционных видов сырья для получения анортитовой керамики // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2020. Т. 22. № 5. С. 122–128.  
DOI: 10.31675/1607-1859-2020-22-5-122-128

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

## NONSTANDARD RAW MATERIALS FOR ANORTHITE CERAMICS PRODUCTION

The paper analyzes the Russian and foreign research into the use of nonstandard raw materials in the production of constructional anorthite ceramics. The raw materials with different

---

\* Выполнено в рамках исследований по гранту РФФ (проект № 20-79-10102).

chemical composition are investigated. It is shown that the use of nonstandard raw materials in the ceramic mixture makes it possible to obtain constructional products with 43.1 MPa compressive strength, 2150 kg/m<sup>3</sup> density, about 7 % water absorption and frost resistance that meets the requirements of regulatory documents. The physical and mechanical properties are obtained due to the anorthite phase containing in the composition of end ceramic products, which is confirmed by the X-ray phase and microscopic analyses.

**Keywords:** ceramics; phase composition; nonstandard raw materials; clay; structure formation; anorthite; mullite.

**For citation:** Vlasov V.A., Semenovych M.A., Skripnikova N.K., Shekhovtsov V.V. Osobennosti ispol'zovaniya nekonditsionnykh vidov syr'ya dlya polucheniya anortitovoi keramiki [Non-standard raw materials for anorthite ceramics production]. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture. 2020. V. 22. No. 5. Pp. 122–128. DOI: 10.31675/1607-1859-2020-22-5-122-128

Увеличение темпов строительства и новые, всё возрастающие требования к строительным материалам и изделиям являются основной движущей силой модернизации промышленности строительных материалов. В число главных задач модернизации производств входит: получение высококачественной продукции при минимальных затратах; разработка новых строительных материалов с заранее прогнозируемыми свойствами, отвечающих требованиям, предъявляемым к современным строительным изделиям; активное использование экологически чистых материалов и технологий производства [1].

Решением вышеперечисленных задач может являться вовлечение некондиционного сырья, изначально не предназначенного для использования в составе керамической шихты. Исследования в этом направлении проводятся уже достаточно длительное время и являются актуальными и на сегодняшний день. Перспективным решением модифицирования керамического кирпича является использование некондиционного сырья – техногенных отходов, образующихся в различных отраслевых производствах. Использование разного рода добавок и сырья в составах керамической шихты при получении строительной продукции позволяет добиться различного результата. Результатом может быть изменение свойств как прочностных, теплопроводных, так и декоративных [2]. Эти свойства могут быть объяснены образованием новых фаз и кристаллических структур. Интерес представляет строительная керамика с повышенным содержанием анортитовой фазы в сравнении с традиционным керамическим изделием, не имеющим анортитовых включений. Такая керамика отличается повышенной прочностью, т. к. анортит, входящий в состав керамики, – алюмосиликат, атомы в котором расположены по тетраэдрам, составляющим каркас. Структура получается рыхлой, поэтому в нее легко вклиниваются сторонние примеси. Согласно химическому и фазовому составу, некондиционное сырье содержит полевые шпаты, оксиды щелочных и щелочноземельных металлов, которые являются плавнями. Эти соединения легко внедряются в каркасную структуру анортита.

Примером могут служить исследования, проведенные как зарубежными учеными, так и отечественными.

Коллективом [3] производилась керамика на основе анортита из угольной летучей золы и стального шлака. Результаты исследования показали, что анортит является основной фазой для отношения  $\text{CaO}/\text{SiO}_2$  в диапазоне от 0,12 до 0,56, в то время как при 1200 °С отношение 0,8 связано с высоким содержанием геленита. Изучение образцов показало, что отношение  $\text{CaO}/\text{SiO}_2$  было основным фактором, влияющим на плотность, в то время как изменение кажущейся пористости и прочности на сжатие в большей степени зависело от температуры спекания. Кристаллизация анортитовой фазы значительно улучшила свойства получаемой керамики, тогда как появление геленита уменьшило механическую прочность. Изготовленная керамика на основе анортита имеет низкую теплопроводность (0,39 Вт/(м·К)), а также прочность на сжатие 41,00 МПа, что делает этот образец потенциальным кандидатом для применения в качестве теплоизоляционного и конструкционного материала. Однако в данной работе не представлена структура анортитовой фазы и ее количество.

Учеными [4] исследовалась возможность изготовления анортитовой керамики, обладающей высокой пористостью, механической прочностью и низкой теплопроводностью. Исследовано влияние температуры спекания и количество летучей золы на уплотнение, прочность при сжатии, теплопроводность и микроструктуру керамических материалов. Результаты показали, что прочность на сжатие пористой керамики улучшается с увеличением количества летучей золы, а уплотнение и теплопроводность с увеличением ее содержания несколько снижаются. В исследованиях не представлены результаты образования анортитовой фазы в зависимости от сырьевого состава.

В исследовании [5] были представлены результаты испытания образцов анортитовой керамики и проанализированы их свойства, а именно: прочность на сжатие, поведение при тепловых ударах и теплопроводность. Результаты показали, что изготовленные материалы обладают высокой прочностью на сжатие, термостойкостью и низкой теплопроводностью. При соответствующих параметрах изготовления, даже если плотность составляет 0,33 г/см<sup>3</sup>, а пористость 88,2 %, его прочность на сжатие может достигать 2,03 МПа при температуре обжига 1000 °С. Представлены результаты физико-химических исследований полученных образцов, из которых следует, что в них присутствует анортитовая фаза. Однако не ясно, за счет каких компонентов получена высокая пористость.

Наиболее распространенные методы модифицирования керамических изделий в Российской Федерации заключаются в использовании отходов различных производств в качестве сырьевых компонентов керамической шихты.

Работа [6] связана с обзором данных в области синтеза анортитовых износостойких и самоглазурующихся материалов. В ней выбрана область опытных составов и представлена характеристика исходных сырьевых компонентов. Определены физико-химические показатели материалов, установлена взаимосвязь между показателями свойств, температурой обжига и количеством добавки. Изучены фазовый состав, структура синтезированных материалов, установлены технологические параметры получения износостойких самоглазурующихся материалов оптимального состава. В процессе изучения данных установлено, что наличие анортитовой фазы в составах керамических изделий позволяет улучшить эксплуатационные характеристики.

Проведенный анализ показал, что анортитовая керамика является перспективным направлением изучения в области строительной керамики. Наличие анортитовой фазы обеспечивает повышенные эксплуатационные характеристики и пониженный коэффициент теплопроводности изделий.

Целью настоящего исследования является использование некондиционных видов сырья для получения анортитовой керамики. Для осуществления поставленной цели необходимо решение следующих задач: подбор шихты с использованием некондиционного сырья и технологических режимов, проведение физико-механических и физико-химических исследований с целью установления эксплуатационных характеристик и фазового состава.

Некондиционное сырье представляет собой отходы металлургических производств с различным химическим и гранулометрическим составом. В табл. 1 представлен химический состав используемого сырья.

Таблица 1

**Химический состав некондиционного сырья, масс. %**

Сырье	C	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	FeO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
Проба 1	30,63	3,99	2,54	3,92	1,45	13,18	–
Проба 2	–	78,89	3	1,49	3,45	0	–
Проба 3	30,45	34,54	14,05	6,29	2,02	6,47	–
Глинистое сырье		64,05	12,10	3,08	2,97	–	4,53

Как следует из данных табл. 1, преобладающим компонентом в сырье под наименованием проба 1 и проба 3 является углерод. Это сырье целесообразно использовать в качестве выгорающих добавок в составах керамических масс с целью уменьшения средней плотности и увеличения пористости, что способствует образованию расплава, который приводит к образованию анортитовой фазы. Проба 2 обладает преимущественно кремнеземистой составляющей, она может быть использована для снижения пластичности и усадки керамической массы в процессе сушки и обжига.

Керамические композиции, полученные с применением сырья, представленного в табл. 1, изготавливались в пропорциях, представленных в табл. 2, для каждого вида некондиционного сырья. Выбранные соотношения сырьевых материалов обоснованы пластическими свойствами получаемой шихты: при содержании некондиционного сырья более 20 % пресс-порошок становится малопластичным. Кроме того, при составлении сырьевых масс учитывалось соотношение CaO : Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> : SiO<sub>2</sub> = 1 : 1 : 2 с целью образования анортитовой фазы.

Использование представленных выше композиций при обжиге позволяет получать керамические изделия с плотным однородным черепком.

В процессе анализа полученных керамических образцов были изучены показатели прочностных свойств, плотности, водопоглощения и морозостойкости. Опираясь на полученные данные, можно констатировать, что образцы керамического кирпича, полученные с использованием в составе некондиционного сырья в количестве до 20 масс. %, обладают необходимыми эксплуатационными свойствами для применения в строительной индустрии в соответствии с нормативными документами, а именно: прочность при сжатии достигает

43,1 МПа, что на 15 % больше, чем прочность контрольного глиняного; плотность снижается до 10 %; а водопоглощение снижается с 12 до 7 %.

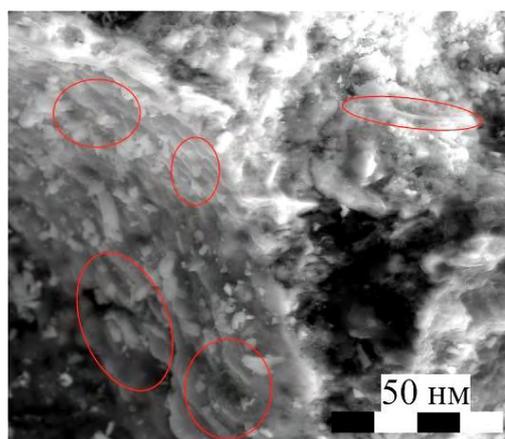
Таблица 2

## Составы керамических шихт

Шифр состава	Содержание сырья, масс. %	
	глинистого	некондиционного
А-1 (Проба 1)	90	10
А-2 (Проба 1)	80	20
Б-1 (Проба 2)	90	10
Б-2 (Проба 2)	80	20
В-1 (Проба 3)	90	10
В-2 (Проба 3)	80	20

Улучшение эксплуатационных характеристик полученных изделий обеспечивается за счет повышенного содержания анортитовой фазы, образующейся при обжиге. Наиболее точно это прослеживается на примере образцов с использованием состава А-1 и В-1. Их технологические свойства относительно контрольного образца имеют более высокие показания. Проведенные исследования методом рентгеновской дифракции показали, что фазовым составом изделий, полученных с использованием некондиционного сырья, является анортит, кварцит, фаялит и аморфная фаза. Эти образцы имеют повышенное количество анортитовой фазы в сравнении с контрольными образцами. Как было отмечено в ранее приведенных исследованиях [7, 8], анортитовые зерна при обжиге упрочняют структуру изделия, увеличивая прочность сцепления соседствующих зерен.

Микроскопические исследования, представленные на рисунке, показали, что образцы изделий имеют игольчатую структуру, образующую каркас. Она является характерной для анортитовой фазы.

Микрофотография шлифа изделия, увеличение  $\times 2000$

Эти исследования хорошо коррелируются с уже известными исследованиями ученых в этой области, а именно: наличие анортитовой фазы улучшает свойства керамических изделий за счет структурных особенностей.

В результате исследований установлено, что использование некондиционного сырья в количестве 15–20 масс. % обеспечивает получение конечного изделия с прочностью при сжатии 40–43 МПа. Данные прочностные характеристики обеспечиваются за счет образования анортитовой фазы, что было подтверждено физико-химическими исследованиями. Таким образом, использование некондиционного сырья в виде металлургических отходов позволяет получать анортитовую керамику, которая может быть использована в качестве конструкционного строительного материала.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Тихонова Т.В. Анализ рынка строительных материалов и особенности оценки качества строительных материалов // Наука, образование, инновации: апробация результатов исследований : материалы Международной научно-практической конференции / под общ. ред. А.И. Вострецова. 2020. С. 359–364.
2. Манакова Н.К., Суворова О.В. Снижение нагрузки на окружающую среду за счет вовлечения техногенных отходов в получение теплоизоляционных материалов // Труды Ферсмановской научной сессии ГИ КНЦ РАН. 2019. № 16. С. 360–363.
3. Tabit Kamal, Hajjou Hanaa, Waqif Mohamedb et al. Effect of CaO/SiO<sub>2</sub> ratio on phase transformation and properties of anorthite-based ceramics from coal fly ash and steel slag // Ceramics international. 2020. V. 46. № 6. P. 7550–7558.
4. Xiang Weiheng, Ding Qingjun, Zhang Gaozhan. Preparation and characterization of porous anorthite ceramics from red mud and fly ash // International journal of applied ceramic technology. 2020. V. 17. № 1. P. 113–121.
5. Wu Linghao, Li Cuiwei, Li Hao et al. Preparation and characteristics of porous anorthite ceramics with high porosity and high-temperature strength // International journal of applied ceramic technology. 2020. V. 17. № 3. P. 963–970.
6. Сергеевич О.А., Алексеев И.А., Артемьев Е.А. Керамические материалы с повышенной износостойкостью для машиностроительной и легкой промышленности // Труды Кольского научного центра РАН. 2017. № 5-1 (8). С. 167–172.
7. Скрипникова Н.К., Григорьевская Д.К., Семеновых М.А. Исследование влияния зольных микросфер на свойства керамических изделий // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2020. Т. 22. № 2. С. 112–119.
8. 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.

#### REFERENCES

1. Tikhonova T.V. Analiz rynka stroitel'nykh materialov i osobennosti otsenki kachestva stroitel'nykh materialov [Market analysis of building materials and their quality]. In: Nauka, obrazovaniye, innovatsii: aprobatsiya rezul'tatov issledovaniy Materialy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, A.I. Vostretsov, Ed. (*Proc. Int. Sci. Conf. 'Science, Education, Innovations: Approbation of the Results of Studies'*). 2020. Pp. 359–364. (rus)
2. Manakova N.K., Suvorova O.V. Snizheniye nagruzki na okruzhayushchuyu sredu za schet вовлечения tekhnogennykh otkhodov v polucheniye teploizolyatsionnykh materialov [Reducing the burden on the environment due to the involvement of man-made waste in the production of heat-insulating materials]. *Proc. Fersmanov Sci. Session of the State Institute of the KSC RAS*. 2019. No. 16. Pp. 360–363. (rus)

3. Tabit K., Hajjou H., Waqif M., et al. Effect of CaO/SiO<sub>2</sub> ratio on phase transformation and properties of anorthite-based ceramics from coal fly ash and steel slag. *Ceramics International*. 2020. V. 46. No 6. Pp. 7550–7558.
4. Xiang W., Ding Q., Zhang G. Preparation and characterization of porous anorthite ceramics from red mud and fly ash. *International Journal of Applied Ceramic Technology*. 2020. V. 17. No. 1. Pp. 113–121.
5. Wu L.; Li C., Li H., et al. Preparation and characteristics of porous anorthite ceramics with high porosity and high-temperature strength. *International Journal of Applied Ceramic Technology*. 2020. V. 17. No. 3. Pp. 963–970.
6. Sergievich O.A., Alekseenko I.A., Artemiev E.A. Keramicheskiye materialy s povyshennoy iznosostoykost'yu dlya mashinostroitel'noy i legkoy promyshlennosti [Ceramic materials with increased wear resistance for mechanical engineering and light industry]. *Trudy Kol'skogo nauchnogo tsentra RAN*. 2017. No. 5-1 (8). Pp. 167–172. (rus)
7. Skripnikova N.K., Grigorevskaya D.K., Semenovyykh M.A. Issledovanie vliyaniya zol'nykh mikrosfer na svoystva keramicheskikh izdelii [The influence of ash microspheres on ceramic properties]. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture*. 2020. V. 22. No. 2. Pp. 112–119. (rus)
8. Skripnikova N.K., Vlasov V.A., Semenovyykh M.A., Volokitin G.G., Shekhovtsov V.V. Issledovaniye vozmozhnosti ispol'zovaniya uglerodsoderzhashchego tekhnogenogo syr'ya pri proizvodstve keramicheskikh izdeliy [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. (rus)

#### Сведения об авторах

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

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

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

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

#### Authors Details

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

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

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

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

УДК 666.914

DOI: 10.31675/1607-1859-2020-22-5-129-138

*Г.В. СОПЕГИН, Н.С. СЕМЕЙНЫХ, Д.Ч. РУСТАМОВА,  
Пермский национальный исследовательский  
Политехнический университет*

## **ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ СТЕКЛОСОДЕРЖАЩЕГО КОМПОНЕНТА НА СВОЙСТВА ГИПСОВОГО ВЯЖУЩЕГО И СУХИХ СТРОИТЕЛЬНЫХ СМЕСЕЙ**

Представлены результаты исследований по влиянию добавки стеклосодержащего компонента (измельченного гранулированного пеностекла) на свойства гипсового вяжущего, а также оценке пригодности использования стеклосодержащего компонента (ССК) для разработки нового состава теплоизоляционной гипсовой смеси.

Установлено, что введение ССК фракции 0,14–1,25 мм в количестве 5–15 % обеспечивает наибольший прирост прочности камня строительного гипса. Присутствие ССК смеси фракций 0,063–0,14 мм в составе строительного гипса способствует повышению его коэффициента размягчения с 0,42 до 0,48.

Основные свойства гипсовой смеси оценивались при введении ССК фракции 0,063–4,0 мм в количестве 30, 40 и 50 % от массы вяжущего. Выявлено, что начало схватывания растворной смеси с добавкой наступает не позднее 6 мин. Введение 50 % ССК значительно снижает величину вододерживающей способности до 85 %. Увеличение количества ССК с 30 до 50 % приводит к уменьшению теплопроводности исследуемых образцов с 0,279 до 0,209 Вт/(м·°С). Предел прочности при сжатии образцов снижается с 15,85 до 9,273 МПа по мере увеличения содержания в смеси ССК до 50 %. Прочность сцепления с керамическим кирпичом у составов, содержащих 30 и 40 % ССК, находится в интервале 0,44–0,69 МПа.

Наиболее эффективными с точки зрения сочетания физико-механических и теплоизоляционных свойств являются составы с содержанием ССК 30 и 40 %. В дальнейшем необходима модификация данных составов введением различных замедлителей схватывания, вододерживающих и пластифицирующих добавок.

**Ключевые слова:** сухие строительные смеси; строительный гипс; прочность при сжатии; теплопроводность; коэффициент размягчения; нормальная плотность; гипсовое вяжущее; гранулированное пеностекло; стеклосодержащий компонент (ССК).

**Для цитирования:** Сопегин Г.В., Семейных Н.С., Рустамова Д.Ч. Оценка влияния стеклосодержащего компонента на свойства гипсового вяжущего и сухих строительных смесей // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2020. Т. 22. № 5. С. 129–138.  
DOI: 10.31675/1607-1859-2020-22-5-129-138

*G.V SOPEGIN, N.S. SEMEYNYKH, D.Ch. RUSTAMOVA,  
Perm National Research Polytechnic University*

## **THE INFLUENCE OF GLASS CONTAINING COMPONENT ON GYPSUM BINDER AND DRY MIX MORTAR PROPERTIES**

The paper studies the properties of the gypsum binder after the addition of glass containing component (crushed granulated foam glass) and the suitability of the latter for the development of a new composition of the heat-insulated gypsum mixture.

It is shown that the addition of the glass containing component (GCC) fraction of 0.14–1.25 mm in the amount of 5–15 % provides the highest strength increase of the gypsum binder. The presence of GCC fractions of 0.063–0.14 mm in the composition of the gypsum binder increases its softening coefficient from 0.42 to 0.48.

The main properties of the gypsum mixture are studied after the addition of the GCC fraction of 0.063–4.0 mm in the amount of 30, 40 and 50 % of the binder mass. The initial setting of the GCC-containing mortar mixture occurs no later than in 6 minutes. The introduction of 50 % GCC significantly reduces the water retaining power to 85 %. An increase in the GCC content from 30 to 50 % in the composition of the gypsum mixture leads to a decrease in the thermal conductivity of the samples from 0.279 to 0.209 W/(m·°C). The compressive strength reduces from 15.85 to 9.273 MPa as the GCC content increases to 50 %. The adhesive strength to ceramic brick for compositions containing 30 and 40 % GCC ranges from 0.44 to 0.69 MPa.

In relation to physical, mechanical and heat insulating properties, compositions containing 30 and 40 % of GCC are the most effective. These compositions can be modified by the addition of various setting retardants, water-retaining and plasticizing additives.

**Keywords:** dry mix mortar; plaster; compressive strength; thermal conductivity; softening coefficient; normal consistency; gypsum binder; granulated foam glass; glass-containing component.

**For citation:** Sopegin G.V., Semeynykh N.S., Rustamova D.Ch. Otsenka vliyaniya steklosoderzhashchego komponenta na svoystva gipsovogo vyazhushchego i sukhikh stroitel'nykh smesei [The influence of glass containing component on gypsum binder and dry mix mortar properties]. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture. 2020. V. 22. No. 5. Pp. 129–138.

DOI: 10.31675/1607-1859-2020-22-5-129-138

## Введение

Современное строительство предъявляет высокие требования к экологичности, энергоэффективности и ресурсосбережению. Поэтому приоритетным направлением является разработка новых строительных материалов и усовершенствование технологий их производства с использованием техногенных и бытовых отходов, а также побочных продуктов различных отраслей промышленности.

Гипсовые вяжущие находят всё большее применение в разработке составов строительных материалов, что связано с рядом их преимуществ по физико-техническим свойствам и экологичности по сравнению с другими видами вяжущих веществ. Производство гипсовых вяжущих нетоксично и требует примерно в 4–5 раз меньше топливно-энергетических расходов, чем производство цемента. Однако гипсовые вяжущие и материалы на их основе имеют существенный недостаток – низкую водостойкость, поэтому область применения гипсовых материалов значительно ограничивается [1–3].

Одной из распространенных областей применения гипсовых вяжущих, решающей проблему «устойчивого развития», является разработка рецептур теплоизоляционных материалов, включая эффективные теплоизоляционные штукатурные смеси [4–6]. Состав теплоизоляционных штукатурок включает в себя смесь вяжущего с пористым наполнителем и различными добавками.

Перспективным пористым наполнителем может служить пеностекло, которое в штукатурных смесях целесообразно использовать в измельченном

состоянии либо в виде гранул. Являясь экологичным и долговечным материалом, пеностекло за последние десятилетия доказало свою эффективность как в качестве конструкционного материала, так и в качестве легкого заполнителя в бетонах [7–11].

Кроме того, в настоящее время рядом производителей («ВосЦемПродукт», Baugran<sup>®</sup>, GRANULIN AEROSTEK, PALADIUM) выпускаются теплоизоляционные штукатурные смеси на цементной основе с применением гранул пеностекла размером до 4,0 мм. Такие смеси характеризуются пределом прочности на сжатие не менее 1,5–2,5 МПа, прочностью сцепления с основанием не менее 0,5 МПа и коэффициентом теплопроводности не более 0,18 Вт/(м·°С).

Однако согласно исследованиям, представленным в научных источниках [10, 11], использование пеностекла в сочетании с цементным вяжущим может приводить к возникновению щелочно-силикатной реакции, способной со временем снизить прочностные характеристики материала и привести к его разрушению.

Таким образом, рациональным представляется использовать пеностекло для разработки составов теплоизоляционных строительных смесей на основе гипсового вяжущего. Анализ рынка и литературных данных [4–6, 12–16] показывает, что в последнее десятилетие теплоизоляционные гипсовые смеси находят широкое применение в строительной отрасли для внутренней и внешней отделки стен зданий. Кроме того, необходимо расширять область применения пеностекла, что позволит решать задачи в области ресурсосбережения и энергоэффективности строительного материаловедения.

Цель работы заключалась в следующем:

- 1) исследовать свойства гипсового вяжущего с добавкой стеклосодержащего компонента (ССК), представляющего собой предварительно измельченное гранулированное пеностекло;
- 2) оценить пригодность стеклосодержащего компонента для получения сухих строительных гипсовых смесей теплоизоляционного назначения.

### **Материалы и методы исследования**

В работе применялся строительный гипс Г-5 БИ по ГОСТ 125–2018 производства компании «Гипсополимер» (г. Пермь), а также смесь фракций (0,063–4,0 мм) пористого стеклосодержащего заполнителя – предварительно измельченного в шаровой мельнице гранулированного пеностекла с маркой по насыпной плотности D350, полученного в ходе полужаводских испытаний по порошковой технологии.

Как известно, высокие физико-механические свойства сухих смесей и растворов достигаются благодаря оптимальному расходу компонентов и наиболее плотной упаковке частиц заполнителя [15]. Высокие адгезионные свойства можно обеспечить благодаря созданию шероховатой поверхности затвердевшего раствора. Кроме того, для теплоизоляционных штукатурных смесей важными параметрами также являются минимальная плотность и теплопроводность. Достижение представленных показателей разрабатываемых гипсовых смесей в работе осуществлялось путем построения «идеальной

гранулометрической кривой» добавки ССК. Таким образом, более мелкие зерна будут заполнять пространство между крупными зернами, обеспечивая наиболее плотную упаковку частиц, а более крупные зерна создадут пористую шероховатую структуру затвердевшего раствора, обеспечив повышение адгезионных и теплоизоляционных свойств. «Идеальная гранулометрическая кривая» пористой добавки ССК, приведенная на рис. 1, была построена с помощью уравнения Фуллера, отражающего зависимость между полным остатком  $A_i$  на сите с размером ячеек  $d_i$  и наибольшим размером зерна в смеси  $D_{\max}$  [15]:

$$A_i = \sqrt{\frac{d_i}{D_{\max}}}. \quad (1)$$

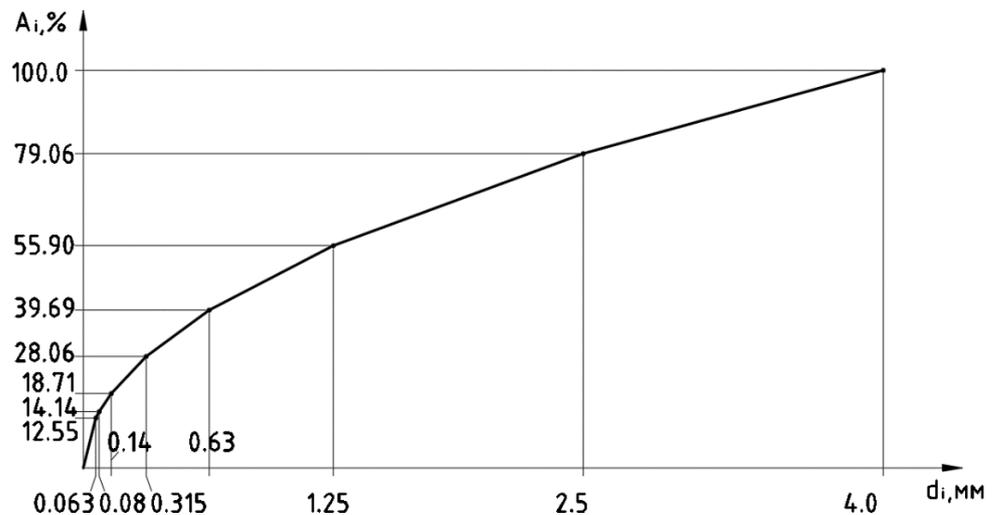


Рис. 1. Гранулометрическая кривая просеивания ССК

Свойства гипсового вяжущего с добавкой ССК определялись по ГОСТ 23789–2018. Прочность при сжатии затвердевшего гипсового вяжущего определялась в 28-суточном возрасте после высушивания образцов до постоянной массы. Коэффициент размягчения гипсового вяжущего был определен согласно методике ТУ 21-0284757–90.

Определение основных свойств сухих строительных смесей производилось по ГОСТ 58276–2018 и ГОСТ 5802–86. Коэффициент теплопроводности затвердевшего гипсового раствора определялся при стационарном тепловом режиме согласно ГОСТ 7076–99. Свойства полученных гипсовых смесей оценивались по ГОСТ 58279–2018.

#### Анализ результатов исследования

На рис. 2–4 представлены графические зависимости результатов испытаний по определению свойств гипсового вяжущего с добавкой ССК в количествах 5, 10 и 15 % от массы вяжущего.

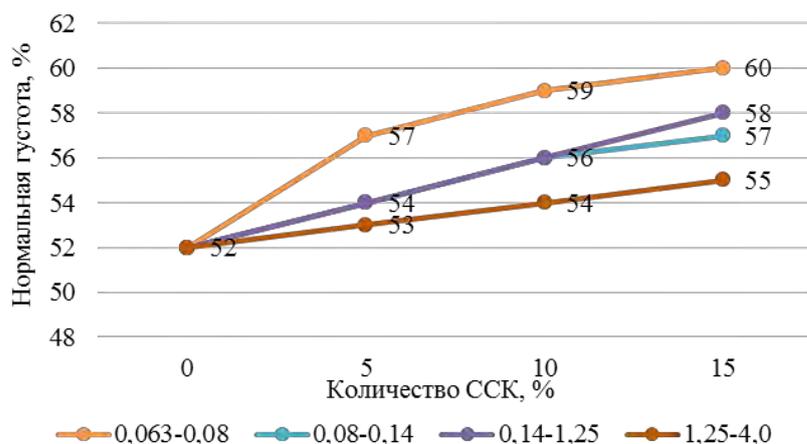


Рис. 2. График зависимости изменения нормальной плотности гипсового теста от количества вводимой добавки ССК

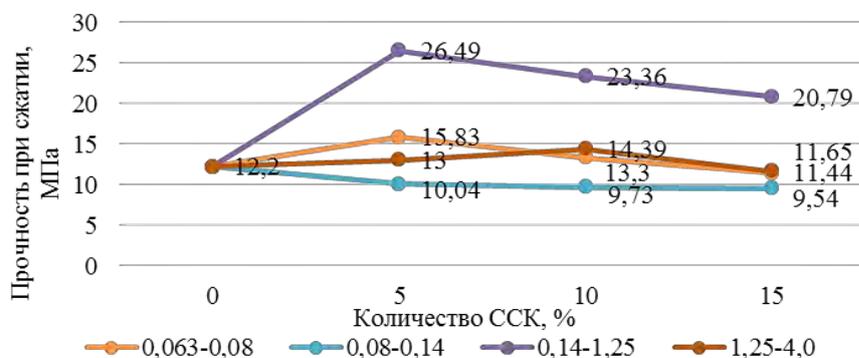


Рис. 3. График зависимости изменения прочности при сжатии камня строительного гипса от количества вводимой добавки ССК

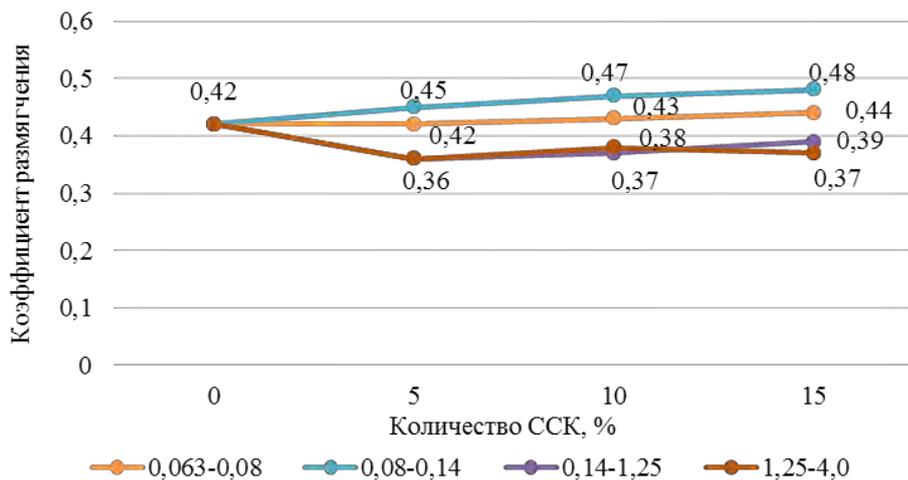


Рис. 4. График зависимости изменения коэффициента размягчения камня строительного гипса от количества вводимой добавки ССК

Анализ данных рис. 2 показывает, что нормальная плотность гипсового теста возрастает по мере увеличения количества вводимой в его состав добавки ССК и размера фракции. Подобная динамика объясняется пористым строением добавки, которое способствует повышению водопотребности вяжущего.

Прочность при сжатии камня строительного гипса при введении добавки ССК в целом повышается (рис. 3). Максимальный прирост прочности получил состав, содержащий ССК в количестве 5–15 % фр. 0,14–1,25 мм. Присутствие в гипсовом вяжущем ССК фракции 0,08–0,14 мм в количестве 5 % приводит к снижению прочности образцов с 12,20 до 9,54 МПа. Также было выявлено, что увеличение количества добавки ССК в составе строительного гипса каждой фракции до 15 % приводит к снижению прочностных характеристик гипсового камня в среднем на 18 %. Подобная закономерность изменения прочности образцов объясняется эффектом стерического стеснения, возникающего в результате препятствия большому объему частиц заполнителя (наполнителя) образовывать прочный каркас совместно с частицами вяжущего [16].

Присутствие добавки ССК смеси фракций 0,063–0,14 мм в составе строительного гипса способствует повышению его коэффициента размягчения с 0,42 до 0,48 (рис. 4). Однако дальнейшее повышение размера фракции ССК до 4,0 мм оказывает отрицательное воздействие на значение коэффициента размягчения, снижая его в среднем на 11 %.

Характеристики свойств полученной сухой, растворной и затвердевшей гипсовой смеси с содержанием ССК фр. 0,06–34,0 мм в количестве 30, 40 и 50 % от массы вяжущего представлены в таблице.

#### Характеристика свойств сухой гипсовой смеси с добавкой ССК

Показатели качества	Количество ССК в смеси, %				Требования ГОСТ 58279–2018
	0	30	40	50	
Насыпная плотность, кг/м <sup>3</sup>	876	866	830	768	–
Начало схватывания, мин	9	5	5,5	6	Не менее 30
Водоудерживающая способность, %	93,46	95,707	93,95	85,035	Не менее 95
Прочность сцепления с основанием (кирпич керамический), МПа	0,302	0,44	0,69	0,13	Не менее 0,3
Теплопроводность, Вт/(м·°С)	0,303	0,279	0,218	0,209	–
Водопоглощение, %	13	16	18	20	–
Предел прочности на растяжение при изгибе, МПа	4,98	4,45	4,37	3,71	Не менее 1,0
Предел прочности при сжатии, МПа	16,76	15,85	11,82	9,27	Не менее 2,0
Коэффициент конструктивного качества	11,23	13,47	11,07	9,21	–

По данным таблицы можно сделать следующие выводы:

1. Увеличение содержания ССК в составе смеси до 50 % приводит к снижению ее насыпной плотности с 876 до 768 кг/м<sup>3</sup>.

2. Начало схватывания всех составов гипсовой смеси с добавкой ССК наступает не позднее 6 мин с момента затворения водой, а увеличение ССК до 50 % приводит к существенному уменьшению водоудерживающей способности смеси до 85 %, что не удовлетворяет требованиям ГОСТ 58279–2018. Из полученных результатов следует, что в состав сухой смеси необходимо вводить замедлители схватывания и водоудерживающие добавки.

3. Прочность сцепления с керамическим кирпичом у составов с 30 и 40 % содержания ССК удовлетворяет требованиям ГОСТ 58279–2018 и находится в интервале 0,44–0,69 МПа. Повышение содержания ССК до 50 % значительно снижает прочность сцепления с основанием гипсовой смеси до 0,13 МПа. Подобное явление при равной величине водопотребности смеси (НГ = 36) можно объяснить присутствием в смеси ССК достаточно большого количества крупной фракции 2,5–4,0 мм, которое значительно затрудняет сцепление гипсовой смеси с керамическим кирпичом. Снижение содержания ССК в смеси уменьшает и количество крупной фракции, что улучшает сцепляемость смеси с основанием.

4. Повышение содержания ССК в составе смеси с 30 до 50 % обеспечивает снижение теплопроводности затвердевшего гипсового раствора с 0,279 до 0,209 Вт/(м·°С). Подобная динамика изменения величины теплопроводности объясняется высокопористой структурой ССК и свидетельствует об улучшении теплоизоляционных свойств гипсовой смеси.

5. Присутствие добавки ССК в составе смеси способствует повышению величины водопоглощения затвердевшего гипсового раствора с 13 до 20 %, что обусловлено накоплением влаги в открытых порах ССК.

6. По мере увеличения содержания ССК в составе смеси до 50 % предел прочности на растяжение при изгибе и сжатии, а также коэффициент конструктивного качества затвердевшего раствора уменьшаются. Максимальный коэффициент конструктивного качества (13,47) при обеспечении прочности при сжатии 15,85 МПа показал состав, в котором количество ССК составляет 30 % от массы гипсового вяжущего. В целом прочностные показатели полностью удовлетворяют требованиям, предъявляемым ГОСТ 58279–2018.

### **Заключение**

Результаты исследования показали, что путем введения стеклосодержащей добавки возможно повысить водостойкость гипсового вяжущего и улучшить прочностные характеристики камня строительного гипса. Наибольший прирост прочности обеспечивает введение фр. 0,14–1,25 мм в количестве 5–15 % по массе, а наилучшие результаты по повышению водостойкости гипсового вяжущего достигаются за счет введения фр. 0,063–0,14 мм, содержание которых также составляет 5–15 % по массе. Таким образом, существуют определенные предпосылки по объединению используемых фракций ССК для разработки составов сухих гипсовых теплоизоляционных смесей.

По результатам определения свойств сухих, растворных и затвердевших гипсовых смесей можно заключить, что эффективными с точки зрения сочетания физико-механических и теплоизоляционных свойств являются составы с содержанием ССК в количестве 30 и 40 % от массы вяжущего. Однако необходима модификация данных составов путем введения различных замедлителей схватывания, водоудерживающих и пластифицирующих добавок.

В целом данное исследование показало эффективность применения стеклосодержащего компонента для разработки составов сухих строительных гипсовых смесей теплоизоляционного назначения, что является предметом дальнейших исследований.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Самигов Н.А., Атакузиев Т.А., Асаматдинов М.О., Ахунджанова С.М. Физико-химическая структура и свойства водостойких и высокопрочных композиционных гипсовых материалов // *Universum: технические науки*. 2015. № 10 (21). С. 4.
2. Халиуллин М.И., Гайфуллин А.Р. Повышение водостойкости материалов на основе строительного гипса введением комплексной добавки с применением промышленных отходов // *Актуальные проблемы современной науки, техники и образования*. 2013. № 71. С. 214–217.
3. Pedreño-Rojas M.A., Morales-Conde M.J. et al. Influence of polycarbonate waste on gypsum composites: Mechanical and environmental study // *Journal of Cleaner Production*. 2019. May. V. 218. P. 21–37.
4. Hroudova J., Sedlmajer M. et al. Laboratory Testing of Developed Thermal Insulation Plasters on Pillars Built from Masonry Bricks // *Procedia Engineering*. 2017. V. 172. P. 377–384.
5. Халиуллин М.И., Рахимов Р.З., Гайфуллин А.Р. Сухие строительные смеси на основе композиционных гипсовых вяжущих // *Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета*. 2015. № 1 (31). С. 153–159.
6. Ayse Bicer, Filiz Kar. Thermal and mechanical properties of gypsum plaster mixed with expanded polystyrene and tragacanth // *Thermal Science and Engineering Progress*. 2017. March. V. 1. P. 59–65.
7. Сопегин Г.В., Рустамова Д.Ч., Федосеев С.М. Анализ существующих технологических решений производства пеностекла // *Вестник МГСУ*. 2019. Т. 14. № 12. С. 1584–1609.
8. Шаленный В.Т., Смирнов Л.Н., Древетняк О.И. Повышение эффективности и конкурентоспособности применения пеностекла в штукатурных теплоизоляционных системах // *Кровельные и теплоизоляционные материалы*. 2018. № 3. С. 14–19.
9. Карпенко М.А., Тихомирова И.Н. Оптимизация составов теплоизоляционного материала на основе гранулированного пеностекла // *Успехи в химии и химической технологии*. 2018. Т. 32. № 2 (198). С. 86–88.
10. Bumanisa G., Bajarea D. et al. Alkali-silica reactivity of foam glass granules in structure of lightweight concrete // *Construction and Building Materials*. 2013. October. V. 47. P. 274–281.
11. Сопегин Г.В., Семейных Н.С. Исследование влияния комплексной добавки на течение щелочно-силикатной реакции в легких бетонах на основе гранулированного пеностекла // *Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Прикладная экология. Урбанистика*. 2018. № 3 (31). С. 68–78.
12. Elisa Fenoglio, Stefano Fantucci et al. Hygrothermal and environmental performance of a perlite-based insulating plaster for the energy retrofit of buildings // *Energy and Buildings*. 2018. November V. 179. P. 26–38.
13. Беседин И.А. Новые теплоизоляционные материалы. Теплоизоляционная штукатурка «УМКА.ру» // *Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века*. 2011. № 7 (150). С. 16–17.
14. Власова Е.Н., Овчинникова М.С. Анализ развития рынка сухих строительных смесей // *Наука молодых – будущее России : сб. научных статей 4-й Международной конференции перспективных разработок молодых ученых*. 2019. С. 61–64.

15. Корнеев В.И., Зозуля П.В., Медведева И.Н., Богоявленская Г.А., Нуждина Н.И. Рецептурный справочник по сухим строительным смесям. Санкт-Петербург : РИА «Квинтет», 2010. 318 с.
16. Гайфуллин А.Р., Халиуллин М.И., Рахимов Р.З. Строительный гипс с добавками керамзитовой пыли // Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. 2012. № 2 (20). С. 166–171.

#### REFERENCES

1. Samigov N.A., Atakuziev T.A., Asamatdinov M.O., Akhundzhanova S.M. Fiziko-khimicheskaia struktura i svoystva vodostoikikh i vysokoprochnykh kompozitsionnykh gipsovykh materialov [Physical and chemical structure and characteristics of water-resistant and high-strength composite gypsum binders]. *Universum: tekhnicheskie nauki*. 2015. No. 10 (21). Pp. 4. (rus)
2. Khaliullin M.I., Gaifullin A.R. Povyshenie vodostoikosti materialov na osnove stroitel'nogo gipsa vvedeniem kompleksnoi dobavki s primeneniem promyshlennykh otkhodov [Improving water resistance of gypsum-based materials by introducing industrial waste-based complex additive]. *Aktual'nye problemy sovremennoi nauki, tekhniki i obrazovaniia*. 2013. No. 71. Pp. 214–217. (rus)
3. Pedreño-Rojas M.A., Morales-Conde M.J., et al. Influence of polycarbonate waste on gypsum composites: Mechanical and environmental study. *Journal of Cleaner Production*. 2019. V. 218. Pp. 21–37.
4. Hroudova J., Sedlmajer M., et al. Laboratory testing of developed thermal insulation plasters on pillars built from masonry bricks. *Procedia Engineering*. 2017. V. 172. Pp. 377–384.
5. Khaliullin M.I., Rakhimov R.Z., Gaifullin A.R. Sukhie stroitel'nye smesi na osnove kompozitsionnykh gipsovykh viazhushchikh [Dry mixes based on composite gypsum binders]. *Izvestiia Kazanskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta*. 2015. No. 1 (31). Pp. 153–159. (rus)
6. Ayse Bicer, Filiz Kar. Thermal and mechanical properties of gypsum plaster mixed with expanded polystyrene and tragacanth. *Thermal Science and Engineering Progress*. 2017. V. 1. Pp. 59–65.
7. Sopegin G.V., Rustamova D.Ch., Fedoseev S.M. Analiz sushchestvuiushchikh tekhnologicheskikh reshenii proizvodstva penostekla [Analysis of existing technological solutions of foam glass production]. *Vestnik MGSU*. 2019. No. 12. Pp. 1584–1609. (rus)
8. Shalennyi V.T., Smirnov L.N., Drevetniak O.I. Povyshenie effektivnosti i konkurentosposobnosti primeneniia penostekla v shtukaturnykh teploizoliatsionnykh sistemakh [Improving the efficiency and competitiveness of foam glass use in plaster insulation systems]. *Krovel'nye i teploizoliatsionnye materialy*. 2018. No. 3. Pp. 14–19. (rus)
9. Karpenko M.A., Tikhomirova I.N. Optimizatsiia sostavov teploizoliatsionnogo materiala na osnove granulirovannogo penostekla [Optimization of compositions of heat-insulating material based on granulated foam glass]. *Uspekhi v khimii i khimicheskoi tekhnologii*. 2018. No. 2(198). Pp. 86–88. (rus)
10. Bumanisa G., Bajarea D., et al. Alkali-silica reactivity of foam glass granules in structure of lightweight concrete. *Construction and Building Materials*. 2013. V. 47. Pp. 274–281.
11. Sopegin G.V., Semeinykh N.S. Issledovanie vliianiia kompleksnoi dobavki na techenie shchelochno-silikatnoi reaktsii v legkikh betonakh na osnove granulirovannogo penostekla [The influence of complex additive on alkali-silica reaction in lightweight concrete based on granulated foam glass]. *Vestnik Permskogo natsional'nogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Prikladnaia ekologiia. Urbanistika*. 2018. No. 3 (31). Pp. 68–78. (rus)
12. Elisa Fenoglio, Stefano Fantucci, et al. Hygrothermal and environmental performance of a perlite-based insulating plaster for the energy retrofit of buildings. *Energy and Buildings*. 2018. V. 179. Pp. 26–38.
13. Besedin I.A. Novye teploizoliatsionnye materialy. Teploizoliatsionnaia shtukaturka «UMKA.ru» [New thermal insulation materials. Thermal insulating plaster "UMKA.ru"]. *Stroitel'nye materialy, oborudovanie, tekhnologii XXI veka*. 2011. No. 7 (150). Pp. 16–17. (rus)
14. Vlasova E.N., Ovchinnikova M.S. Analiz razvitiia rynka sukhikh stroitel'nykh smesei [Analysis of the development of the market of dry building mixes]. In: *Nauka molodykh – budushchee*

- Rossii. Sbornik nauchnykh statei 4-i Mezhdunarodnoi konferentsii perspektivnykh razrabotok molodykh uchenykh (*Int. Sci. Forum 'Science of the Future – Science of Youth'*). 2019. Pp. 61–64. (rus)
15. *Korneev V.I., Zozulia P.V., Medvedeva I.N., Bogoiavlenskaia G.A., Nuzhdina N.I.* Retsepturnyi spravochnik po sukhim stroitel'nym smesiam [Prescription guide for dry building mixes]. Saint-Petersburg: Kvintet, 2010. 318 p. (rus)
  16. *Gaifullin A.R., Khaliullin M.I., Rakhimov R.Z.* Stroitel'nyi gips s dobavkami keramzitovoi pyli [Gypsum building plaster with expanded clay additives]. *Izvestiia Kazanskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta*. 2012. No.2 (20). Pp. 166–171. (rus)

#### **Сведения об авторах**

*Сопегин Георгий Владимирович*, аспирант, ассистент, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, 614990, г. Пермь, пр. Комсомольский, 29, sp.georg@yahoo.com

*Семейных Наталья Сергеевна*, канд. техн. наук, доцент, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, 614990, г. Пермь, пр. Комсомольский, 29, semeyn@mail.ru

*Рустамова Диана Чингизовна*, магистрант, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, 614990, г. Пермь, пр. Комсомольский, 29, diana.rustamova81@gmail.com

#### **Authors Details**

*Georgii V. Sopenin*, Research Assistant, Perm National Research Polytechnic University, 29, Komsomol'skii Ave., 614990, Perm, Russia, sp.georg@yahoo.com

*Natal'ya S. Semeynykh*, PhD, A/Professor, Perm National Research Polytechnic University, 29, Komsomol'skii Ave., 614990, Perm, Russia, semeyn@mail.ru

*Diana Ch. Rustamova*, Undergraduate, Perm National Research Polytechnic University, 29, Komsomol'skii Ave., 614990, Perm, Russia, diana.rustamova81@gmail.com

УДК 691.542

DOI: 10.31675/1607-1859-2020-22-5-139-152

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

## **ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ КОМПЛЕКСНОЙ ПОЛИФУНКЦИОНАЛЬНОЙ ДОБАВКИ НА ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЦЕМЕНТНОГО КАМНЯ И БЕТОНА**

Современные научные разработки в строительном материаловедении в области рецептуры и технологии производства мелкозернистого бетона направлены на формирование в них структуры и свойств, обеспечивающих необходимые эксплуатационные характеристики. Анализ литературных и экспериментальных данных по способам воздействия на бетон позволил предположить, что достичь требуемых показателей качества бетонов возможно изменением компонентного состава бетонной смеси, активацией заполнителя и воды затворения, введением модифицирующих добавок полифункционального действия, различными технологическими приемами и т. д. В работе представлены результаты исследований, связанных с разработкой эффективной полифункциональной добавки (ПД), состоящей из отходов производства мрамора-микрокальцита (МСа), нанодиоксида кремния ( $\text{SiO}_2$ ), микрокремнезема (МК) и термомодифицированного торфа при  $600^\circ\text{C}$  (МТ-600). Изучено ее влияние на свойства цементного камня и бетона. Показано, что введение полифункциональной добавки в количестве 5 %, при снижении расхода цемента, позволяет увеличить прочность на сжатие цементного камня до 69 %. С помощью физико-химических методов анализа определен состав новообразований модифицированного цементного камня.

**Ключевые слова:** микрокальцит; отходы производства; микрокремнезем; нанодиоксид кремния; МТ-600; цементные композиции.

**Для цитирования:** Демьяненко О.В., Куликова А.А., Копаница Н.О. Оценка влияния комплексной полифункциональной добавки на эксплуатационные характеристики цементного камня и бетона // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2020. Т. 22. № 5. С. 139–152. DOI: 10.31675/1607-1859-2020-22-5-139-152

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

## **THE EFFECT OF COMPLEX MULTI-PURPOSE ADDITIVE ON OPERATING PROPERTIES OF HYDRATED CEMENT AND CONCRETE**

The research developments in materials science in the construction field concerning the formulation and production process of fine-grain concrete are aimed at the formation of structure and properties that provide the appropriate performance characteristics. The literature review and experimental data on the concrete treatment made show that the required quality of concrete can be achieved by changing the concrete mixture composition, activation of aggregate and mixing water, introduction of multi-purpose modifying additives, different approaches, etc. The paper presents the development of the effective multi-purpose additive consisting of such industrial wastes as marble-microcalcite, nano silicon dioxide, microsilica, and peat thermally modified at  $600^\circ\text{C}$ . The influence of this additive on hydrated cement and concrete properties is studied herein. It is shown that the introduction of the multi-purpose additive in an amount of 5 % with a decrease in the cement consumption, improves the compressive

strength of hydrated cement stone up to 69 %. The chemical composition of new formations of modified hydrated cement is determined by the physicochemical analysis.

**Keywords:** microcalcite; industrial waste; microsilica; nano silicon dioxide; cement composition.

**For citation:** Dem'yanenko O.V., Kulikova A.A., Kopanitsa N.O. Otsenka vliyaniya kompleksnoi polifunktsional'noi dobavki na ekspluatatsionnye kharakteristiki tsementnogo kamnya i betona [The effect of complex multi-purpose additive on operating properties of hydrated cement and concrete]. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture. 2020. V. 22. No. 5. Pp. 139–152.

DOI: 10.31675/1607-1859-2020-22-5-139-152

### Введение

Для разработки эффективных полифункциональных добавок необходимо подобрать их вещественный состав так, чтобы каждый из компонентов улучшал или дополнял свойства предыдущего. Для создания материала с улучшенными или новыми свойствами и функциями в работе применялся подход «снизу-вверх», или «формирование молекулярного ансамбля», понятие, предложенное Эриком Дрекслером и другими авторами в работе [1]. Предполагается, что композиционные материалы выстраиваются из компонентов различного состава и дисперсности путем сборки или самосборки, начиная с наноразмеров.

На рис. 1 представлена модель формирования вещественного состава комплексной модифицирующей добавки, в соответствии с научной гипотезой, в табл. 1 представлены характеристики, приобретаемые цементным камнем с появлением каждого компонента добавки. Ранее проведенные исследования [2, 3–8, 11] позволяют предполагать, что, используя в полифункциональной добавке предложенные вещества в комплексе с  $\text{nano-SiO}_2$ , можно добиться синергетического эффекта влияния на свойства цементного камня (ЦК) за счет их физико-химического взаимодействия. Совместимость комплексной добавки с цементным камнем зависит от совместимости каждого компонента с вяжущим по отдельности.

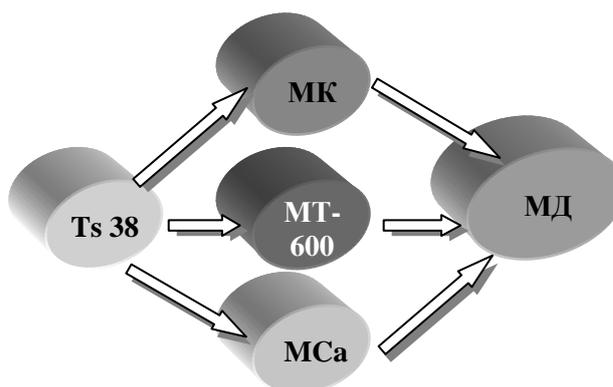


Рис. 1. Модель формирования вещественного состава комплексной полифункциональной добавки для мелкозернистого бетона

Таблица 1

**Формирование характеристик цементного камня  
с различными компонентами добавки**

Компонент добавки				Характеристики цементного камня (ЦК)
нано-	микро-			
SiO <sub>2</sub>	MT-600	МСа	МК	
+				Повышение прочности ЦК
+			+	Повышение прочности ЦК, плотная упаковка структуры ЦК, повышение морозостойкости
+	+			Снижение водопотребности за счет гидрофобности добавки, повышение водонепроницаемости, увеличение адгезии к основанию
+		+		Повышение прочности ЦК, снижение расхода цемента, формирование дополнительного объема продуктов гидратации ЦК при взаимодействии с SiO <sub>2</sub>
+	+	+	+	Повышение прочности ЦК, водонепроницаемости, морозостойкости, снижение расхода цемента без снижения физико-механических характеристик ЦК, формирование дополнительного объема продуктов гидратации ЦК при взаимодействии с SiO <sub>2</sub> , обеспечение плотной упаковки в структуре ЦК

На первом этапе исследовалось влияние наноразмерных частиц SiO<sub>2</sub> на свойства цементного камня. При введении наночастиц предположительно будет повышаться прочность цементного камня за счет активации процессов формирования структуры цементного камня на наномасштабном уровне. Микроразмерные компоненты с нано-SiO<sub>2</sub>, в зависимости от условий происхождения, улучшают свойства ЦК (морозостойкость, прочность, адгезию, водонепроницаемость и др). Термомодифицированная органоминеральная добавка MT-600 с нано-SiO<sub>2</sub> предположительно будет повышать адгезию к основанию, водонепроницаемость, снижать водопотребность за счет гидрофобности добавки. Добавка микрокальцита с нано-SiO<sub>2</sub> позволит повысить прочность ЦК при снижении расхода цемента за счет формирования дополнительного объема продуктов гидратации ЦК при взаимодействии с CaO и SiO<sub>2</sub>. Добавка микрокремнезема, являясь веществом с высокой пуццолановой активностью, оказывает влияние на свойства как цементного теста, так и цементного камня. При введении МК с нано-SiO<sub>2</sub> в вяжущее увеличится прочность и морозостойкость ЦК за счет уплотнения структуры ЦК и взаимодействия частиц добавки с продуктами гидратации цементного вяжущего. Усиливающий эффект взаимодействия двух и более компонентов добавки характеризуется тем, что совместное действие этих факторов существенно превосходит полученные характеристики каждого компонента по отдельности. При разработке полифункциональной добавки все компоненты соединяются для достижения синергетического эффекта. Сферическая форма частиц добавки приводит к улучшению когезионных свойств цементного теста. Различ-

ные размеры частиц комплексной добавки позволяют заполнить объем между грубодисперсными частицами цемента. Высокая удельная поверхность компонентов добавки стимулирует образование многочисленных коагуляционных контактов, сокращая объем свободной воды.

**Цель исследования:** разработать эффективную полифункциональную добавку для цементного камня и бетона и изучить ее влияние на физико-механические и физико-химические свойства цементного камня.

### Материалы и методы

Для исследований были использованы следующие материалы:

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

б) вода затворения (ГОСТ 23732–2011);

в) компоненты полифункциональной 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  $2 \text{ м}^2/\text{г}$ ; наномодификатор – диоксид кремния Ts38. Наноразмерный диоксид кремния (Таркосил) получен способом испарения вещества под действием электронного пучка, создаваемого электронным ускорителем, получил название Ts. Удельная поверхность  $38 \text{ м}^2/\text{г}$  [10].

В работе использовали микрокремнезем конденсированный МК-85, который является отходом производства Братского алюминиевого завода (БрАЗ) по ТУ 5743-007-99958856–2014, ежегодный выход которого достигает 30 тыс. т. Микрокремнезем (МК) – это тонкодисперсный порошок, является продуктом ферросплавного производства, образующийся в процессе выплавки ферросилиция и его сплавов в результате восстановления углеродом кварца высокой чистоты в электропечах. В процессе выплавки кремниевых сплавов некоторая часть монооксида кремния SiO переходит в газообразное состояние и, подвергаясь окислению и конденсации, образует чрезвычайно мелкий продукт в виде шарообразных частиц с высоким содержанием аморфного кремнезема со средней удельной поверхностью  $20 \text{ м}^2/\text{г}$ , средний размер частиц  $0,2 \text{ мкм}$ .

Разработанная авторами добавка МТ-600, полученная методом термоактивации торфа без доступа воздуха, запатентована в ТГАСУ [9]. Различные методы переработки торфа позволяют направленно изменять состав и структуру торфяного сырья путем внешнего воздействия на различные группы органических и минеральных соединений, что дает возможность получать продукцию широкого ассортимента, в том числе и модифицирующие добавки различного функционального назначения с заданными составом и свойствами. В работе использован низинный торф Гусевского месторождения. Свойства торфа представлены в табл. 2.

Исследования проведены на образцах-кубиках размером  $20 \times 20 \times 20 \text{ мм}$  из цементного теста нормальной плотности по ГОСТ 31108–2016, образцы твердели в воздушно-влажных условиях ( $T = 18\text{--}20 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $W = 90\text{--}100 \%$ ) и испытывались на прочность в 3, 7 и 28 сут по ГОСТ 310.1–76 «Цементы. Методы испытаний».

Общие положения». Образцы твердели в нормальных условиях при температуре  $(20 \pm 2)$  °С и влажности 95–98 % в ванне гидравлическим затвором. Фазовый состав образцов исследовался на дифрактометре XRD-6000 (Shimadzu, Япония) на CuK $\alpha$ -излучении. Анализ фазового состава проведен с использованием баз данных PCPDFWIN и PDF-4+, а также программы полнопрофильного анализа POWDERCELL 2.5. Электронно-микроскопический анализ и анализ элементного состава добавок осуществлялся с помощью растрового электронного микроскопа JEOL JSM 6000 в режимах обратно рассеянных и вторичных электронов и режиме элементного анализа. Для исследования процесса гидратации и изменений гидратных новообразований цементного камня проводился термографический анализ порошка цементного камня. Дериватографический анализ осуществлялся с использованием прибора STA 449 F3 Jupiter.

Таблица 2

#### Основные физико-технические характеристики торфа

Месторождение	Вид торфа	Зольность, %	Степень разложения, %	Влажность, %	pH
Гусевское	Низинный	26–28	25–30	18,5	7,1–7,5

#### Обсуждение результатов

Ранее проведенные исследования по оценке влияния наноразмерных частиц на свойства цементного камня [12] показали эффективность применения нано-SiO<sub>2</sub>. В работе были приведены и обобщены результаты исследований по влиянию структурных характеристик нано-SiO<sub>2</sub>, способов получения наноразмерных частиц, а также условий их введения в цементную матрицу на физико-механические свойства ЦК. Выявлено, что введение добавки Ts38 обеспечивает прирост прочности ЦК, по сравнению с контрольным образцом (до 50 %) при концентрации 0,03 % от массы цемента в 28-суточном возрасте твердения.

При производстве мелкозернистых бетонов актуальной является проблема увеличения расхода цемента, по сравнению с крупнозернистым, что приводит к повышению водоцементного отношения и, как следствие, снижению морозостойкости и водонепроницаемости. В работах [13–15] приводятся данные о микро- и макронеоднородности структуры, наблюдаемой в контактной зоне цемента и заполнителя в бетоне (повышенное содержание пор, трещин в структуре цементного камня). Таким образом, вопросы формирования плотной и однородной структуры бетона остаются актуальной проблемой.

Формирование плотной и прочной упаковки компонентов в структуре цементного камня может достигаться путем выстраивания его структуры «снизу-вверх», что предполагает введение в цементную систему частиц, меньших, чем вяжущее по размеру, и крупнее, чем наночастицы.

Для построения структуры цементного камня по принципу «снизу-вверх» в работе была предложена его физическая модель (рис. 2), в которой представленные в качестве компонентов добавки вещества отличаются не только по химическому составу, но и по удельной поверхности и размерам частиц.

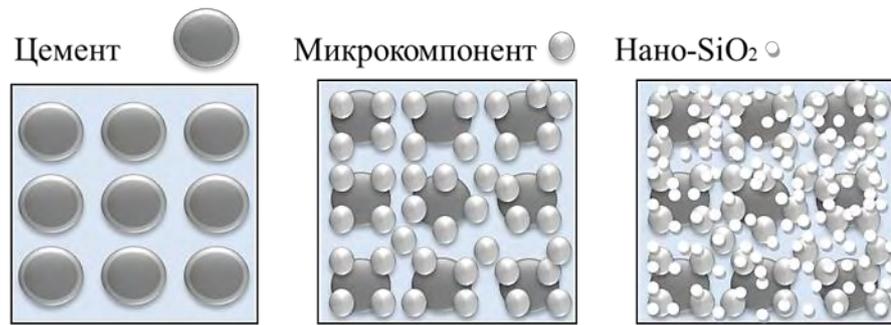


Рис. 2. Модель структуры цементного камня

В статьях [3–7, 12, 13] представлены результаты исследований, где в качестве микронаполнителей было предложено использовать МК, МСа, МТ-600. В исследованиях была установлена эффективность влияния совместного применения микронаполнителей с наноразмерным диоксидом кремния на свойства цементного камня. При введении микрокальцита в цементную композицию в количестве 5 % от массы цемента прочность цементного камня в 28 сут увеличилась на 45 %, при введении микрокремнезема – на 52 %, МТ-600 – на 41 %, по сравнению с контрольным образцом.

Таким образом, представленные результаты исследований показали возможность эффективного улучшения при введении предложенных модифицирующих добавок различных свойств ЦК, но при этом не изучена возможность объединения всех ранее обоснованных и исследуемых компонентов в полифункциональную добавку для обеспечения формирования более полного набора свойств ЦК.

Состав полифункциональной добавки определялся исходя из критерия обеспечения максимальной прочности, водонепроницаемости, морозостойкости и минимальной пористости бетона. Для определения состава комплексной полифункциональной добавки были выбраны следующие компоненты: микрокальцит (МСа), микрокремнезем (МК), термомодифицированный торф (МТ-600), наноразмерный диоксид кремния (Ts38).

Ранее проведенными экспериментальными исследованиями было показано, что сочетание комплексной добавки МК+Ts38 уплотняет и упрочняет структуру цементного камня, но остаются нерешенными вопросы по оптимизации порового пространства и водопотребности цементного камня. Введение МТ-600+ Ts38 обеспечивает затягивание пор и уплотняет структуру ЦК, но добавки МТ-600 недостаточно для получения высококачественного бетона. Совместное действие МСа + Ts38 обеспечивает сохранение эксплуатационных характеристик при 5 % снижении расхода портландцемента. Все три разработанные комплексные добавки могут быть рекомендованы для их применения в производстве бетонных смесей, растворов и сухих строительных смесей, но современное состояние науки и жесткие требования потребителей бетонов заставляют искать новые подходы к разработке и производству модифицирующих добавок. Так как во всех случаях прочность модифицированных образцов превышала прочность контрольного, то значительный интерес

представляет исследование совместного действия всех компонентов комплексных добавок на физико-механические характеристики ЦК.

Для обеспечения повышения эффективности воздействия на основные характеристики цементного камня были проведены исследования по возможности получения комплексной полифункциональной добавки, включающей все ранее исследуемые в работе компоненты.

Для решения этой задачи составы добавки подбирались двумя способами: стехиометрически и экспериментально.

1. Состав: стехиометрически: МК – 14,4 %; МР – 80 %; МТ-600 – 5 %; Тs38 – 0,6 %.

Соотношения, в которых, согласно законам стехиометрии, вступают в реакцию вещества, называют стехиометрическими, так же называют соответствующие этим законам соединения. В стехиометрических соединениях химические элементы присутствуют в строго определённых соотношениях.

2. Состав: экспериментально: МК – 45,2 %; МР – 45,1 %; МТ-600 – 9,1 %; Тs38 – 0,6 %.

Исходя из принятой в работе гипотезы для образования низкоосновных гидросиликатов кальция на микроуровне необходимо присутствие CaO и SiO<sub>2</sub> в определенном соотношении, именно поэтому оптимальное соотношение МК и МСа брали одинаковым (45 % из расчета на 100 % добавки). Содержание МТ-600 в добавке дополнительно связывает портландит в стабильные гидроалюминаты кальция, т. к. содержит органоминеральные комплексы, активно принимающие участие в процессах гидратации и структурообразования ЦК, Тs38 ускоряет физико-химические процессы, происходящие на наноуровне.

Комплексная добавка готовилась путем смешивания компонентов в смесителе интенсивного действия с последовательной загрузкой компонентов, начиная с самой крупной фракции: микрокальцит, микрокремнезем, МТ-600 и Тs38. Общее время перемешивания составляло 20 мин. В процессе смешивания происходит домол крупных фракций с одновременной совместной активацией всех компонентов добавки и цемента. В табл. 3 представлен элементный состав компонентов добавки.

Таблица 3

Состав компонентов добавки

Наименование	Микрокремнезем	Микрокальцит	Тs38	МТ-600
SiO <sub>2</sub>	+	+	+	+
CaO		+		+
Al	+			+
С	+	+		+
MgO	+	+		+

Из данных, приведенных в табл. 3, видно, что элементный состав всех 4 компонентов комплексной добавки качественно совпадает.

Для исследования прочностных свойств цементного камня с разработанными полифункциональными добавками были изготовлены образцы цементного камня размером 20×20×20 мм, которые твердели в нормальных условиях и испытывали на прочность в 3, 7, 28, 120 сут твердения.

Анализ данных, представленных на рис. 3, подтвердил, что наиболее эффективным составом комплексной добавки является: МК – 45,2 %; МСа – 45,1 %; МТ-600 – 9,1 %; Ts38 – 0,6 %, добавляемый в цементное тесто в количестве 5 %, что согласуется с данными цемент-прогноза. Введение полифункциональной добавки (ПД) повышает прочность цементного камня на 38 % (3 сут твердения), в 7 сут – до 29 %, в поздние сроки твердения (28 сут) – на 83 %, в 120 сут – на 74 %, по сравнению с контрольным образцом. Удельная поверхность разработанной добавки  $S_{уд} = 2,528 \text{ м}^2/\text{г}$ , что близко к значению удельной поверхности микрокремнезема. Для выявления закономерностей, происходящих при гидратации и структурообразовании модифицированного ПД ЦК, был проведен комплекс физико-химических исследований. Для установления разницы температур во времени при твердении портландцемента между эталонным образцом (сухая проба модифицированного цемента) и увлажненным (та же проба, но с водой затворения) были проведены исследования на дифференциальном микрокалориметре. На рис. 4 представлен график, показывающий характер изменения разницы температур при твердении цемента в течение 2 сут.

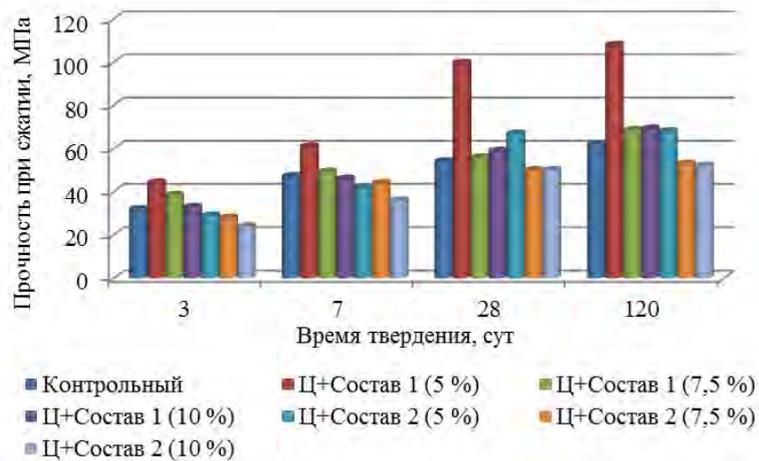


Рис. 3. Кинетика набора прочности при сжатии ЦК с исследуемыми добавками



Рис. 4. Тепловыделение цемента при смачивании

Первый пик (2 ч) у образцов соответствует индукционному периоду гидратации и практически совпадает с незначительным изменением разницы температуры, равной 0,15 градусов. У контрольного образца цементного камня запас энергии на кристаллизационный период достигает 22 ч, у образца с исследуемой добавкой – более высокий запас энергии, который интенсифицирует процессы кристаллизации в ЦК с изменением первичных продуктов гидратации (26–29 ч) (гидроксид кальция, эттрингит и гелеобразные гидросиликаты кальция). В процессе кристаллизации продуктов гидратации цементного камня кристаллическая структура этих соединений совершенствуется, портландит и эттрингит образуют первичный кристаллический каркас цементного камня, а гидросиликаты кальция заполняют поровое пространство кристаллического каркаса.

Для изучения фазовых превращений, происходящих в цементной системе, и оценки потери химически связанной воды в интервале температур от 0 до 1000 °С проводился дериватографический анализ (ДТА). На рис. 5 представлена дериватограмма модифицированного образца цементного камня с кривыми изменения массы (ТГ) и тепловых эффектов (ДСК).

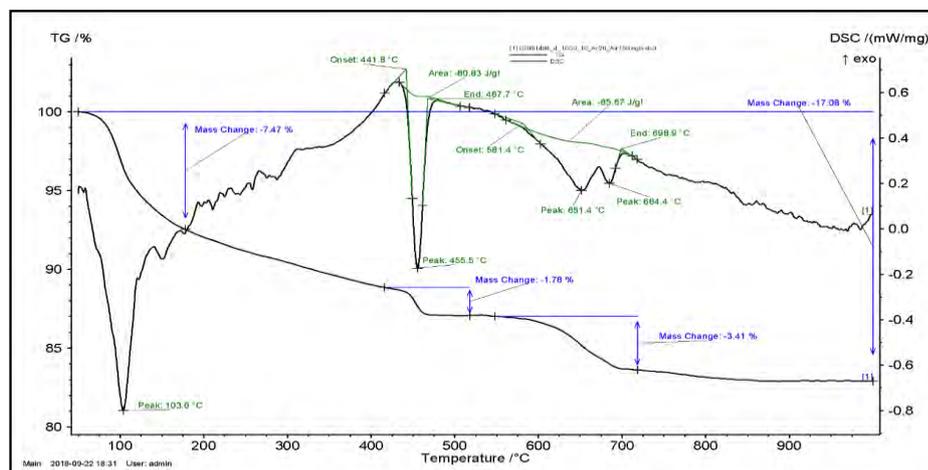


Рис. 5. Дериватограмма образца цементного камня, модифицированного комплексной полифункциональной добавкой

На дериватограмме (рис. 5) цементного камня с добавкой ПМД к 28 сут твердения зафиксированы эндозффекты при 90–110 °С, что соответствует потере свободной воды, эндозффект при 440–487 °С относится к разложению гидроксида кальция образованием низкоосновных ГСК типа С-S-N(I) и  $C_3S_6H_6$ , эндозффект при 581–698 °С, соответствующий дегидратации высокоосновных гидросиликатов кальция (ГСК). Введение ПД приводит к изменению фазового состава цементного камня с формированием структуры в основном из низкоосновных ГСК и стабильных гидроалюминатов кальция –  $C_3AH_6$  (эндозффект при 455 °С) и  $CAH_{10}$ , которые не подвергаются процессам перекристаллизации и способствуют повышению прочности цементного камня.

Для изучения влияния исследуемых добавок на процессы гидратации и структурообразования ЦК, а также выявления в нем новых фаз проведен рентгенофазовый анализ модифицированных образцов цементного камня. На рис. 6 представлена рентгенограмма исследуемого образца модифицированного цементного камня.

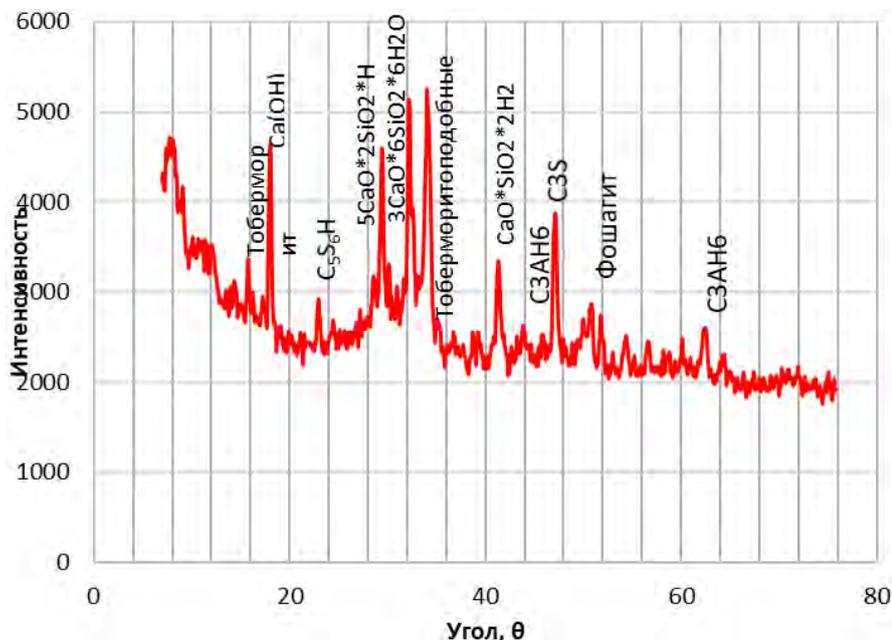


Рис. 6. Рентгенофазовый анализ цементного камня, модифицированного комплексной полифункциональной добавкой

Из результатов рентгенограммы видно, что введение комплексной полифункциональной добавки способствует формированию в цементном камне стабильных гидроалюминатов кальция типа  $C_3AH_6$  ( $d/n = 2,07; 1,68 \cdot 10^{-10}$  м), низкоосновных гидросиликатов кальция: тоберморит и тоберморитоподобные соединения ( $d/n = 5,61; 2,62 \cdot 10^{-10}$  м),  $5CaO \cdot 2SiO_2 \cdot H_2O$  ( $d/n = 3,02 \cdot 10^{-10}$  м),  $3CaO \cdot 6SiO_2 \cdot 6H_2O$  ( $d/n = 2,77 \cdot 10^{-10}$  м),  $CaO \cdot SiO_2 \cdot 2H_2O$  ( $d/n = 2,17 \cdot 10^{-10}$  м),  $C_3S$  ( $d/n = 1,92 \cdot 10^{-10}$  м),  $C_5S_6H_5$  ( $d/n = 3,34 \cdot 10^{-10}$  м), фошагит ( $d/n = 1,79 \cdot 10^{-10}$  м), значительно улучшающих физико-механические характеристики цементного камня. Данное соотношение «добавка-цемент» способствует аморфизации структуры цементного камня, что подтверждается на рентгенограммах повышенным фоном в области малых углов и снижением интенсивности пиков кристаллических фаз. По результатам качественного рентгенофазового анализа установлено, что при введении ПМД в портландцементе снижается интенсивность пиков  $Ca(OH)_2$ , что может говорить о связывании его в гидросиликаты кальция, что подтверждает наличие дополнительных пиков на рентгенограммах.

Для подтверждения полученных результатов по формированию структуры ЦК с комплексной полифункциональной добавкой проводили электронно-микроскопический анализ (рис. 7–9).



Рис. 7. Электронно-микроскопический снимок контрольного цементного камня:  
а –  $\times 500$ ; б –  $\times 1000$ ; в –  $\times 4000$

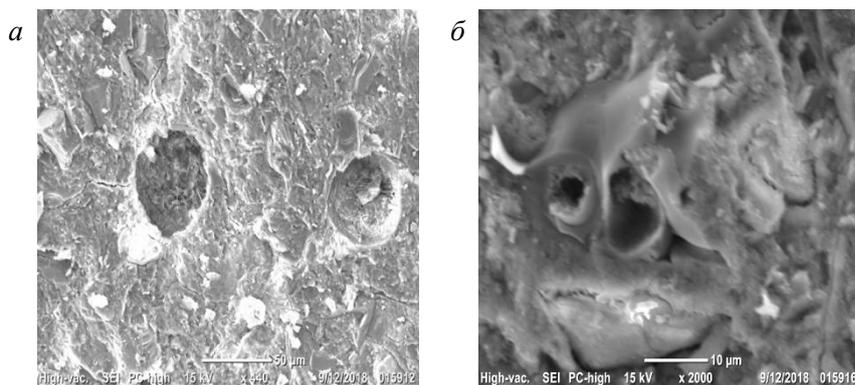


Рис. 8. Электронно-микроскопический анализ модифицированного цементного камня полифункциональной добавкой на поверхности скола:  
а –  $\times 400$ ; б –  $\times 2000$

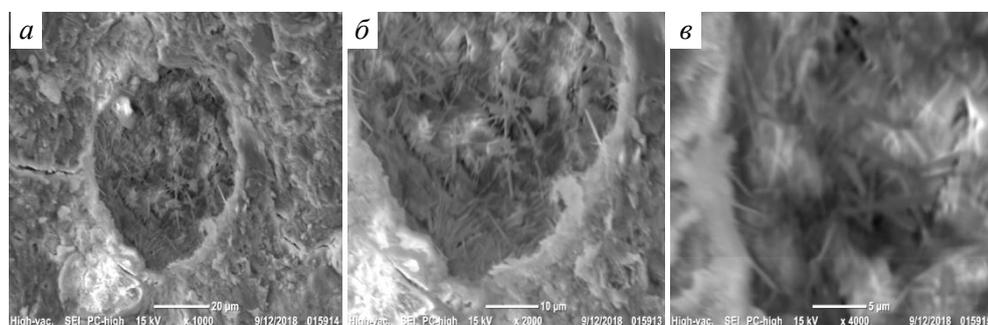


Рис. 9. Электронно-микроскопический анализ модифицированного цементного камня полифункциональной добавкой порового пространства:  
а –  $\times 1000$ ; б –  $\times 2000$ ; в –  $\times 4000$

Методом растровой электронной микроскопии установлено, что структура цементного камня с добавкой отличается от контрольного (бездобавочного) наличием в трещинах и порах дополнительного количества новообразований в виде плотных скоплений волокнистых кристаллов, морфология которых идентична гидросиликатам кальция типа CSH (В). Тогда как контрольный

образец ЦК характеризуется достаточно неоднородной и дефектной структурой с менее закристаллизованным поровым пространством, что обусловлено неравномерным распределением и ростом продуктов гидратации в объеме цементной матрицы.

Проведенные исследования позволили сделать вывод о перспективности и эффективности разработанной комплексной полифункциональной добавки. Все компоненты добавки согласуются друг с другом. Синергизм действия добавки обеспечивает повышенные характеристики качества цементных композиций вместе со снижением стоимости конечного материала за счет использования компонентов местных ресурсов либо отходов камнедробления. Таким образом, введение ПД в состав цементного теста в значительной степени влияет на процессы гидратации клинкерных минералов, изменяя как свойства цементного теста, так и свойства затвердевшего цементного камня. Механизм действия ПД является комплексным, т. к. добавка имеет различные по происхождению и размеру частицы, которые могут выступать в качестве наполнителя, способствовать связыванию портландита в низкоосновные гидросиликаты кальция и стабильные гидроалюминаты кальция, образовывать дополнительные центры кристаллизации. Полученная комплексная добавка обладает синергетическим эффектом влияния на свойства цементного камня, усиливая эффект от действия каждого компонента в отдельности.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Drexler K.E., Peterson C., Pergamit G.* Unbounding the future: the nanotechnology revolution – Свободное будущее: нанотехнологическая революция. New York : William Morrow, 1991.
2. *Демьяненко О.В., Копаница Н.О.* Влияние наночастиц диоксида кремния на эксплуатационные свойства цементных систем // *Материалы II Всероссийской научной конференции молодых ученых с международным участием.* Томск : Томский государственный архитектурно-строительный университет, 2015. С. 408–411.
3. *Копаница Н.О., Саркисов Ю.С., Демьяненко О.В.* Peculiarities of silica additives application in building mixes production // *American Institute of Physics.* 1800. P. 020010.
4. *Копаница Н.О., Саркисов Ю.С., Демьяненко О.В.* Применение нанодispersного кремнезема в производстве строительных смесей // *Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета.* 2016. № 5. С. 140–150.
5. *Космачев П.В., Власов В.А., Копаница Н.О., Скрипникова Н.К., Демьяненко О.В.* Композиционные материалы на основе цемента с нанодispersным диоксидом кремния // *Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета.* 2017. № 4. С. 139–146.
6. *Копаница Н.О., Сорокина Е.А., Демьяненко О.В.* Влияние добавки термомодифицированного торфа на технологические свойства строительных смесей для 3d-печати // *Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета.* 2018. № 4. С. 122–134.
7. *Копаница Н.О., Саркисов Ю.С., Демьяненко О.В., Горшкова А.В.* Цементные композиции, модифицированные комбинированными нанодispersными добавками // *Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета.* 2017. № 4. С. 101–106.
8. *Абзаев Ю.А., Копаница Н.О., Клименов В.А., Саркисов Ю.С., Горленко Н.П., Демьяненко О.В.* Моделирование структурного состояния аморфного таркосила // *Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета.* 2015. № 3 (50). С. 121–133.

9. Пат. № 2576766. Российская Федерация. Способ получения модифицирующей добавки для цементной композиции и цементная композиция / Н.О. Копаница, А.В. Касаткина, О.В. Демьяненко, Ю.С. Саркисов, Н.П. Горленко. Приоритет 21.01.2015.
10. *Advanced Concrete Technology // Constituent Materials* / Ed. J. Newman, B.S. Choo. Elsevier, 2003. 280 p.
11. Горикова А.В. Сухие строительные смеси с модифицирующей добавкой на основе торфа : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. Томск, 2015. 161 с.
12. Демьяненко О.В., Куликова А.А. Эффективность применения микроальцита в производстве цементных композиций на цементной основе // Молодежь, наука, технологии: новые идеи и перспективы (МНТ 2017). Избранные доклады IV Международной научной конференции студентов и молодых ученых. 2017. С. 39–41.
13. Dem'yanenko 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>

## REFERENCES

1. Drexler K.E., Peterson C., Pergamit G. Unbounding the future: the nanotechnology revolution. New York: William Morrow, 1991.
2. Dem'yanenko O.V., Kopanitsa N.O. Vliyanie nanochastich dioksida kremniya na ekspluatatsionnye svoystva cementnykh sistem [Effect of silicon dioxide nanoparticles on operational properties of cement systems]. *Materialy II Vserossijskoj nauchnoj konferencii molodykh uchenykh s mezhdunarodnym uchastiem (Proc. 2nd All-Russ. Sci. Conf. of Young Scientists)*. Tomsk, 2015. Pp. 408–411. (rus)
3. Kopanitsa N.O., Sarkisov Yu.S., Dem'yanenko O.V. Peculiarities of silica additives application in building mixes production. American Institute of Physics. 1800. P. 020010.
4. Kopanitsa N.O., Sarkisov Yu.S., Dem'yanenko O.V. Primenenie nanodispersnogo kremnezema v proizvodstve stroitel'nykh smesey [Nanodispersed silicon dioxide used in the production of mix mortars]. *Vestnik of Tomsk State University of Architecture and Building*. 2016. No. 5. Pp. 140–150. (rus)
5. Kosmachev P.V., Dem'yanenko O.V., Kopanitsa N.O., Skripnikova N.K., Vlasov V.A. Kompozitsionnye 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)
6. Dem'yanenko O.V., Kopanitsa N.O., Sorokina E.A. Vliyanie dobavki termomodifitsirovannogo torfa na tekhnologicheskie svoystva stroitel'nykh smesei dlya 3d-pechati [Performance characteristics of 3D printing construction mixes depending on thermally-modified peat additive]. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture*. 2018. V. 20. No. 4. Pp. 122–134. (rus)
7. Dem'yanenko O.V., Kopanitsa N.O., Sarkisov Yu.S., Gorshkova A.V. Cementnye kompozicii, modifitsirovannye kombinirovannymi nanodispersnymi dobavkami [Cement compositions modified by combined nanodispersed additives]. *Vestnik of Tomsk State University of Architecture and Building*. 2017. No. 4. Pp. 101–106. (rus)
8. Abzaev Yu.A., Kopanitsa N.O., Klimenov V.A., Sarkisov Yu.S., Gorlenko N.P., Dem'yanenko O.V. Modelirovanie strukturnogo sostoyaniya amorfnoho tarkosila [Structural state modeling of amorphous tarkosil]. *Vestnik of Tomsk State University of Architecture and Building*. 2015. No. 3 (50). Pp. 121–133. (rus)
9. Kopanitsa N.O., Kasatkina A.V., Dem'yanenko O.V., Sarkisov Yu.S., Gorlenko N.P. Sposob polucheniya modifitsiruyushchej dobavki dlya cementnoj kompozicii i cementnaya kompoziciya [Production method for modifying additive for cement composition]. Patent Russ. Fed. N 2576766, 2015. (rus)
10. Newman J., Choo B.S. (Eds). *Advanced concrete technology*. In: *Constituent materials*. Elsevier, 2003. 280p. (rus)

11. *Gorshkova A.V.* Suhie stroitel'nye smesi s modifiziruyushchej dobavkoj na osnove torfa. Dis.kand. tekhn.nauk [Dry construction mixtures with peat-based modifying additive. PhD Thesis]. Tomsk, 2015. 161 p. (rus)
12. *Dem'yanenko O.V., Kulikova A.A.* Effektivnost' primeneniya mikrokal'cita v proizvodstve cementnyh kompozicij na cementnoj osnove [Microcalcites in cement-based composition production]. Molodezh', nauka, tekhnologii: novye idei i perspektivy. Izbrannye doklady IV Mezhdunarodnoj nauchnoj konferencii studentov i molodyh uchenyh (*Proc. 1st Int. Sci. Conf. 'Youth, Science, Solutions: Ideas and Prospects'*). 2017. Pp. 39–41. (rus)
13. *Dem'yanenko 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: 10.1088/1755-1315/87/9/092008

#### **Сведения об авторах**

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

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

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

#### **Authors Details**

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

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

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

УДК 533.924

DOI: 10.31675/1607-1859-2020-22-5-153-159

В.А. ВЛАСОВ<sup>1</sup>, П.В. КОСМАЧЕВ<sup>1,2</sup>,<sup>1</sup>Томский государственный архитектурно-строительный университет,<sup>2</sup>Институт физики прочности и материаловедения СО РАН

## МОРФОЛОГИЯ И РАЗМЕРНЫЕ ПАРАМЕТРЫ НАНОЧАСТИЦ ДИОКСИДА КРЕМНИЯ, ПОЛУЧЕННЫХ ПЛАЗМЕННО-ДУГОВЫМ МЕТОДОМ\*

В работе приводятся результаты комплексного исследования морфологии, распределения по размерам, среднего размера, удельной поверхности и степени агломерации наночастиц SiO<sub>2</sub>, полученных по плазменно-дуговой технологии из природного высококремнеземистого сырья (кварцита). Применялись методы динамического рассеяния света, просвечивающей электронной микроскопии, адсорбционный метод. Исследование показало, что при переработке в плазменной установке природного кварцита возможно получать полидисперсные наночастицы диоксида кремния с распределением 10–300 нм, средним размером  $30 \pm 7$  нм, удельной поверхностью  $71 \pm 4$  м<sup>2</sup>/г. При этом частицы склонны к агломерации в среднем по десять частиц. Для исследуемого порошка установлен дзета-потенциал  $-54 \pm 9$  мВ, что является полезным с прикладной точки зрения при планировании многокомпонентных систем на его основе. Исследуемый порошок может применяться в качестве упрочняющей добавки для изготовления строительных материалов с повышенными эксплуатационными характеристиками для создания объектов специального назначения.

**Ключевые слова:** нанопорошок диоксида кремния; плазменно-дуговой метод; динамическое рассеяние света; просвечивающая электронная микроскопия; адсорбционный метод; морфология; распределение по размерам; удельная поверхность; агломераты.

**Для цитирования:** Власов В.А., Космачев П.В. Морфология и размерные параметры наночастиц диоксида кремния, полученных плазменно-дуговым методом // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2020. Т. 22. № 5. С. 153–159.

DOI: 10.31675/1607-1859-2020-22-5-153-159

V.A. VLASOV<sup>1</sup>, P.V. KOSMACHEV<sup>1,2</sup>,<sup>1</sup>Tomsk State University of Architecture and Building,<sup>2</sup>The Institute of Strength Physics and Materials Science SB RAS

## MORPHOLOGY AND SIZE OF SILICA NANOPARTICLES OBTAINED BY LOW-TEMPERATURE PLASMA

The paper presents the results of a comprehensive study of the particle morphology, size distribution, average size, specific surface area and agglomeration of SiO<sub>2</sub> nanoparticles obtained by plasma technology from natural high-silica raw materials (quartzite). The dynamic light scattering, transmission electron microscopy, and nitrogen adsorption techniques are

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

used. It is shown that using the plasma source, polydisperse silica nanoparticles with the distribution of 10–300 nm can be obtained with the average size of  $30 \pm 7$  nm and specific surface area of  $71 \pm 4$  m<sup>2</sup>/g from natural quartzite. The average agglomerate consists of about 10 particles. The zeta potential varies from –54 to 9 mV for the powder, which can be useful in planning multicomponent systems. The investigated powder can be used as a hardening additive for the manufacture of building materials with improved performance for the creation of special-purpose objects.

**Keywords:** silica nanoparticles; plasma technology; dynamic light scattering; transmission electron microscopy; adsorption method; morphology; particle size distribution; specific surface area; agglomerates.

**For citation:** Vlasov V.A., Kosmachev P.V. Morfologiya i razmernye parametry nanochastits dioksida kremniya, poluchennykh plazmenno-dugovym metodom [Morphology and size of silica nanoparticles obtained by low-temperature plasma]. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture. 2020. V. 22. No. 5. Pp. 153–159. DOI: 10.31675/1607-1859-2020-22-5-153-159

### Введение

За последние десятилетия строительная отрасль, как и многие другие технологические сферы, стала неразрывно связана с применением нанотехнологий [1–2]. Современные строительные материалы сложно представить без применения наноразмерных компонентов [3–5]. Так, особое место на рынке занимают оксидные нанопорошки, и в частности нанопорошок SiO<sub>2</sub>, применяемый в качестве функциональной добавки для широкой номенклатуры строительных материалов [6–9].

Востребованность нанопорошков определяет необходимость точной диагностики поставляемой на рынок продукции, поскольку различные материалы требуют определенных характеристик наночастиц для придания им заданных конструкционных и функциональных свойств. На сегодняшний день разработаны различные методы, позволяющие определять геометрические характеристики наноразмерных частиц [10–14]. Наиболее полное представление о дисперсности частиц в нанопорошке дает установление таких его характеристик, как распределение по размерам, средний размер частиц, их удельная поверхность и морфология, степень агломерации.

Целью работы является исследование морфологии и размерных параметров наноразмерного диоксида кремния, полученного плазменным методом, с использованием комплекса современных методов.

### Материалы и методы

Наночастицы SiO<sub>2</sub> получали плазменно-дуговым методом [14, 15]. Температура процесса до 5000 К позволяет использовать в качестве сырья практически любые материалы, в том числе и природного происхождения. В качестве сырья был использован кремнезем, содержащий материал российского месторождения: кварцит Чупинского месторождения.

Измерение линейных размеров частиц и расчет основных гранулометрических характеристик системы, таких как средние размеры частиц и построение диаграммы распределения частиц по размерам, а также изучение их

морфологии проводили методом просвечивающей электронной микроскопии (ПЭМ). Для этого пробы полученных порошков SiO<sub>2</sub> исследовались на просвечивающем электронном микроскопе CM 12 (Philips, Нидерланды), 120 кэВ. Предварительно образцы порошков диспергировали в спирте с использованием ультразвуковой ванны. Полученная дисперсия наносилась на медную сетку для микроскопии с аморфной пленкой углерода на поверхности и затем высушивалась. По результатам полученных ПЭМ-изображений проводилось построение диаграммы распределения частиц по размерам согласно статистическим данным не менее чем для 1000 частиц с применением программы iTEM (Olympus). Обработка проводилась без включения агломератов в статистику.

Средний размер агломератов частиц и величину электрокинетического потенциала определяли методом динамического рассеяния света (ДРС) на анализаторе размера частиц и дзета-потенциала серии Zetasizer Nano-ZS (Malvern Instruments Ltd, Великобритания), оснащенный гелий-неоновым лазером (633 нм, 4 мВт). Рабочий диапазон определения размеров частиц от 0,6 нм до 6 мкм. Угол светорассеяния 173°. Пробу предварительно диспергировали в ультразвуковой ванне в течение минуты. Результирующие графики распределения агломератов частиц по размерам получали с помощью программного обеспечения DTS Application Software от Malvern Instruments.

Удельную поверхность исследуемых частиц измеряли адсорбционным методом (БЭТ) [16] на установке NOVA 2000 (Quantachrome instruments, США) по 5 точкам. В качестве газа-адсорбата использовался азот. Температура ванны 77 К. Для анализа отбирали навески массой 0,5 г.

Для изометрических частиц справедлива оценка среднего размера частиц согласно выражению

$$D_{\text{БЭТ}} = \frac{6 \cdot 10^6}{\rho \cdot S_{\text{уд}}}, \quad (1)$$

где  $D_{\text{БЭТ}}$  – средний диаметр частиц согласно БЭТ-расчету, нм;  $\rho$  – теоретическая плотность материала, кг/м<sup>3</sup>;  $S_{\text{уд}}$  – удельная поверхность исследуемых частиц, м<sup>2</sup>/г.

Таким образом, по статистическим данным о распределении частиц по размерам метод ДРС позволяет оценить их средний размер. В то же время, по полученным данным об удельной поверхности порошков адсорбционным методом возможно рассчитать средний размер частиц в агломератах. Важно отметить, что за счет адсорбции газа-адсорбата на поверхности частиц возможно узнать средний размер самих частиц в агломератах, а ДРС не позволяет различать частицы и агломераты, поскольку базируется на оптическом эффекте дифракции. Учитывая эти принципиальные различия, можно оценить степень агломерации наночастиц ( $nD$ ), определяемую соотношением средних размеров частиц:

$$nD = \frac{D_{\text{ДРС}}}{D_{\text{БЭТ}}}, \quad (2)$$

где  $D_{\text{ДРС}}$  – средний диаметр частиц согласно методу динамического рассеяния света,  $D_{\text{БЭТ}}$  – средний диаметр частицы согласно методу БЭТ.

### Обсуждение результатов

Адсорбционным методом была определена удельная поверхность порошка диоксида кремния  $S_{уд} = 71 \pm 4$ ,  $\text{м}^2/\text{г}$ . После чего по формуле (1) рассчитан средний диаметр  $D_{БЭГ} = 38 \pm 3$  нм.

Методом динамического рассеяния света получена диаграмма (рис. 1).

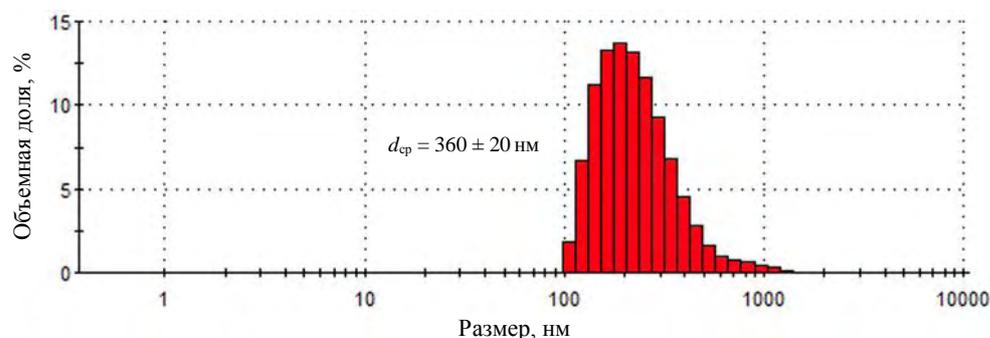


Рис. 1. Распределение по размерам частиц  $\text{SiO}_2$ , полученное методом динамического рассеяния света

Установлено, что средний размер агломератов частиц  $d_{cp} = 360 \pm 20$  нм.

Таким образом, степень агломерации частиц, рассчитанная по формуле (2), составляет  $nD = 9,5$ , что означает, что устойчивый агломерат в исследуемом порошке состоит в среднем из десяти частиц.

Электрокинетический потенциал наночастиц (рис. 2) является полезной характеристикой для планирования их взаимодействия с другими материалами в многосоставных системах. Для исследуемого порошка  $\xi_{cp} = -54 \pm 9$  мВ.

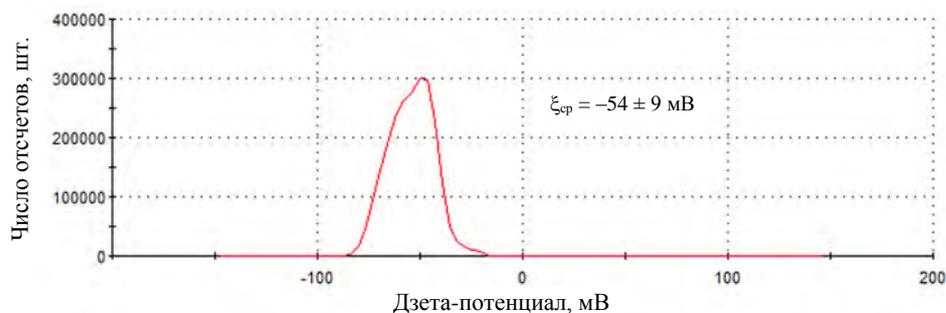


Рис. 2. Электрокинетический потенциал частиц  $\text{SiO}_2$

ПЭМ-изображение и статистическая диаграмма распределения по размерам исследуемых частиц диоксида кремния представлены на рис. 3.

Полученные изображения ПЭМ позволяют заключить, что частицы  $\text{SiO}_2$  изометрической формы в виде сфер с выраженной полидисперсностью образуют множественные агломераты.

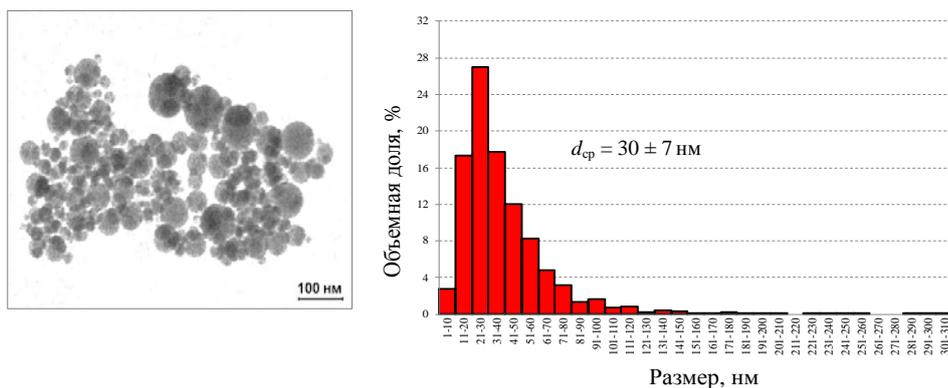


Рис. 3. ПЭМ-изображение частиц SiO<sub>2</sub> (слева) и полученная диаграмма распределения по размерам (справа)

Как видно из построенной диаграммы, распределение по размерам исследуемых наночастиц по своему характеру близко к нормальному. В нанопорошке присутствуют частицы с линейными размерами в диапазоне 10–300 нм, при этом до 95 % находится в интервале до 100 нм. Средний размер частиц  $d_{cp} = 30 \pm 7$  нм, что согласуется с результатами адсорбционного метода.

### Заключение

Отдельные частицы диоксида кремния не существуют изолированно, слипаясь в агрегаты. Несколько агрегатов, в свою очередь, образуют агломерат, удерживаясь в нем под действием слабых межмолекулярных связей. По этой причине для получения полной картины необходимо проводить комплексное исследование получаемых нанопорошков различными методами. Каждый из методов имеет свои преимущества и недостатки, зная которые возможно успешно характеризовать наноматериал.

Исследование показало, что при переработке в плазменной установке дугового разряда природного кварцита возможно получать полидисперсные наночастицы диоксида кремния с распределением 10–300 нм, средним размером  $30 \pm 7$  нм, удельной поверхностью  $71 \pm 4$  м<sup>2</sup>/г. При этом частицы склонны в среднем к агломерации по десять частиц.

Для исследуемого порошка установлен дзета-потенциал  $-54 \pm 9$  мВ, что является полезным с прикладной точки зрения при планировании многокомпонентных систем на его основе. Исследуемый порошок может применяться в качестве упрочняющей добавки для изготовления строительных материалов с повышенными эксплуатационными характеристиками для создания объектов специального назначения.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Bak M., Molnár F., Németh R. Improvement of dimensional stability of wood by silica nanoparticles // Wood Material Science & Engineering. 2018. V. 14. № 1. P. 48–58.

2. Mofid S.A., Jelle B.P., Zhao X., et al. Utilization of size-tunable hollow silica nanospheres for building thermal insulation applications // *Journal of Building Engineering*. 2020. V. 31. P. 101336.
3. Cho S., Kruger J., van Rooyen A., et al. Rheology of 3D Printable Lightweight Foam Concrete Incorporating Nano-Silica // *RILEM Bookseries*. Springer International Publishing. 2019. P. 373–81.
4. Rana M.N., Islam M.N., Nath S.K., et al. Influence of chemical additive on the physical and mechanical properties of cement-bonded composite panels made from jute stick // *Journal of Building Engineering*. 2020. V. 31. P. 101358.
5. Jassam T.M., Kien-Woh K., Ng yang-zhi J., et al. Novel cement curing technique by using controlled release of carbon dioxide coupled with nanosilica // *Construction and Building Materials*. 2019. V. 223. P. 692–704.
6. Mohajerani A., Burnett L., Smith J., et al. Nanoparticles in Construction Materials and Other Applications, and Implications of Nanoparticle Use // *Materials*. 2019. V. 12. № 19. P. 3052.
7. Zhang X., Du X., Zhao X., et al. Durability and Interfacial Properties of Concrete with Nanosilica-Modified Mortar Cover // *Journal of Materials in Civil Engineering*. 2019. V. 31. № 6. P. 04019073.
8. Hou P., Cheng X., Qian J., et al. Effects and mechanisms of surface treatment of hardened cement-based materials with colloidal nanoSiO<sub>2</sub> and its precursor // *Construction and Building Materials*. 2014. V. 53. P. 66–73.
9. Копаница Н.О., Саркисов Ю.С., Демьяненко О.В. Применение нанодисперсного кремнезема в производстве строительных смесей // *Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета*. 2016. №5. С. 140–150.
10. Шабанова Н.А., Попов В.В., Саркисов П.Д. Химия и технология нанодисперсных оксидов. Москва : ИКЦ «Академкнига», 2006. 311 с.
11. Hong, F.C., Yan C. Synthesis and characterization of silicon oxide nanoparticles using an atmospheric DC plasma torch // *Advanced powder technology*. 2018. V. 29. № 2. P. 220–229.
12. Ильвес В.Г., Зувев М.Г., Соковин С.Ю. и др. Свойства аморфного нанопорошка диоксида кремния, полученного импульсным электронным испарением // *Физика твердого тела*. 2015. Т. 57. № 12. С. 2439–2445.
13. Потапов В.В., Горев Д.С., Шалаев К.С. и др. Характеристики нанопорошков диоксида кремния, полученных криохимической вакуумной сублимацией зольей // *Химическая технология*. 2015. № 10. С. 596–600.
14. Космачев П.В., Власов В.А., Скрипникова Н.К. Исследование структуры и свойств нанопорошка SiO<sub>2</sub>, полученного плазменным методом из природных сырьевых материалов // *Известия вузов. Физика*. 2017. Т. 60. № 2. С. 46–50.
15. Космачев П.В., Демьяненко О.В., Власов В.А. и др. Композиционные материалы на основе цемента с нанодисперсным диоксидом кремния // *Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета*. 2017. № 4 (63). С. 139–146.
16. Brunauer S., Emmett P.H., Teller E. Adsorption of Gases in Multimolecular Layers // *Journal of American Chemical Society*. 1938. № 60 (2). P. 309–319.

#### REFERENCES

1. Bak M., Molnár F., Németh R. Improvement of dimensional stability of wood by silica nanoparticles. *Wood Material Science & Engineering*. 2018. V. 14. No. 1. Pp. 48–58.
2. Mofid S.A., Jelle B.P., Zhao X., et al. Utilization of size-tunable hollow silica nanospheres for building thermal insulation applications. *Journal of Building Engineering*. 2020. V. 31. P. 101336.
3. Cho S., Kruger J., van Rooyen A., et al. Rheology of 3D printable lightweight foam concrete incorporating nano-silica. *RILEM Bookseries*. Springer International Publishing. 2019. Pp. 373–81.
4. Rana M.N., Islam M.N., Nath S.K., et al. Influence of chemical additive on the physical and mechanical properties of cement-bonded composite panels made from jute stick. *Journal of Building Engineering*. 2020. V. 31. P. 101358.

5. Jassam T.M., Kien-Woh K., Ng yang-zhi J., et al. Novel cement curing technique by using controlled release of carbon dioxide coupled with nanosilica. *Construction and Building Materials*. 2019. V. 223. Pp. 692–704.
6. Mohajerani A., Burnett L., Smith J, et al. Nanoparticles in construction materials and other applications, and implications of nanoparticle use. *Materials*. 2019. V. 12. No. 19. P. 3052.
7. Zhang X., Du X., Zhao X., et al. Durability and interfacial properties of concrete with nanosilica-modified mortar cover. *Journal of Materials in Civil Engineering*. 2019. V. 31. No. 6. P. 04019073.
8. Hou P., Cheng X., Qian J., et al. Effects and mechanisms of surface treatment of hardened cement-based materials with colloidal nano SiO<sub>2</sub> and its precursor. *Construction and Building Materials*. 2014. V. 53. Pp. 66–73.
9. Kopanitsa N.O., Sarkisov Yu.S., Dem'yanenko O.V. Primenenie nanodispersnogo kremnezema v proizvodstve stroitel'nykh smesey [Nanodispersed silicon dioxide used in the production of mix mortars] *Vestnik of Tomsk State University of Architecture and Building*. 2016. No. 5. Pp. 140–150. (rus)
10. Shabanova N.A., Popov V.V., Sarkisov P.D. Chemistry and technology of nanodispersed oxides [Khimiya i tekhnologiya nanodispersnykh oksidov]. Moscow: Akademkniga. 2006. 311 p. (rus)
11. Hong, F.C., Yan C. Synthesis and characterization of silicon oxide nanoparticles using an atmospheric DC plasma torch. *Advanced Powder Technology*. 2018. V. 29. No. 2. Pp. 220–229.
12. Ilves V., Zuev S., Sokovin A., Murzakaev A. Svoystva amorfnoho nanoporoshka dioksida kremniya, poluchennogo impul'snym ispareniem [Properties of amorphous silicon dioxide nanopowder obtained by pulsed electron evaporation]. *Fizika tverdogo tela*. 2015. No. 57 (12). Pp. 2439–2445.(rus)
13. Potapov V.V., Gorev D.S., Shalaev K.S. Kharakteristiki nanoporoshkov dioksida kremniya, poluchennykh kriokhimicheskoi vakuumnoi sublimatei zolei [Characteristics of silicon dioxide nanopowders obtained by cryochemical vacuum sublimation of sols]. *Khimicheskaya tekhnologiya*. 2015. No. 10. Pp. 596–600. (rus)
14. Kosmachev P., Vlasov V., Skripnikova N. Issledovanie struktury i svoystv nanoporoshka SiO<sub>2</sub> poluchennogo plazmennym metodom iz prirodnykh syr'evykh materialov [Structure and properties of SiO<sub>2</sub> nanopowder obtained from high-silica raw materials by plasma method]. *Izvestiya vuzov. Fizika*. 2017. No. 60 (2). Pp. 46–50. (rus)
15. Kosmachev P.V., Dem'yanenko O.V., Vlasov V.A., et al. Composite Materials Based on Cement With Nanodispersed Silicon Dioxide [Kompozitsionnye materialy na osnove tsementa s nanodispersnym dioksidom kremniya]. *Vestnik of Tomsk state University of Architecture and Building*. 2017. No. 4. Pp. 139–146. (rus)
16. Brunauer S., Emmett P.H., Teller E. Adsorption of gases in multimolecular layers. *Journal of American Chemical Society*. 1938. No. 60 (2). Pp. 309–319.

#### Сведения об авторах

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

Космачев Павел Владимирович, канд. техн. наук, Томский государственный архитектурно-строительный университет, 634003, г. Томск, пл. Соляная, 2; Институт физики прочности и материаловедения СО РАН, 634055, г. Томск, просп. Академический, 2/4, kosmachev@tsuab.ru

#### Authors Details

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

Pavel V. Kosmachev, PhD, Tomsk State University of Architecture and Building, 2, Solyanaya Sq., 634003, Tomsk, Russia; The Institute of Strength Physics and Materials Science SB RAS, 8/2, Akademicheskii Ave., 634021, Tomsk, Russia, kosmachev@tsuab.ru

# ОСНОВАНИЯ И ФУНДАМЕНТЫ, ПОДЗЕМНЫЕ СООРУЖЕНИЯ

УДК 693.22:624.04

DOI: 10.31675/1607-1859-2020-22-5-160-172

*С.В. ЮЩУБЕ, И.И. ПОДШИВАЛОВ, Г.И. ТАЮКИН,  
Томский государственный архитектурно-строительный университет*

## **ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ СТРОИТЕЛЬСТВА ВЫСОТНОГО КАРКАСНОГО ЗДАНИЯ С УЧЕТОМ ВЫЯВЛЕННЫХ ДЕФЕКТОВ ПРИ ВОЗВЕДЕНИИ МОНОЛИТНОЙ ФУНДАМЕНТНОЙ ПЛИТЫ**

Анализируется влияние дефектов монолитной фундаментной плиты, выявленных при обследовании на возможность ее дальнейшего использования при строительстве высотного 25-этажного каркасного здания. Детальное обследование монолитной фундаментной плиты проводилось с использованием неразрушающих методов контроля, а также путем отбора вертикальных кернов. Установлено, что нарушение технологии производства работ при зимнем бетонировании монолитной фундаментной плиты привело к снижению прочностных характеристик бетона, а также к образованию дефектов в нижних слоях монолитной фундаментной плиты в виде отслоения нижнего защитного слоя бетона и оголения рабочей арматуры. Для безопасной эксплуатации высотного 25-этажного здания предложен вариант усиления существующей монолитной фундаментной плиты с помощью ее наращивания монолитным железобетоном высотой 100 см.

**Ключевые слова:** техническое состояние; обследование; деформации; строительные конструкции; напряженно-деформированное состояние; фундаментная плита; грунтовое основание; прочность бетона; класс бетона; расчетная модель; моделирование; усиление фундамента.

**Для цитирования:** Ющубе С.В., Подшивалов И.И., Таюкин Г.И. Оценка возможности строительства высотного каркасного здания с учетом выявленных дефектов при возведении монолитной фундаментной плиты // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2020. Т. 22. № 5. С. 160–172.

DOI: 10.31675/1607-1859-2020-22-5-160-172

*S.V. YUSHCHUBE, I.I. PODSHIVALOV, G.I. TAYUKIN,  
Tomsk State University of Architecture and Building*

## **HIGH RISE FRAME BUILDING CONSTRUCTION WITH REGARD TO DEFECTS IN MONOLITHIC BASE SLAB**

The paper analyzes the influence of defects detected in a monolithic base slab on the possibility of its further application in the construction of a 25-storey high-rise frame building. Non-

destructive testing and vertical core sampling techniques are used for the detailed analysis of the monolithic base slab. It is found that irregularities in the procedure during winter concreting of the base slab decreases the strength properties of concrete and provides the defect formation in the slab structure, namely delamination of the lower protective concrete layer and uncovering of working reinforcement. For the safe use of the 25-storey high-rise building, the base slab is proposed to be strengthened by adding in-situ reinforced concrete layer 100 cm thick.

**Keywords:** technical condition; instrument-aided structural survey; deformation; engineering structures; stress-strain state; base slab; soil foundation; concrete strength; concrete grade; calculation model; underpinning.

**For citation:** Yushchube S.V., Podshivalov I.I., Tayukin G.I. Otsenka vozmozhnosti stroitel'stva vysotnogo karkasnogo zdaniya s uchetom vyavlennykh defektov pri vozvedenii monolitnoi fundamentnoi plity [High rise frame building construction with regard to defects in monolithic base slab]. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture. 2020. V. 22. No. 5. Pp. 160–172.

DOI: 10.31675/1607-1859-2020-22-5-160-172

При монтаже зданий и сооружений их техническое состояние во многом зависит от качества выполнения работ при устройстве нулевого цикла. Устройство монолитной фундаментной плиты (МФП) толщиной 180 мм по бетонной подготовке на свайном основании выполнялось способом непрерывного бетонирования в зимний период. При выполнении бетонных работ была частично нарушена технология производства работ, что сказалось на качестве устройства фундамента, поэтому дальнейшее строительство здания пришлось остановить.

При наступлении положительных температур было проведено комплексное обследование МФП по выявлению дефектов с целью принятия решения по дальнейшему ее использованию. При обследовании МФП для определения внутренних дефектов и повреждений в виде пустот и раковин, негативно влияющих на ее техническое состояние, был использован ультразвуковой низкочастотный дефектоскоп «А1040М Полигон». Также при обследовании было отобрано пять вертикальных кернов с использованием установки алмазного бурения и определены прочностные показатели бетона плиты по ее толщине. Установлено, что нарушение технологии производства работ при зимнем бетонировании МФП привело к снижению прочностных характеристик бетона, а также к образованию дефектов в нижних слоях МФП на отдельных ее участках в виде отслоения нижнего защитного слоя бетона и оголения рабочей арматуры (рис. 1). Фактическая прочность бетона плиты соответствовала классу бетона от В12,5 до В25 (при проектном классе бетона В25). Пониженные показатели прочности бетона наблюдались в нижних участках МФП.

Расчетная модель, которая может наиболее полно отразить конструктивную схему здания, является одним из важнейших факторов при определении напряженно-деформированного состояния (НДС) строительных конструкций и фундаментов [1, 2]. Верифицированный ПВК MicroFe [3] позволяет реализовать конечно-элементное моделирование системы «основание – фундамент – здание».

При моделировании фундаментной плиты [4], в том числе и на свайном основании [5, 6], большое значение имеет размерность конечно-элементной

сетки, учет физической нелинейности работы ее материалов и оценка погрешности при вычислении внутренних усилий при использовании теории тонких плит, где эффект объемного напряженного состояния может не учитываться.



Рис. 1. Фрагмент края нижней части МФП с оголением арматуры нижнего слоя

При построении расчетной модели «основание – фундамент – здание» размерность решаемой задачи может быть достаточно большой [7, 8]. Для уменьшения этого явления используется детализация конечно-элементной схемы, в которой МФП моделировалась из мелкой конечно-элементной сетки размером  $0,125 \times 0,125$  м, а остальная часть здания – на более крупной конечно-элементной сетке размером  $0,5 \times 0,5$  м. В конечно-элементные размеры сетки МФП должны вписываться размеры свай снизу, колонны-стены, стены ядра и диафрагм жесткости подвала сверху.

О влиянии размеров конечно-элементной сетки в МФП на НДС сопряженных с ней конструкций сообщается в работах [9, 10]. Рассмотрены следующие размеры конечно-элементной сетки МФП:  $0,5 \times 0,5$  м;  $0,25 \times 0,25$  м;  $0,125 \times 0,125$  м. На примере свай оказалось, что при сетке размером  $0,5 \times 0,5$  м наибольшее усилие в свае составило  $N_{0,5 \times 0,5} = 661,4$  кН, при сетке размером  $0,25 \times 0,25$  м –  $N_{0,25 \times 0,25} = 626,9$  кН, при сетке размером  $0,125 \times 0,125$  м –  $N_{0,125 \times 0,125} = 585,3$  кН. Таким образом, с увеличением густоты конечно-элементной сетки МФП, уменьшаются усилия в сваях, снижается погрешность их вычисления, в нашем случае до 11,5 %. При этом перемещения в МФП увеличились на 1,3 % из-за сгущения конечно-элементной сетки.

При использовании мелкой конечно-элементной сетки в МФП на сглаживание концентраций усилий в узлах конструктивных элементов влияют в основном два фактора:

- учет физической нелинейности материалов МФП приводит к уменьшению в ней внутренних усилий и незначительному увеличению перемещений;
- следует использовать процедуру по осреднению усилий в конечных элементах, в результате чего конструктивный расчет осуществляется не по максимальным, а по осредненным значениям усилий в конечном элементе.

Об учете массивности МФП. Фундаментная плита при отношении толщины к длине  $h/l = 1/17 < [1/5]$  может быть отнесена к категории тонких плит, где эффект объемного напряженного состояния может не учитываться [4]. Тем не менее в зонах стыков МФП, сверху с колоннами и с диафрагмами жесткости в большей степени и снизу со сваями в меньшей степени, возникают максимальные усилия, по которым ведется подбор арматуры. В этих сингулярных зонах теория тонких пластин приводит к определенной погрешности.

25-этажное высотное каркасное здание размером в плане по осям 29,6×29,0 м, высотой 79,94 м, с подвалом и техническим этажом имеет систему монолитных железобетонных колонн и диафрагм жесткости, а также лифтовую шахту, являющуюся ядром жесткости каркаса. Элементы каркаса представляют собой колонны Г-образного и прямоугольного сечений с толщиной стенки 20 см на нижних 12 этажах, вышерасположенные колонны – квадратного сечения 40×40 см, диафрагмы жесткости и стены лифтовой шахты имеют толщину 20 см. Класс бетона элементов каркаса – В30. Несущие элементы перекрытий и покрытия – сборно-монолитные ригели по системе Рекон, с жестким сопряжением, с колоннами и с заполнением в пределах ячейки из сборных железобетонных многопустотных плит толщиной 220 мм.

Фундамент – плоская МФП толщиной 180 см, размером в плане по осям 29,6×29,0 м, на забивных сваях сечением 30×30 см, длиной 12 м, с погружением в грунт от 8 до 12 м. Под МФП устроена бетонная подготовка толщиной 150 мм. Отпор под МФП отсутствует.

Геометрическая неизменяемость каркаса здания обеспечивается образованием жесткого соединения колонн с МФП, жесткого сопряжения колонн с ригелями, монолитными диафрагмами жесткости, стенами подвала и горизонтальными дисками перекрытий.

Рассматриваемая площадка строительства высотного здания расположена в северо-восточной части г. Томска в пределах Томь-Яйского водораздела. На данной площадке инженерно-геологический разрез изучен до глубины 43,0 м (рис. 2).

Верхнюю часть разреза до глубины 6,7–7,3 м составляют аллювиально-озерные суглинки мягкопластичной (ИГЭ-304) и тугопластичной (ИГЭ-303) консистенций. Ниже до глубины 19,1–19,5 м залегают супеси, которые в интервале 9,1–11,2 м содержат прослой суглинка мягкопластичного. До глубины 16,0–16,4 м супеси имеют твердую (ИГЭ-401) консистенцию, а ниже – до глубины 19,1–19,5 м – текучую (ИГЭ-406) консистенцию. Далее с глубины 19,2–19,5 м и до 31,3–31,8 м залегают суглинки тугопластичные (ИГЭ-303) с тонкими прослоями и линзами супеси и песка мелкого. Ниже, в интервале 31,3–34,2 м, залегает глина зеленовато-серого цвета полутвердой (ИГЭ-202) консистенции. С глубины 34,2 до 43,0 м расположены пески средние, обводненные.

В пределах разреза выделено два водоносных горизонта. Верхний водоносный горизонт залегает в интервале 16,6–19,2 м, а нижний – от 34,2 до 43 м и ниже. Водовмещающими слоями для верхнего водоносного горизонта являются супеси текучие, а для нижнего – пески средние водонасыщенные. Подземные воды порово-пластового типа, безнапорные. Питание их осу-



ют снижению первичной влажности. При массовой забивке свай в котловане степень уплотнения грунтов достигает своих максимальных значений. При этом резко уменьшается влажность грунтов, и они переходят в разряд твердых или полутвердых по показателю текучести. Основные результаты расчета показателей свойств грунтов, полученные автором [11], приведены в таблице.

#### Основные физико-механические свойства грунтов до и после забивки свай

№ п/п	№ ИГЭ	Разновидность грунта	Мощность слоя, м	Плотность скелета, г/см <sup>3</sup>	Коэффициент пористости	Показатель текучести	Удельное сцепление, кПа	Угол внутреннего трения, град	Модуль общей деформации, МПа
1	304	Суглинок мягко-пластичный	2,8	1,570/ 1,719	0,720/ 0,576	0,60/ < 0	20,0/ 37,0	18,0/ 28,0	13,0/ 28,0
2	303	Суглинок туго-пластичный	2,1	1,570/ 1,719	0,726/ 0,576	0,37/ < 0	30,9/ 37,0	20,1/ 28,0	21,8/ 28,0
3	401	Супесь твердая	7,1	1,740/ 1,853	0,550/ 0,457	< 0/ < 0	16,8/ 21,0	26,3/ 36,0	24,7/ 36,0

*Примечание.* Приведены свойства – в числителе до, в знаменателе после забивки свай.

В расчетной модели железобетонные монолитные стены, диафрагмы жесткости, диски перекрытий и МФП моделировались конечным элементом типа «плоский прямоугольный элемент оболочки», колонны и сваи моделировались конечным элементом типа «стержень». Грунтовое основание под ростверком принималось в виде семислойного основания из объемных конечных элементов с послойным заданием модуля деформаций и коэффициента Пуассона. Сопряжение свай с МФП принималось шарнирным.

В железобетонных конструкциях каркаса материал рассматривался как линейный изотропный. В МФП материал принимался как нелинейный слоистый. В расчетной модели были разработаны две расчетные схемы:

– расчетная схема № 1, в которой МФП высотой 180 см принята в виде 12-слойного материала по фактическому его состоянию, определенному по результатам обследования. В двух нижних слоях бетона толщиной 40 мм каждый, расположенных над и под нижней арматурой, принят класс бетона В12,5, в вышерасположенных шести слоях – класс бетона В25. Верхняя и нижняя арматура состоит из двух слоев каждая, стержни – Ø25А500С/200;

– расчетная схема № 2, где МФП высотой 280 см принята в виде 11-слойного материала, наращенная сверху монолитной железобетонной плитой высотой 100 см из бетона класса В25 с двумя слоями верхней и нижней арматуры – стержни Ø25А500С/200. Существующая МФП принята в виде нижней двухслойной конструкции со следующими характеристиками бетона: верхний слой высотой 167 см – класс бетона В25; нижний слой бетона высотой 13 см – класс бетона В12,5. Существующая арматура в МФП в расчет не принималась, т. к. в плите можно учитывать работу только верхней и нижней арматуры.

В каждой расчетной схеме слои МФП имеют нелинейные свойства, определяемые диаграммами – кубической для бетона и упругопластической для арматуры.

Конструктивная и расчетная конечно-элементная модель здания приведена на рис. 3.

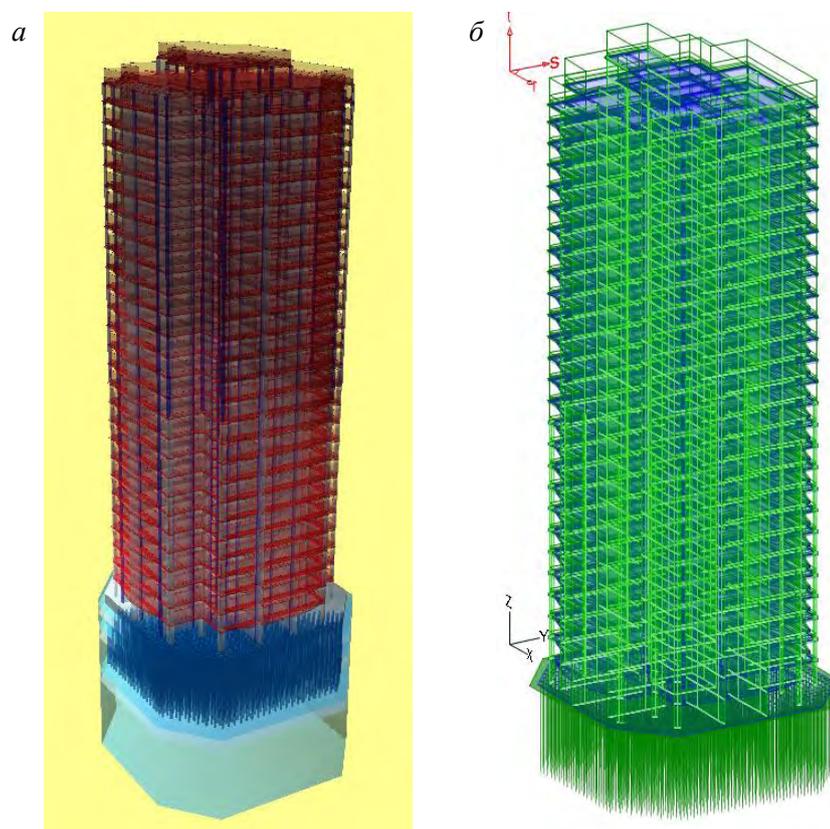


Рис. 3. Конструктивная (а) и расчетная (б) конечно-элементная модель здания

Расчет проводился в такой последовательности:

1. На первом этапе в расчетной схеме № 1 было определено необходимое расчетное армирование существующей МФП, которое составило следующие значения (рис. 4):

- верхняя горизонтальная  $\emptyset 16A500C/200$  без дополнительной локальной арматуры;
- верхняя вертикальная  $\emptyset 16A500C/200$  с дополнительной локальной арматурой  $\emptyset 18A500C/200$ ;
- нижняя горизонтальная  $\emptyset 25A500C/200$  с дополнительной локальной арматурой  $\emptyset 14A500C/200$ ;
- нижняя вертикальная  $\emptyset 25A500C/200$  с дополнительной локальной арматурой  $\emptyset 14A500C/200$ ;
- поперечная под вертикальными элементами каркаса –  $20,12 \text{ см}^2/\text{м}^2$ .

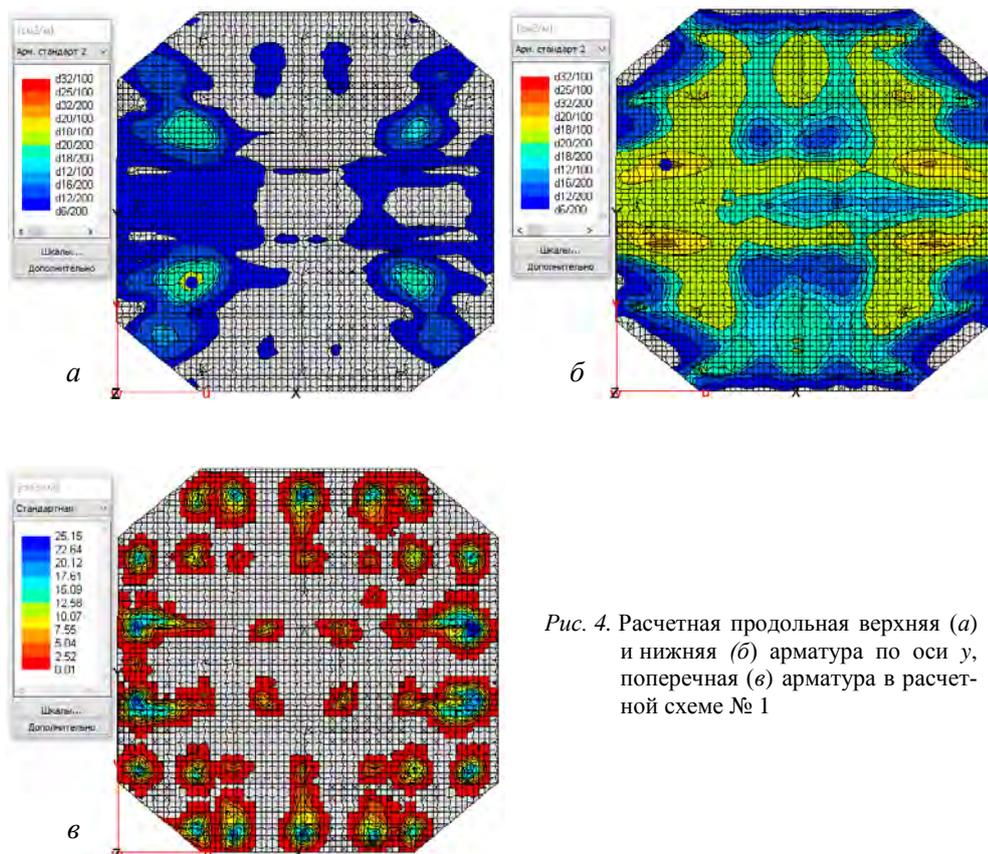


Рис. 4. Расчетная продольная верхняя (а) и нижняя (б) арматура по оси у, поперечная (в) арматура в расчетной схеме № 1

Проектное армирование включало в себя следующие показатели:

- верхняя горизонтальная и вертикальная  $\text{Ø}25\text{A}500\text{C}/200$  без дополнительной локальной арматуры;
- нижняя горизонтальная  $\text{Ø}25\text{A}500\text{C}/200$  с дополнительной локальной арматурой  $\text{Ø}20\text{A}500\text{C}/200$ ;
- нижняя вертикальная  $\text{Ø}25\text{A}500\text{C}/200$  с дополнительной локальной арматурой  $\text{Ø}14\text{A}500\text{C}/200$ ;
- поперечной арматурой являются выпуски из МФП  $\text{Ø}20\text{A}500\text{C}/200$ .

Сравнение расчетного армирования МФП с проектными значениями показало в целом их общее совпадение, однако использовать бетон в нижних слоях монолитной плиты с прочностью бетона ниже допускаемого класса В15 не рекомендуется.

2. На втором этапе в расчетной схеме № 2 было также определено необходимое расчетное армирование в нарощенной части МФП, которое составило следующие значения (рис. 5):

- верхняя горизонтальная и вертикальная  $\text{Ø}16\text{A}500\text{C}/200$  с дополнительной локальной арматурой  $\text{Ø}12\text{A}500\text{C}/200$ ;
- нижняя горизонтальная и вертикальная  $\text{Ø}25\text{A}500\text{C}/200$  с дополнительной локальной арматурой  $\text{Ø}25\text{A}500\text{C}/200$ ;
- поперечная под вертикальными элементами каркаса –  $11,23 \text{ см}^2/\text{м}^2$ .

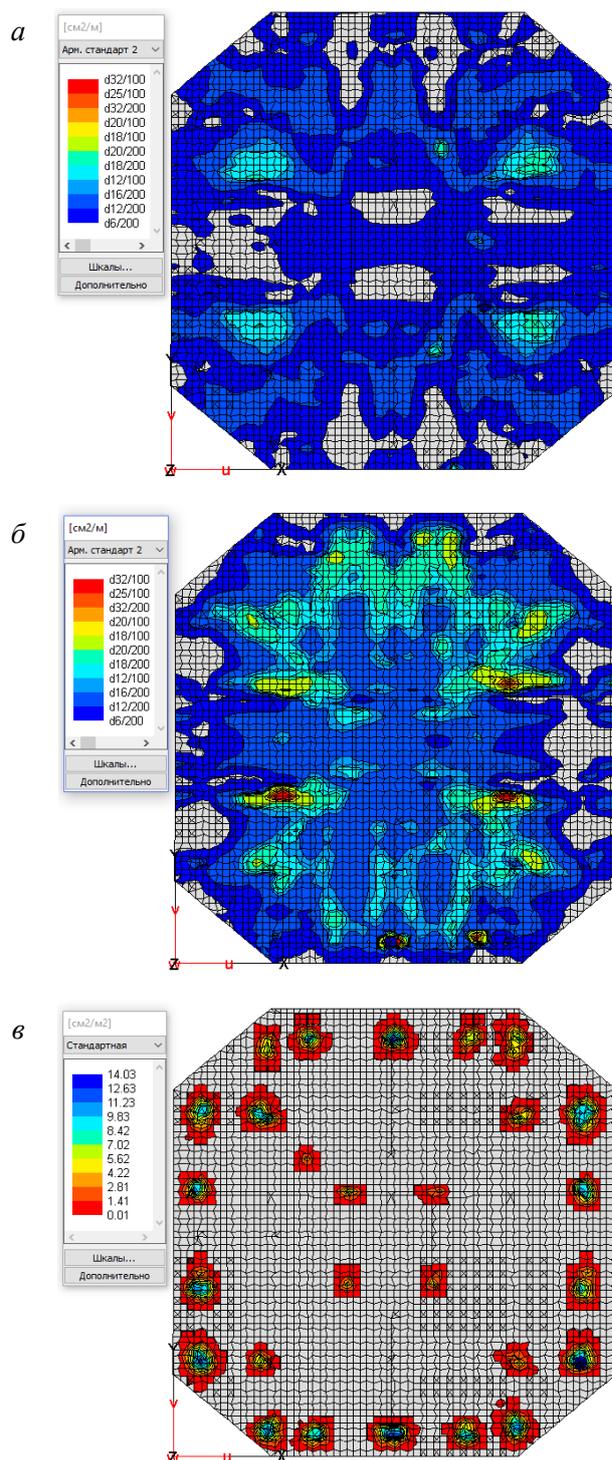


Рис. 5. Расчетная продольная верхняя (а) и нижняя (б) арматура по оси у, поперечная (в) арматура в расчетной схеме № 2

Анализ результатов вертикальных перемещений МФП в расчетных схемах № 1 и 2 с учетом фактической глубины погружения свай, а также с учетом уплотнения грунта в межсвайном пространстве и под острием свай показал, что максимальные значения вертикальных перемещений составляют (рис. 6) 163,1 мм в расчетной схеме № 1 и 170,7 мм в расчетной схеме № 2 и не превышают предельного значения допустимых деформаций основания фундаментов для рассматриваемого типа зданий [180 мм]. В обоих случаях относительная разность вертикальных перемещений МФП составила в среднем 0,0006, что меньше предельно допустимого значения относительной разности осадок [0,003].

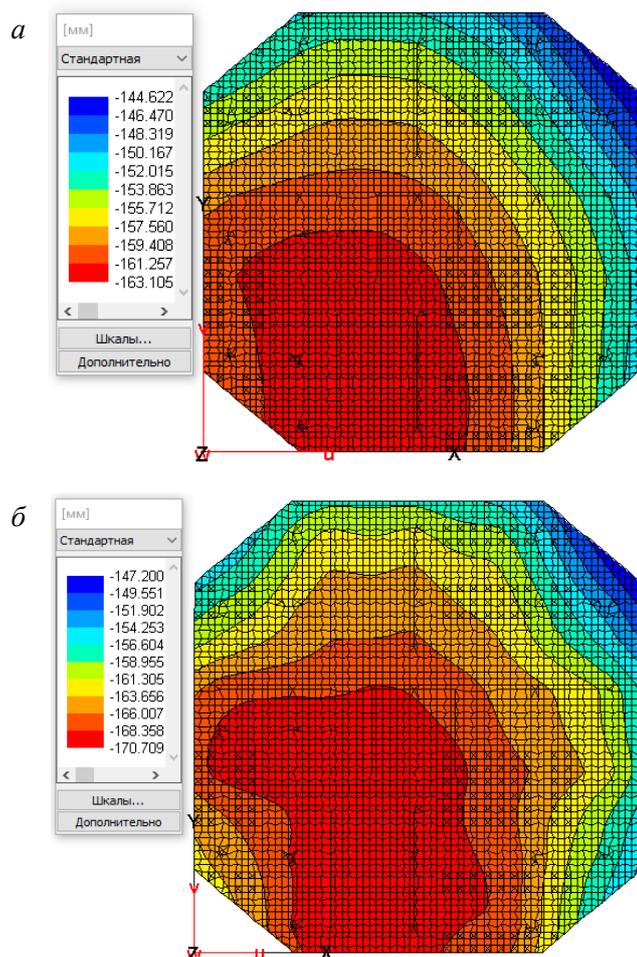


Рис. 6. Изополя вертикальных перемещений МФП в расчетных схемах № 1 (а) и № 2 (б)

Таким образом, предложенное техническое решение по усилению существующей МФП путем ее железобетонного наращивания сверху, выполненное моделирование напряженно-деформированного состояния железобетонного каркаса на свайном фундаменте с плитным ростверком в системе «основание – фундамент – здание», анализ полученных результатов позволили сделать вывод

о том, что при реализации предложенного технического решения условия по первой и второй группам предельных состояний будут выполнены.

### Основные выводы

1. Установлено, что нарушение технологии производства работ при зимнем бетонировании МФП привело к снижению прочностных характеристик бетона, а также к образованию дефектов в нижних слоях МФП на отдельных ее участках в виде локального отслоения защитного слоя бетона и оголения рабочей арматуры.

2. Решение задачи выполнено моделированием напряженно-деформированного состояния свайного фундамента с плитным ростверком с разработкой расчетной модели системы «основание – фундамент – здание» при учете степени уплотнения грунтов в межсвайном пространстве и под острием свай.

3. В железобетонных конструкциях каркаса материал рассматривался как линейный изотропный. В МФП материал принимался как нелинейный слоистый. Нелинейные свойства материала каждого слоя задавались соответствующими диаграммами – кубической для бетона и упругопластической для арматуры.

4. Расчетным путем установлено, что при реализации технического решения по усилению существующей МФП путем ее железобетонного монолитного наращивания сверху прочность и жесткость МФП на свайном основании будет обеспечена.

### Библиографический список

1. *Шашкин В.А.* Эффекты взаимодействия оснований и сооружений // Развитие городов и геотехническое строительство. 2012. № 14. С. 141–167.
2. *Шашкин А.Г., Шашкин К.Г.* Взаимодействие здания и основания: методика расчета и практическое применение при проектировании / под ред. В.М. Улицкого. Санкт-Петербург : Стройиздат СПб., 2002. 48 с.
3. *MicroFe-СДК.* Программный комплекс конечно-элементных расчетов пространственных конструкций на прочность, устойчивость и колебания // ООО «ТЕХСОФТ». 2015. URL: <http://www.tech-soft.ru>
4. *Карпенко Н.И., Карпенко С.Н., Кузнецов Е.Н.* О современных проблемах расчета высотных зданий из монолитного железобетона // Бетон и железобетон – пути развития : научные труды II Всероссийской (Международной) конференции: в пяти книгах. Т. 1. Пленарные доклады. Москва, 2005. С. 149–166.
5. *Шулятьев О.А.* Фундаменты высотных зданий // Вестник ПНИПУ. Строительство и архитектура. 2014. № 4. С. 202–244.
6. *Шулятьев О.А.* Основания и фундаменты высотных зданий. Москва, 2016. 392 с.
7. *Нуждин Л.В., Михайлов В.С.* Численное моделирование свайных фундаментов в расчетно-аналитическом комплексе SCAD Office // Вестник ПНИПУ. Строительство и архитектура. 2018. № 1. С. 5–18.
8. *Михайлов В.С., Теплых А.В.* Учет характерных особенностей различных моделей основания при расчете взаимного влияния зданий на больших фундаментных плитах с использованием расчетно-аналитической системы SCAD Office // VI Международный симпозиум «Актуальные проблемы компьютерного моделирования конструкций и сооружений». Владивосток, 2016. С. 133–134.
9. *Кабанцев О.В., Тамразян А.Г.* Учет изменений расчетной схемы при анализе работы конструкции // Инженерно-строительный журнал. 2014. № 5. С. 15–26.

10. Алмазов В.О., Климов А.Н. Экспериментальное исследование напряженно-деформированного состояния конструкций высотного здания // Вестник МГСУ. 2013. № 10. С. 102–109.
11. Щербак Г.Г. Теоретические основы гравитационного уплотнения и формирования физико-механических свойств горных пород // РАН. Сергиевские чтения. Вып. 4. Москва : ГИОС, 2002. С. 83–88.

## REFERENCES

1. Shashkin V.A. Effekty vzaimodeistviya osnovanii i sooruzhenii [Interaction between foundations and structures]. *Razvitie gorodov i geotekhnicheskoe stroitel'stvo*. 2012. No. 14. Pp. 141–167. (rus)
2. Shashkin A.G., Shashkin K.G. Vzaimodeistvie zdaniya i osnovaniya: metodika rascheta I prakticheskoe primeneniye pri proektirovani [Building and foundation interaction: calculation methodology and practical application in design]. V.M. Ulitskii, Ed., St.-Petersburg: Stroiizdat, 2002. 48 p. (rus)
3. MicroFe-SDK. Programnyi kompleks konechno-elementnykh raschetov prostranstvennykh konstrukttsii na prochnost', ustoichivost' i kolebaniya [MicroFe software package for finite element calculations of strength, stability and vibration of spatial structures]. ООО "TEKhSOFT", 2015. Available: [www.tech-soft.ru](http://www.tech-soft.ru)
4. Karpenko N.I., Karpenko S.N., Kuznetsov E.N. O sovremennykh problemakh rascheta vysotnykh zdaniy iz monolitnogo zhelezobetona [Modern problems of structural analysis of high-rise building of insitu reinforced concrete]. In: II Vseros. (Mezhdunar.) konf. "Beton I zhelezobeton – puti razvitiya", v pyati knigakh. (*Proc. 2nd Int. Sci. Conf. 'Concrete and Reinforced Concrete – Glance at Future'*), in 5 vol. Moscow, 2005. V. 1. Pp. 149–166. (rus)
5. Shulyat'ev O.A. Fundamenty vysotnykh zdaniy [Foundations of high-rise buildings]. *Vestnik PNIPU. Stroitel'stvo i arkhitektura*. 2014. No. 4. Pp. 202–244. (rus)
6. Shulyat'ev O.A. Osnovaniya i fundamenty vysotnykh zdaniy [Bases and foundations of high-rise buildings]. Moscow, 2016. 392 p. (rus)
7. Nuzhdin L.V., Mikhailov V.S. Chislennoe modelirovaniye svainykh fundamentov v raschetno-analiticheskom komplekse SCAD Office [Creation of solid 3D CAD pile foundations in SCAD software]. *Vestnik PNIPU. Stroitel'stvo i arkhitektura*. 2018. No. 1. Pp. 5–18. (rus)
8. Mikhailov V.S., Tepliykh A.V. Uchet kharakternykh osobennostey razlichnykh modeley osnovaniya pri raschete vzaimnogo vliyaniya zdaniy na bol'shikh fundamentnykh plitakh s ispol'zovaniem raschetno-analiticheskoy sistemy SCAD Office [Allowing for characteristics of various design models in calculating mutual influence of buildings on pile-raft foundation in SCAD software]. In: VI Mezhdunarodnyi simpozium. Aktual'nye problemy komp'yuternogo modelirovaniya konstrukttsii i sooruzhenii (*Proc. 6th Int. Sci. Symp. 'Relevant Computer Modeling Problems of Structures'*). Vladivostok, 2016. Pp. 133–134. (rus)
9. Kabantsev O.V., Tamrazyan A.G. Uchet izmeneniya raschetnoy skhemy pri analize raboty konstrukttsii [Consideration of changes in design diagram in structural analysis]. *Inzhenerno-stroitel'nyi zhurnal*. 2014. No. 5. Pp. 15–26. (rus)
10. Almazov V.O., Klimov A.N. Eksperimental'noye issledovaniye napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya konstrukttsii vysotnogo zdaniya [Experimental investigation of stress-strain state of high-rise buildings]. *Vestnik MGSU*. 2013. No. 10. Pp. 102–109. (rus)
11. Shcherbak G.G. Teoreticheskie osnovy gravitatsionnogo uplotneniya i formirovaniya fiziko-mekhanicheskikh svoystv gornykh porod [Theory of gravitational compaction and formation of physical and mechanical properties of rocks]. In: RAN. Serгиеvskie chteniya (*Proc. Annu. Session of the RAS Scientific Council on Geoecology, Geotechnology and Hydrogeology in memory of Sergeev 'Sergeev Readings'*). Moscow 2002. No. 4. Pp. 83–88. (rus)

## Сведения об авторах

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

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

*Таюкин Геннадий Иванович*, канд. техн. наук, Томский государственный архитектурно-строительный университет, 634003, г. Томск, пл. Соляная, 2, tgi52@mail.ru

#### **Authors Details**

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

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

*Gennadii I. Tayukin*, PhD, Engineer, Tomsk State University of Architecture and Building, 2, Solyanaya Sq., 634003, Tomsk, Russia; tgi52@mail.ru

УДК 693.22:624.04

DOI: 10.31675/1607-1859-2020-22-5-173-186

*Д.Г. САМАРИН, В.Л. УСТЮЖАНИН, А.А. ЛОБАНОВ,  
Томский государственный архитектурно-строительный университет*

## **ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ ИЗМЕНЕНИЙ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ БУРОНАБИВНЫХ СВАЙ АКУСТИЧЕСКИМ МЕТОДОМ, ОСНОВАННЫМ НА СХЕМЕ ДВУХ КАНАЛОВ ИЗМЕРЕНИЯ**

Поверхностный акустический метод исследований свайных фундаментов находит на практике все большее применение, т. к. является эффективным средством для определения длины свай и их различных дефектов. Однако использование указанного метода для диагностики монолитных свайных конструкций, например буронабивных свай, может приводить к значительной погрешности измерений. Это связано с тем, что скорость прохождения акустических волн в свайном теле, как правило, принимается расчетным путем, где не учитываются многие факторы, влияющие на скорость их распространения в буронабивных сваях. Ранее было показано, что применение схемы двух каналов измерения, при определении длины буронабивных свай поверхностным акустическим методом, позволяет с высокой точностью устанавливать скорость распространения в них акустических волн и, соответственно, длину этих свай. В настоящей статье показано, что применение данной схемы в поверхностном акустическом методе исследований буронабивных свай позволяет с достаточной для практической значимости точностью фиксировать такие дефекты, как отклонения размеров поперечного сечения ствола сваи по ее длине.

**Ключевые слова:** акустические методы; буронабивные сваи; дефекты; скорость распространения акустических волн в свае; свайные фундаменты; определение длины свай.

**Для цитирования:** Самарин Д.Г., Устюжанин В.Л., Лобанов А.А. Исследования по определению изменений геометрических параметров буронабивных свай акустическим методом, основанным на схеме двух каналов измерения // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2020. Т. 22. № 5. С. 173–186.

DOI: 10.31675/1607-1859-2020-22-5-173-186

*D.G. SAMARIN, V.L. USTYUZHANIN, A.A. LOBANOV,  
Tomsk State University of Architecture and Building*

## **GEOMETRIC PARAMETERS OF BORED PILES DETERMINED BY DUAL CHANNEL ACOUSTIC MEASUREMENTS**

Surface acoustic measurements in examining pile foundations is increasingly used in practice, as it is an effective tool for the measuring the length and defects of piles. However, this method for diagnostics of monolithic pile structures, for example, bored piles, can lead to significant measurement errors. This is because the propagation velocity of acoustic waves in a bored pile is usually calculated theoretically, and many factors affecting the propagation velocity of acoustic waves are not taken into account. According to earlier research, dual channel acoustic measurements used to determine the length of bored piles, makes it possible to accurately calculate the propagation velocity of acoustic waves and, accordingly, the pile length. It

is shown that dual channel acoustic measurements applied to bored piles allow detecting with sufficient accuracy such defects as cross-sectional deviations of the pile shaft along its length.

**Keywords:** acoustic measurement; bored pile; defects; acoustic wave propagation; pile foundation; pile length.

**For citation:** Samarina D.G., Ustyuzhanin V.L., Lobanov A.A. Issledovaniya po opredeleniyu izmenenii geometricheskikh parametrov buronabivnykh svai akusticheskim metodom, osnovannym na skheme dvukh kanalov izmereniya [Geometric parameters of bored piles determined by dual channel acoustic measurements]. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture. 2020. V. 22. No. 5. Pp. 173–186. DOI: 10.31675/1607-1859-2020-22-5-173-186

В практике свайного фундаментостроения часто возникают задачи по определению длины свай и оценке фактических значений контролируемых параметров, характеризующих работоспособность свай, что, в свою очередь, связано с возникновением высоких рисков образования в них различных дефектов (изменения размеров поперечного сечения сваи по ее длине, нарушение сплошности ствола сваи, трещины, включения инородного материала, пустоты и т. д.).

Для решения задач находят применения различные волновые методы [1–14], где проводимые наблюдения заключаются в изучении распространения упругих или электромагнитных колебаний в системе свая – грунт. Среди них наиболее экономичным и позволяющим в короткие сроки провести большое количество испытаний является поверхностный акустический метод.

Метод основан на принципе акустической дефектоскопии – анализе прохождения в исследуемых конструкциях упругих волн и их отражений от границ раздела сред, имеющих различный акустический импеданс. Исследования проводятся в соответствии со стандартом ASTM D5882 Standard Test Method for Low Strain Impact Integrity Testing of Deep Foundations (Стандартный метод испытаний целостности фундамента глубокого заложения путем приложения ударной нагрузки малой интенсивности) [8].

Возбуждение упругой волны происходит в результате механического удара специального молотка по оголовку сваи, параллельно оси сваи. Возникающее при ударе возмущение распространяется по стволу сваи. От подошвы сваи и дефектов, имеющихся в ней, в стволе возникает отраженная волна, распространяющаяся в обратном направлении к источнику исходной волны.

Отраженные волны регистрируются датчиком (акселерометром), устанавливаемым на оголовке сваи, и с помощью аналого-цифрового преобразователя передаются на компьютер для дальнейшей обработки и визуализации в виде набора рефлектограмм (зависимостей скорости смещения частиц сваи от времени) (рис. 1).

На основе полученных опытных данных производится выделение и измерение временного интервала  $\Delta t$  между моментом удара и моментом прихода на приемное устройство волны, отраженной от границы раздела сред (рис. 1, б). При заданной скорости распространения волны в свае определяется расстояние до границы раздела сред. При этом, как правило, скорость распространения акустических волн в свае принимается исходя из следующего условия:

$$V = \sqrt{\frac{E}{\rho}}, \quad (1)$$

где  $E$  – модуль Юнга;  $\rho$  – плотность материала сваи.

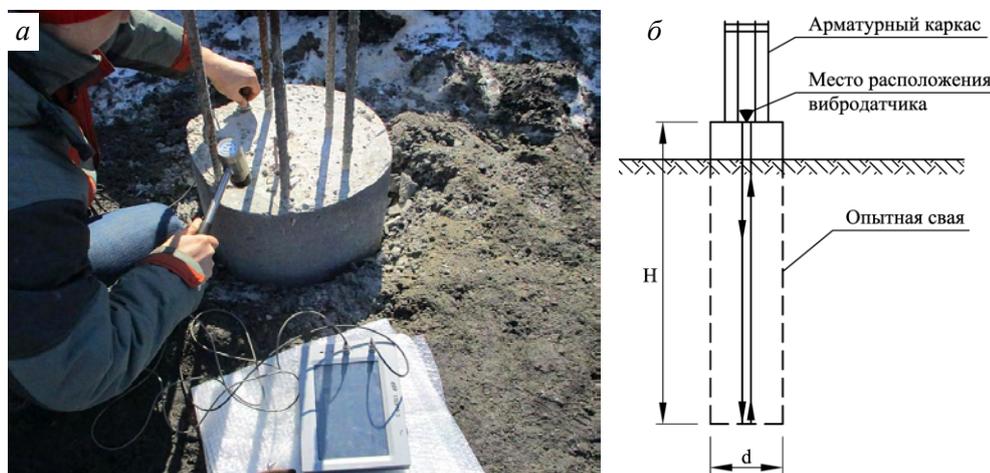


Рис. 1. Пример проведения исследований свай поверхностным акустическим методом:  
*a* – общий вид проведения исследований свай; *б* – схема установки вибродатчика и распространения акустической волны в свае

Однако на практике для буронабивных свай подобное условие практически не выполняется. Из приведенной зависимости (1) видно, что погрешность определения расстояния до границы раздела сред напрямую зависит от того, насколько точно задана скорость распространения акустических волн в свае. Для буронабивных свай эта скорость зависит от множества дополнительных факторов (однородности строения материала тела сваи, возраста бетона, вида и количества крупного заполнителя в бетоне и т. д.), которые приводят к изменению интервального времени пробега продольной волны. В результате этого фактическая скорость акустических волн может существенно отличаться от расчетной.

Повысить точность определения скорости распространения упругих волн в буронабивных сваях при их исследовании поверхностным акустическим методом позволяет способ, основанный на схеме двух каналов измерения [15].

Актуальность рассматриваемой темы вызвана возникновением непредвиденной ситуации при выполнении работ по устройству свайных фундаментов на одном из объектов строительства комплекса сооружений угольной фабрики, расположенной в г. Киселевске Кемеровской области.

При устройстве буронабивных свай был обнаружен значительный перерасход бетонной смеси по сравнению с проектным, что может произойти при отклонениях геометрических параметров буронабивных свай (длины и диаметра свай). Перед подрядной организацией была поставлена задача обоснования сверхнормативного расхода бетонной смеси.

Целью настоящей работы является оценка возможности определения изменений геометрических параметров буронабивных свай поверхностным акустическим методом по схеме двух каналов измерения.

### Инженерно-геологические условия строительной площадки

В геологическом строении участка расположения рассматриваемого объекта в пределах глубины бурения до 14 м было выделено семь инженерно-геологических элементов (рис. 2).

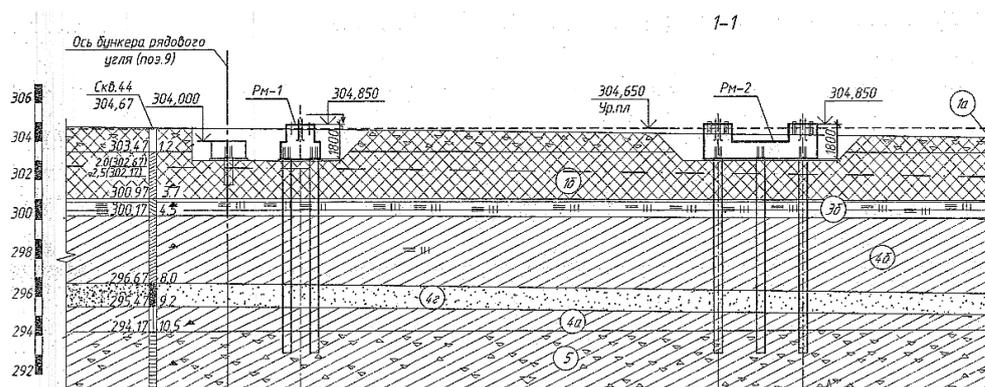


Рис. 2. Инженерно-геологический разрез площадки строительства объекта с посадкой свайного фундамента

ИГЭ 1а. Техногенный (насыпной) щебенисто-дресвяный грунт с суглинистым заполнителем до 30 %.

Вскрытая мощность отложений составляет от 0,5 до 1,2 м.

ИГЭ 1б. Техногенный (насыпной) суглинистый грунт, от полутвердой до мягкопластичной консистенции, с включением щебня, дресвы, строительного мусора до 15 %.

Вскрытая мощность отложений составляет от 2,2 до 2,5 м.

ИГЭ 3б. Суглинки озерно-болотные, голубовато-серого цвета, слабозаторфованные.

Вскрытая мощность отложений составляет от 0,8 до 1,0 м.

ИГЭ 4а. Суглинки аллювиальные, серо-коричневые, пылеватые мягкопластичной консистенции, с примесью органического вещества.

Вскрытая мощность отложений составляет от 0,5 до 1,3 м.

ИГЭ 4б. Суглинки аллювиальные, серо-коричневые, пылеватые, мягкопластичной консистенции, с примесью органического вещества.

Вскрытая мощность отложений составляет от 3,5 до 4,0 м.

ИГЭ 4г. Песок гравелистый (отложения р. Абы), серый, водонасыщенный.

Вскрытая мощность отложений составляет от 1,0 до 1,2 м.

ИГЭ 5. Коренные породы, представленные элювием аргиллита, алевролита, выветренного до состояния суглинка и глины с включением дресвы и щебня до 30 %.

По гидрогеологическим условиям площадка относится к подтопляемой. При бурении скважин уровень грунтовых вод обнаружен на отметке 302,6.

Сваи запроектированы буронабивные железобетонные диаметром 450 мм, длиной 10 м. Для свай принят бетон по прочности В25, по морозостойкости F150, по водонепроницаемости W8. Бетонирование железобетонных свай производится с применением добавки «Пенетрон-Адмикс» из расчета 4 кг добавки на 1 м<sup>3</sup>.

Сваи заглубляются в ИГЭ 5. Вдоль боковой поверхности сваи значительная толща грунтов основания сложена слабыми грунтами – мягкопластичными суглинками ( $IL = 0,75$ ) слабозаторфованными и с примесью органических веществ.

### Методика измерений

Для исследований использован прибор «Спектр-3» производства ООО «НПП Интерприбор», состоящий из ударного инструмента, двух вибродатчиков и устройства для считывания сигналов. Первый вибродатчик совмещен с ударным инструментом (силоизмерительный молоток).

Первый этап проведения работ является подготовительным. Для проведения измерений предварительно были подготовлены опытные сваи: № 6; № 9; № 12 (рис. 3), которые откапывались на глубину ~1 м (рис. 4). Далее на сваях устраиваются горизонтальные площадки, на оголовке сваи и на заданном расстоянии  $L_{изв}$  по длине сваи размером 5×5 см (рис. 5). На боковой поверхности свай горизонтальные площадки устраивались путем прорезки штрабы.

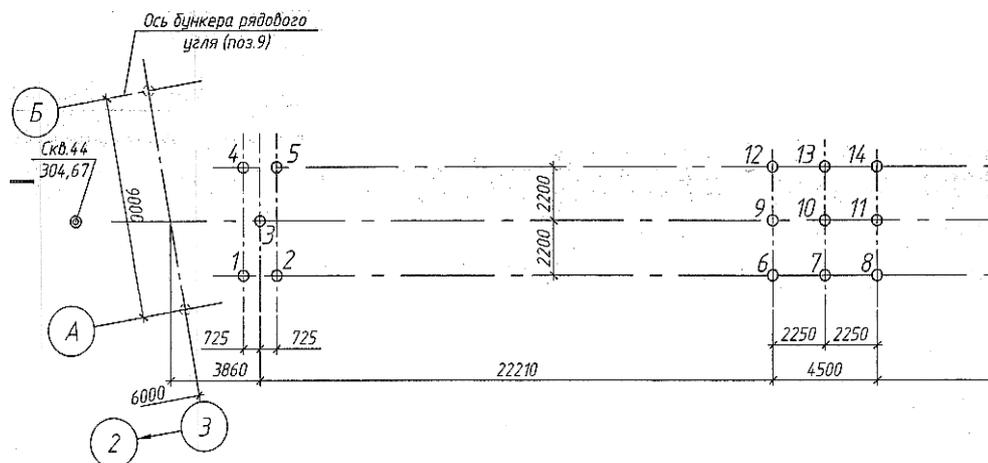


Рис. 3. Фрагмент плана свайного поля с опытными сваями: № 6, № 9, № 12

Первый вибродатчик – акселерометр, который может быть также совмещен с ударным инструментом (первый канал измерения), располагается на оголовке сваи, второй датчик устанавливается на площадку, расположенную на расстоянии  $L_{изв}$  (второй канал измерения) (рис. 5).

Оси вибродатчиков и вектор распространения ударного импульса должны лежать максимально близко к одной прямой.



Рис. 4. Вскрытие опытных свай для проведения исследований

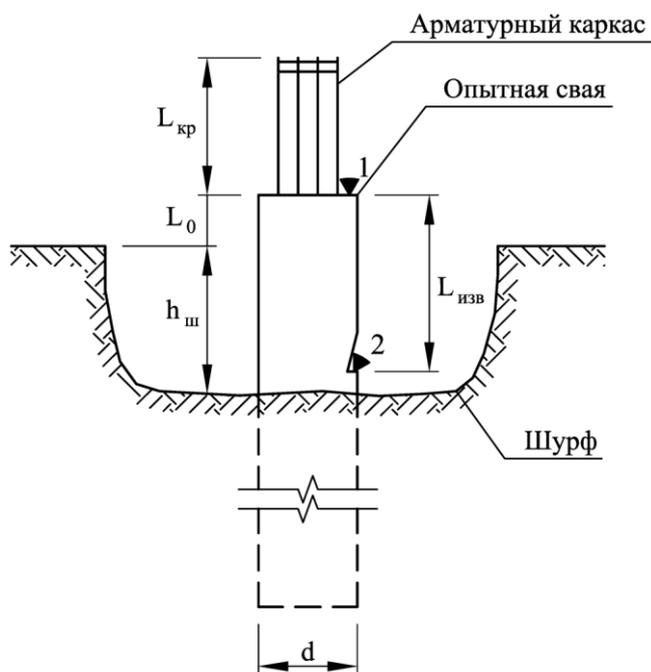


Рис. 5. Схема подготовки свай к исследованиям:

1, 2 – места расположения вибродатчиков;  $L_{изв}$  – заданное расстояние между датчиками;  $h_{ш}$  – глубина шурфа

*Второй этап* включает в себя определение скорости распространения акустической волны в теле буронабивной свай по схеме двух каналов измерения.

Поверхностный акустический метод исследования свай по схеме двух каналов измерений заключается в следующем: ударным инструментом осу-

ществляется механическое воздействие на верхний торец сваи. Это приводит к созданию упругих колебаний в свайном теле. При помощи акселерометров прибором регистрируется виброакустический отклик. Расстояние между зафиксированными сигналами  $L_{уст}$  показывает пройденный акустической волной путь при принятой скорости  $V_{прин}$ . Тогда значение фактической скорости распространения акустической волны  $V_{уст}$  можно определить по формуле

$$V_{уст} = \frac{L_{изв}}{2L_{уст}} V_{прин}, \quad (2)$$

где  $V_{прин}$  – типовое значение скорости волны в свае данного типа, определяемое по формуле (1) м/с;  $L_{изв}$  – база измерений (заданное расстояние между датчиками), м;  $L_{уст}$  – расстояние между пиками сигналов датчиков, м.

*Третий этап* заключается в исследованиях свай поверхностным акустическим методом при использовании значений установленной фактической скорости  $V_{уст}$  по схеме, показанной на рис. 2.

*Четвертый этап* – камеральная обработка полученных опытных данных – рефлектограмм виброакустических откликов во временной и/или спектральной интерпретации.

Характерные рефлектограммы по исследованиям свай представлены на рис. 6. На графиках во временной области пики соответствуют моменту регистрации датчиком волны возбуждения/отражения. Первый пик соответствует моменту создания колебания ударным инструментом. Последующие пики являются отражениями волны от границ раздела сред.

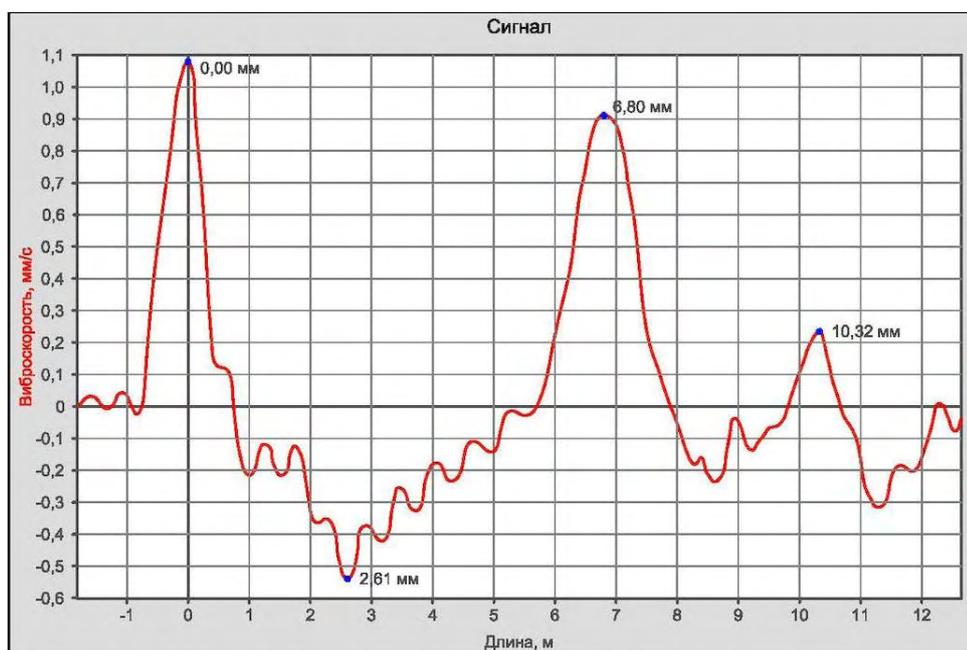


Рис. 6. Рефлектограмма отражений акустической волны с установленными частными значениями длины свай и границ расположения изменений размеров поперечного сечения свай (опыт № 6, свая № 12)

### Результаты исследований

Результаты исследований буронабивных свай представлены на рис. 6 и в табл. 1–5.

Таблица 1

#### Скорость распространения сигнала в свае № 6

№ удара	База измерений, м	Расстояние между пиками сигналов по прибору, м	Измеренное значение скорости волны в свае, м/с
1	0,95	0,64	2968,75
2	0,95	0,64	2968,75
3	0,95	0,66	2878,79
4	0,95	0,62	3064,52
5	0,95	0,62	3064,52
6	0,95	0,64	2968,75
7	0,95	0,70	2714,29
8	0,95	0,62	3064,52
9	0,95	0,64	2968,75
10	0,95	0,64	2968,75

Таблица 2

#### Скорость распространения сигнала в свае № 9

№ удара	База измерений, м	Расстояние между пиками сигналов по прибору, м	Измеренное значение скорости волны в свае, м/с
1	0,91	0,58	3137,93
2	0,91	0,52	3500,00
3	0,91	0,57	3192,98
4	0,91	0,64	2843,75
5	0,91	0,52	3500,00
6	0,91	0,56	3250,00
7	0,91	0,57	3192,98
8	0,91	0,60	3033,33
9	0,91	0,54	3370,37
10	0,91	0,72	2527,78

Таблица 3

#### Скорость распространения сигнала в свае № 12

№ удара	База измерений, м	Расстояние между пиками сигналов по прибору, м	Измеренное значение скорости волны в свае, м/с
1	0,92	0,61	3016,39
2	0,92	0,60	3066,67
3	0,92	0,62	2967,74
4	0,92	0,61	3016,39
5	0,92	0,64	2875,00

Окончание табл. 3

№ удара	База измерений, м	Расстояние между пиками сигналов по прибору, м	Измеренное значение скорости волны в свае, м/с
6	0,92	0,66	2787,88
7	0,92	0,68	2705,88
8	0,92	0,64	2875,00
9	0,92	0,68	2705,88
10	0,92	0,64	2875,00

Таблица 4

**Фактическая скорость распространения сигнала в сваях на объекте**

№ сваи	Скорость волны в свае, м/с	Фактическое значение скорости волны в свае, м/с
6	2963,04	3002,38
9	3154,91	
12	2889,18	

Таблица 5

**Таблица результатов определения длин некоторых буронабивных свай на объекте**

№ сваи	Измерения длины свай, м										Установлен- ная длина свай, м
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
6	10,02	10,05	9,93	10,02	10,02	10,05	9,96	10,02	9,93	9,96	10,0
7	10,09	10,09	10,15	10,18	10,15	10,12	10,12	10,15	10,15	10,18	10,1
9	9,29	9,48	9,48	9,25	9,38	9,25	9,38	9,38	9,32	9,38	9,4
11	9,89	9,93	9,89	9,93	9,93	9,83	9,83	9,89	9,83	9,86	9,9
12	10,54	10,41	10,70	10,69	10,60	10,32	10,5	10,63	10,73	10,66	10,6
13	10,12	10,09	10,12	10,09	10,12	10,15	10,15	10,18	9,96	10,02	10,1

Согласно приведенным в табл. 4 результатам, имеется существенное различие между фактической скоростью распространения акустических волн в буронабивных сваях и скоростью, определенной расчетным путем по формуле (2), и скоростью, определенной расчетным путем по формуле (1). Так, установленная по схеме двух каналов измерения фактическая скорость составила  $V_{\text{уст}} = 3002,38$  м/с (табл. 4), при этом расчет скорости акустических волн по формуле (1) дает значение  $V_{\text{расч}} = 3535$  м/с.

Из полученных данных видно, что при использовании значений расчетной скорости следует ожидать значительной погрешности измерения длины свай.

Одна из задач данных исследований заключалась в обосновании перерасхода бетонной смеси при устройстве буронабивных свай, что может наблюдаться при длине буронабивных свай больше проектной и/или при увеличении размеров сваи за счет ее самопроизвольного уширения в слабых грунтах.

Результаты исследований (табл. 5) по определению фактической длины свай показывают, что ее длина соответствует проектной. Измеренная длина свай составляет 9,4–10,6 м, проектная – 10,0 м. Таким образом, было установлено, что размер свай по длине не связан с перерасходом бетонной смеси.

Известно, что при устройстве буронабивных свай на строительных площадках, сложенных слабыми грунтами, поперечное сечение свай по глубине может меняться в результате действия собственного веса тела сваи на околосвайный грунт.

При установлении дефекта в виде уменьшения или увеличения поперечного сечения свай акустический импеданс не меняется в случае постепенного изменения диаметра сваи по ее длине. Любое скачкообразное изменение площади поперечного сечения сваи (рис. 7), т. е. наличие границы раздела между частями сваи с разными размерами поперечного сечения, приведет к изменению акустического импеданса и распространению от границы раздела отраженной волны. При этом интенсивность виброакустического отклика в определенной степени будет зависеть от величины разности размеров частей сваи на границе раздела.

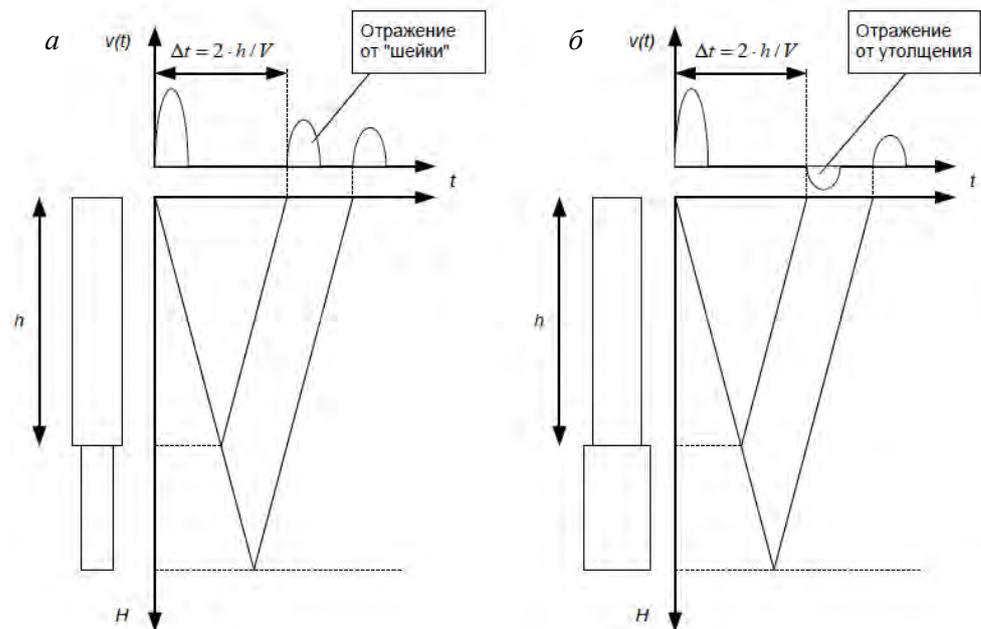


Рис. 7. Влияние формы сваи на получаемый виброакустический отклик [ 8]:  
а – сужение ствола сваи; б – уширение ствола сваи

От знака изменения импеданса на границе раздела будет зависеть и знак отражения. Если происходит уменьшение поперечного сечения, то отражение

будет совпадать по знаку с виброакустическим откликом от ударного воздействия на сваю (рис. 7, а). Если идет увеличение поперечного сечения, то виброакустический отклик отраженной волны будет противоположен с ударом знака (рис. 7, б).

Анализ рефлектограмм (рис. 7) показывает, что контрастная смена слоев и наличие прослойки слабого грунта вызывают на их границах изменения размеров поперечного сечения сваи в сторону увеличения ее диаметра (рис. 8). Так, первый пик «полезного» сигнала соответствует моменту возникновения ударного импульса. Второй пик свидетельствует об уширении ствола свайного тела – виброакустический отклик отраженной волны имеет обратный знак. Третий пик соответствует границе раздела слабого грунта, суглинка мягкопластичного и песка гравелистого. При этом происходит уменьшение диаметра сваи и образование «шейки». Четвертый пик является виброакустическим откликом от подошвы сваи.

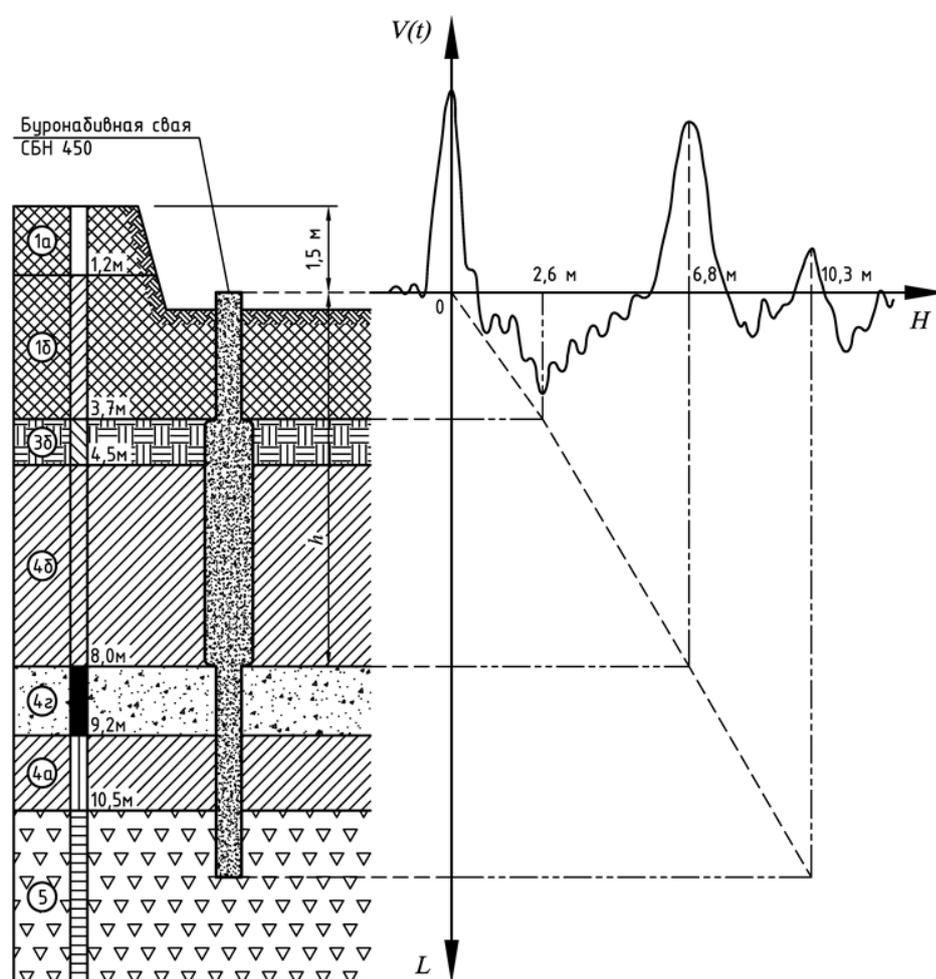


Рис. 8. Схема влияния изменения поперечного сечения буронабивной сваи на виброакустический отклик

На инженерно-геологическом разрезе рассматриваемой строительной площадки можно выделить толщу слабых грунтов – инженерно-геологические элементы: ИГЭ 3б, 4а, 4б, представленные суглинком мягкопластичным ( $IL = 0,75$ ) с содержанием органических веществ, перекрываемые прочными техногенными грунтами (ИГЭ 1а, 1б) и подстилаемые песком гравелистым – ИГЭ 4г.

На рис. 7 показаны характерные сигналы виброакустического отклика для буронабивной сваи длиной 10 м со сформированной в слабом грунте уширенной частью. Видно, что на глубинах  $h \sim 3,7$  м и  $h \sim 8,0$  м, на границах изменения поперечного сечения ствола сваи, зафиксированы ярко выраженные отклики отраженной акустической волны. Это говорит о формировании в этом месте участка свайного тела со значительными изменениями размеров поперечного сечения, что было также выявлено при сопоставлении объемов бетонной смеси – фактических и предполагаемых по проекту. Здесь подрядной организацией была предоставлена только ограниченная информация. Было заявлено о существенном перерасходе бетонной смеси, что качественно подтверждается полученными опытными данными.

По результатам исследований буронабивных свай поверхностным акустическим методом, основанным на схеме двух каналов измерения, можно сделать следующее заключение.

Использование для поверхностного акустического метода исследований буронабивных свай расчетной скорости, определяемой по формуле (1), может привести к значительной погрешности измерений требуемых параметров.

Применение в поверхностном акустическом методе исследований буронабивных свай схемы двух каналов измерения позволяет с высокой точностью определять имеющиеся в них дефекты, например такие как изменения геометрических параметров по длине свай [15] и поперечному сечению. На рис. 8 видно, что промежуточный виброакустический отклик отраженной волны получен с глубины  $h \sim 2,6$  м и  $h \sim 6,8$  м. Это хорошо согласуется с границей раздела контрастных сред – техногенный грунт, суглинок и песок гравелистый – с расположением слоев  $h_1 \sim 3,7$  м,  $h_2 \sim 6,8$  м (рис. 8), где наблюдаются изменения диаметра свай. Полученные сигналы свидетельствуют о скачкообразных и относительно больших изменениях в этом месте размеров поперечного сечения.

Необходимо отметить, что становится возможным определять не только изменение размеров поперечного сечения по длине сваи, но и характер этого изменения, образование уширения или «шейки» ствола сваи. В данном случае характер полученного сигнала свидетельствует об уширении ствола сваи.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Капустин В.В. Применение волновых методов для определения длины свай // Технологии сейсморазведки. 2009. № 2. С. 113–117.
2. Капустин В.В. Методика изучения особенностей распространения акустических волн в бетонных сваях с использованием методов численного моделирования // Вестник Московского университета. Сер. 4. Геология. 2008. № 3. С. 65–70.
3. Хмельницкий А.Ю., Владов М.Л., Капустин В.В. Экспериментальное исследование влияния вмещающего грунта на распространение акустических волн в свайных конструкциях // Инженерные изыскания. 2012. № 6. С. 16–23.

4. *Капустин В.В.* К вопросу о физических основах акустического метода испытания свай // Инженерные изыскания. 2011. № 11. С. 10–15.
5. *Капустин В.В.* Акустические методы контроля качества свайных фундаментных конструкций // Разведка и охрана недр. 2008. № 12. С. 1216.
6. *Капустин В.В.* Применение сейсмических и акустических технологий при исследовании состояния подземных строительных конструкций // Технологии сейсморазведки. 2008. № 1. С. 91–99.
7. *Алешин Д.Н., Котова Н.В., Алешина Е.А.* Комплекс методов неразрушающего контроля для обследования фундаментов зданий // Вестник Сибирского государственного индустриального университета. 2014. № 4 (10). С. 40–42.
8. *ASTM D5882–16.* Standard Test Method for Low Strain Impact Integrity Testing of Deep Foundations.
9. *Carino, N.J.* The Impact-Echo Method: An Overview [Text] / N.J. Carino. – Building and Fire Research Laboratory. National Institute of Standards and Technology Gaithersburg, MD 20899-8611 USA, 2001.
10. *Davis A.G.* Nondestructive Testing of Wood Piles [Text] / A.G. Davis // Proceeding, Second International Conference on Wood Poles and Piles. 1994. March 21–23. Fort Collins, CO.
11. *Xiping Wang, Ross R.J.* Nondestructive Evaluation of Standing Trees with a Stress Wave Method // J. Wood and Fiber Science. 2001. № 33 (4). P. 522–533.
12. *Schubert F., Kohler B., Pfeiffer A.* Time Domain Modeling of Axisymmetric Wave Propagation in Isotropic Elastic Media with CEFIT // Cylindrical Elastodynamic Finite Integration Technique: Journal of Computational Acoustics. 2001. V. 9. № 3. P. 1127–1146.
13. *Niederleithinger E., Taffe A., Fehner, T.* Improved Parallel Seismic Technique for Foundation Assessment: SAGEEP, 2005, Extended Abstracts: Atlanta, USA.
14. *Niederleithinger E.* Numerical simulation of low strain dynamic pile tests. Proceedings of Stresswave: Lisbon, 2008.
15. *Самарин Д.Г., Устюжанин В.Л., Лобанов А.А.* Исследования по определению длины буронабивных свай акустическими методами, основанными на схеме двух каналов измерения // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2020. Т. 22. № 4. С. 180–191.

#### REFERENCES

1. *Kapustin V.V.* Primenenie volnovykh metodov dlya opredeleniya dliny svaj [Pile length measurement using acoustic wave methods]. *Tekhnologii sejsmorazvedki*. 2009. No. 2. Pp. 113–117. (rus)
2. *Kapustin V.V.* Metodika izucheniya osobennostej rasprostraneniya akusticheskikh voln v betonnykh svayah s ispol'zovaniem metodov chislennogo modelirovaniya [Acoustic wave propagation in concrete piles studied by numerical simulation methods]. *Vestnik Moskovskogo universiteta. Ser. 4. Geologiya*. 2008. No. 3. Pp. 65–70. (rus)
3. *Hmel'nickij A.Yu., Vladov M.L., Kapustin V.V.* Eksperimental'noe issledovanie vliyaniya vmeshchayushchego grunta na rasprostranenie akusticheskikh voln v svajnykh konstrukciyakh [Containment soil impact on acoustic wave propagation in pile structures]. *Inzhenernye izyskaniya*. 2012. No. 6. Pp. 16–23. (rus)
4. *Kapustin V.V.* K voprosu o fizicheskikh osnovakh akusticheskogo metoda ispytaniya svaj [Physical bases for acoustic pile testing]. *Inzhenernye izyskaniya*. 2011. No. 11. Pp. 10–15. (rus)
5. *Kapustin V.V.* Akusticheskie metody kontrolya kachestva svajnykh fundamentnykh konstrukcij [Acoustic quality control for pile foundation structures]. *Razvedka i ohrana neдр*. 2008. No. 12. Pp. 1216. (rus)
6. *Kapustin V.V.* Primenenie sejsmicheskikh i akusticheskikh tekhnologij pri issledovanii sostoyaniya podzemnykh stroitel'nykh konstrukcij [Seismic and acoustic technologies in studying underground structure conditions]. *Tekhnologii sejsmorazvedki*. 2008. No. 1. Pp. 91–99. (rus)
7. *Aleshin D.N., Kotova N.V., Aleshina E.A.* Kompleks metodov nerazrushayushchego kontrolya dlya obsledovaniya fundamentov zdaniy [Non-destructive testing of building foundations]. *Vestnik Sibirskogo gosudarstvennogo industrial'nogo universiteta*. 2014. No. 4 (10). Pp. 40–42. (rus)

8. ASTM D5882–16. Standard test method for low strain impact integrity testing of deep foundations.
9. Carino N.J. The impact-echo method: an overview. Building and Fire Research Laboratory. National Institute of Standards and Technology Gaithersburg, MD 20899-8611 USA, 2001.
10. Davis A.G. Nondestructive testing of wood piles. In: *Proc. 2nd Int. Conf. on Wood Poles and Piles*. Fort Collins, CO, 1994.
11. Xiping Wang, Ross R.J. Nondestructive evaluation of standing trees with a stress wave method. *Wood and Fiber Science*. 2001. No. 33 (4). Pp. 522–533.
12. Schubert F., Kohler B., Pfeiffer A. Time domain modeling of axisymmetric wave propagation in isotropic elastic media with CEFIT – Cylindrical Elastodynamic Finite Integration Technique. *Journal of Computational Acoustics*. 2001. V. 9. No. 3. Pp. 1127–1146.
13. Niederleithinger E., Taffe A., Fechner, T. Improved parallel seismic technique for foundation assessment. *Proc. Annu. Meeting “The Application of Geophysics to Engineering and Environmental Problems”*. Atlanta, USA, 2005.
14. Niederleithinger E. Numerical simulation of low strain dynamic pile tests. *Proceedings of Stresswave*. Lisbon, 2008.
15. Samarин D.G., Ustyuzhanin V.L., Lobanov A.A. Issledovaniya po opredeleniyu dliny buronabivnykh svai akusticheskimi metodami, osnovannymi na skheme dvukh kanalov izmereniya [Acoustic measurements of bored pile length using two channels]. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture*. 2020. V. 22. No. 4. Pp. 180–191. (rus)

#### Сведения об авторах

Самарин Дмитрий Геннадьевич, канд. техн. наук, доцент, Томский государственный архитектурно-строительный университет, 634003, г. Томск, пл. Соляная, 2, sdgsamara@mail.ru

Устюжанин Владимир Леонидович, ст. преподаватель, Томский государственный архитектурно-строительный университет, 634003, г. Томск, пл. Соляная, 2, tgasu9k@mail.ru

Лобанов Александр Александрович, ст. преподаватель, Томский государственный архитектурно-строительный университет, 634003, г. Томск, пл. Соляная, 2, oflaa2010@mail.ru

#### Authors Details

Dmitry G. Samarин, PhD, A/Professor, Tomsk State University of Architecture and Building, 2, Solyanaya Sq., 634003, Tomsk, Russia, sdgsamara@mail.ru

Vladimir L. Ustyuzhanin, Senior Lecturer, Tomsk State University of Architecture and Building, 2, Solyanaya Sq., 634003, Tomsk, Russia, tgasu9k@mail.ru

Alexander A. Lobanov, Senior Lecturer, Tomsk State University of Architecture and Building, 2, Solyanaya Sq., 634003, Tomsk, Russia, oflaa2010@mail.ru

УДК 624.139.262+624.139.264 DOI: 10.31675/1607-1859-2020-22-5-187-199

*В.В. ФУРСОВ, Г.И. ТАЮКИН, М.В. БАЛЮРА,  
Томский государственный архитектурно-строительный университет*

## **ДЕФОРМАЦИИ СООРУЖЕНИЙ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ ОБЪЕКТОВ НЕФТЕХИМИЧЕСКОГО КОМБИНАТА В УСЛОВИЯХ ГЛУБОКОГО СЕЗОННОГО ПРОМЕРЗАНИЯ ГРУНТОВ**

Приведен анализ деформаций сооружений при строительстве объектов нефтехимического комбината (базы стройиндустрии, канализационно-очистных сооружений и др.) под воздействием сезонного промерзания и оттаивания глинистых грунтов оснований. Установлены закономерности возникновения и развития деформаций в период строительства при однократном промерзании-оттаивании и при многолетних циклах в зависимости от глубины заложения фундаментов в слой сезоннопромерзающего грунта, давления на основания и других факторов. Показано, что значения осадки при оттаивании промерзших грунтов основания значительно превосходят их выпучивание при промерзании. Разработаны рекомендации по уменьшению и предотвращению недопустимых деформаций, восстановлению и усилению конструкций. Показаны преимущества свайных фундаментов по сравнению с фундаментами на естественном основании в условиях глубокого сезонного промерзания грунтов.

**Ключевые слова:** нефтехимический комбинат; сооружения; фундамент; обследование; деформации; грунты; морозное пучение; осадки при оттаивании; глубина промерзания; восстановление и усиление конструкций.

**Для цитирования:** Фурсов В.В., Таюкин Г.И., Балюра М.В. Деформации сооружений при строительстве объектов нефтехимического комбината в условиях глубокого сезонного промерзания грунтов // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2020. Т. 22. № 5. С. 187–199. DOI: 10.31675/1607-1859-2020-22-5-187-199

*V.V. FURSOV, G.I. TAYUKIN, M.V. BAILYURA,  
Tomsk State University of Architecture and Building*

## **STRUCTURAL DEFORMATION OF FUEL AND CHEMICAL REFINER OBJECTS IN SEASONAL SOIL FREEZING**

The paper presents the analysis of deformation caused by seasonal freezing and thawing of clay foundation soils during the construction of construction industry bases, waste treatment facilities and others, etc. The deformation generation and development during a single freezing-thawing cycle and long-term cycles are discussed depending on the foundation depth of seasonally freezing soil, foundation pressure and other factors. It is shown that soil setting during thawing of the frozen soil significantly exceeds its bulging during freezing. Recommendations are given on the reduction and prevention of inadmissible deformations, and structural restoration and reinforcement. The advantages of pile foundations are shown against the natural foundations in seasonal soil freezing conditions.

**Keywords:** fuel and chemical refiner; buildings; foundation; examination; deformation; soil; frost heaving; freezing depth; structural restoration and reinforcement.

**For citation:** Fursov V.V., Tayukin G.I., Balyura M.V. Deformatsii sooruzhenii pri stroitel'stve ob'ektov neftekhimicheskogo kombinata v usloviyakh glubokogo se-

zonnogo promerzaniya gruntov [Structural deformation of fuel and chemical refiner objects in seasonal earth freezing]. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture. 2020. V. 22. No. 5. Pp. 187–199.  
DOI: 10.31675/1607-1859-2020-22-5-187-199

Сложность условий строительства в Западной Сибири с глубоким сезонным промерзанием морозоопасных грунтов нередко приводит к деформациям зданий и сооружений [1–4]. В Томской области, где нормативная глубина промерзания широко распространенных пылеватых суглинков составляет 2,2 м, ежегодно имеют место деформации сооружений в результате промерзания и последующего оттаивания оснований. Большая их часть происходит в период строительства, когда фундаменты, заложенные с учетом теплового режима зданий, оказываются в зоне промерзания. Актуальность вопросов, связанных с изучением взаимодействия фундаментов с пучинистыми грунтами оснований, и разработка методов исследования этого взаимодействия обуславливают необходимость анализа характерных деформаций сооружений с целью выявления особенностей и основных закономерностей этих явлений.

Деформации зданий и сооружений с фундаментами на естественном основании наблюдались при строительстве объектов Томского нефтехимического комбината (ТНХК), на площадках канализационно-очистных сооружений (КОС) и базы стройиндустрии (БСИ).

Грунты площадки представлены аллювиальными суглинками третьей надпойменной террасы р. Томи и Томь-Яйского водораздела с консистенцией от тугопластичной и мягкопластичной до текучей.

Суглинки пылеватые интенсивно карбонатизированные, легкая фракция на 70–95 % состоит из кварца и полевых шпатов, в коллоидно-дисперсной фракции преобладает каолинит.

Верхняя часть геологического разреза представлена суглинками полутвердыми и тугопластичными толщиной слоя 1,2–1,5 м, они подстилаются суглинками с консистенцией от мягкопластичной до текучей. На глубине более 2 м встречаются пылеватые суглинки и супеси пластичной и текучей консистенции. Влажность грунтов увеличивается с глубиной по мере приближения к уровню подземных вод.

Уровень подземных вод залегает на глубине от 4 до 10 м, а на некоторых участках – на глубине 1,5–3,0 м.

В целом грунты площадки ТНХК представлены водонасыщенными, слабыми суглинками, сильнопучинистыми при промерзании.

Осредненные характеристики физико-механических свойств грунтов даны в табл. 1.

Характерным примером деформаций сооружений в период строительства в результате сезонного промерзания-оттаивания морозоопасных грунтов могут служить некоторые объекты КОС ТНХК.

Здание решеток (рис. 1) на площадке очистных сооружений получило аварийные деформации и было разобрано, а впоследствии восстановлено с усилением конструкций.

Таблица 1

## Физико-механические свойства грунтов

Глубина	Грунт	Характеристики физико-механических свойств грунтов												
		$\rho_s$	$\rho$	$\rho_d$	$e$	$S_r$	$w$	$w_L$	$w_P$	$I_P$	$I_L$	$E$	$c$	$\phi$
		г/см <sup>3</sup>					в %					МПа		
0,0–1,5	Суглинок	2,71	1,90–1,93	1,57	0,73	0,8	21–23	28	18	10	0,3–0,5	8,0	0,02	14
1,5–2,2	Суглинок	2,71	1,93–1,98	1,55	0,76	0,9–1,0	23–28	28	18	10	0,5–1,0	4,0	0,01	13–9
2,2–6,0	Суглинок	2,70	1,89–1,95	1,55	0,75	0,9–1,0	22–26	26	17	8	0,6–1,0	3,0–5,0	0,01–0,02	18–9
2,0–9,0	Супесь	2,68	2,00–2,10	1,67	0,60	0,9–1,0	20–26	23	17	6	0,6–1,0	4,0	0,01	19–11

Гранулометрический состав грунтов приведен в табл. 2.

Таблица 2

## Гранулометрический состав грунтов

Глубина залегания, м	Наименование грунтов, показатель текучести	Состав фракций, %		
		Песчаная 2,000–0,050 мм	Пылеватая 0,050–0,005 мм	Глинистая < 0,005 мм
0,0–2,2	Суглинок пылеватый $I_L = 0,3–1,0$	40–15	50–70	10–15
2,2–6,0	Суглинок пылеватый $I_L = 0,6–1,0$	63–26	24–63	13–11
2,0–9,0	Супесь $I_L = 0,6–1,0$	71–58	22–33	7–9

Оно имеет размеры в плане 30×12 м. Относительная отметка верха четырехэтажной части здания в осях «1–2» составляет +13.100 м, а одноэтажной в осях «2–6» составляет +9.100 м, при планировочной отметке: –0.150 м. В осях «2–3» расположен технологический приямок с отметкой пола –4.400 м. Стены кирпичные, фундаменты свайные. Сборные железобетонные фундаментные

балки опираются одной стороной на ростверк, другой – на стены приямка, который устроен на естественном основании. Такое проектное решение является грубой ошибкой, которое приводит к неравномерным деформациям конструкций, т. к. осадки свайных фундаментов значительно меньше осадок фундаментов на естественном основании.

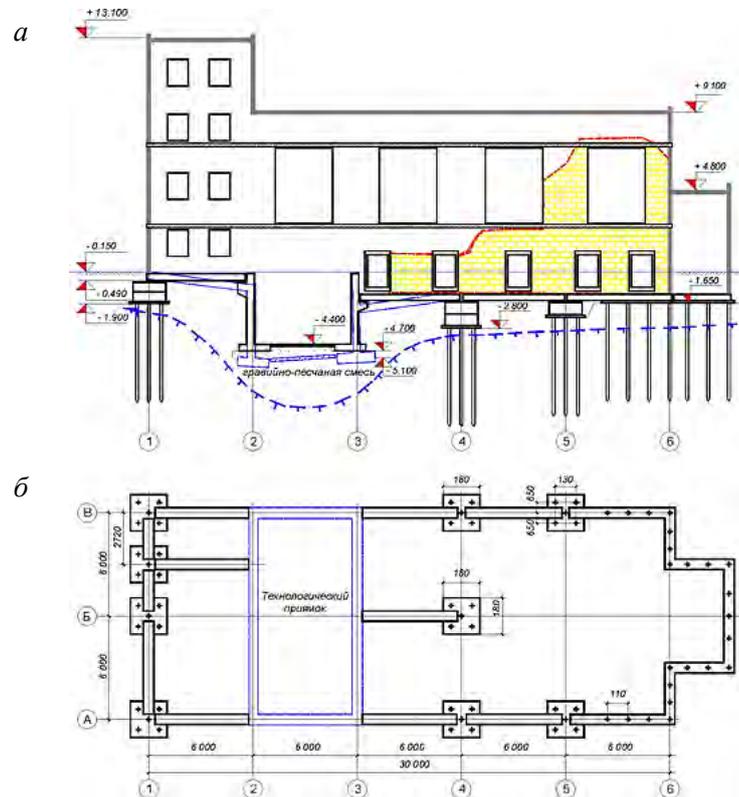


Рис. 1. Здание решеток на площадке КОС:  
а – разрез; б – план фундаментов

Строительство велось в осенне-зимний период. Основание было заморожено, по нему выполнена уплотненная отсыпка из гравия, по которой устроена железобетонная фундаментная плита в технологическом приямке. До весны деформаций конструкций выявлено не было. Развитие трещин в стенах стало наблюдаться в мае при оттаивании грунтов и осадках основания приямка. Наибольшего раскрытия трещины в стенах достигали в июне, развиваясь особенно интенсивно в месте сопряжения четырехэтажной части здания с одноэтажной, на оседающей стене приямка. Осадка приямка составляла до 25 см, что привело здание в аварийное состояние с угрозой обрушения стен. Большая часть конструкций выше отметки  $\pm 0,000$  м была демонтирована, фундаменты усилены, и монолитные железобетонные фундаментные балки стали опираться на дополнительно забитые сваи. Восстановление и усиление здания представлено на рис. 2.

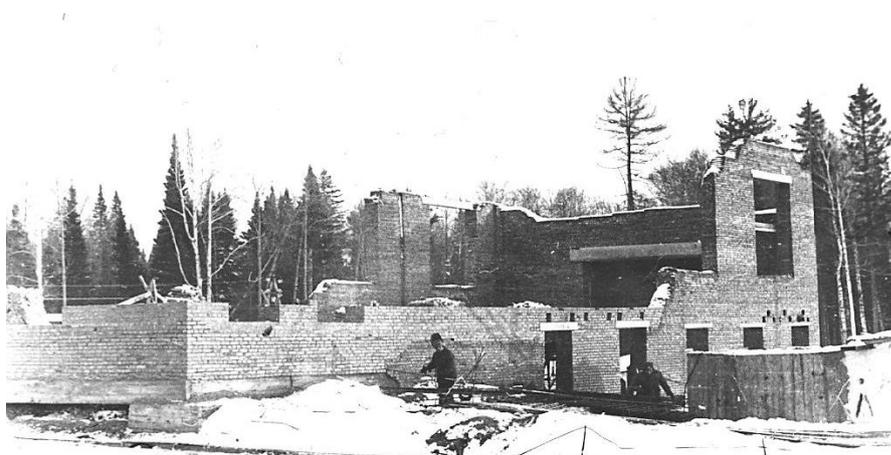


Рис. 2. Восстановление здания решеток после его частичной разборки

Здание было усилено железобетонными поясами и стальными колоннами, кладка стен была выполнена заново. Для предотвращения промерзания грунта в период строительства в приямок был сделан тепловой контур. Деформаций здания в процессе его дальнейшей эксплуатации не наблюдалось.

Вид здания решеток после восстановления и усиления конструкций представлен на рис. 3.

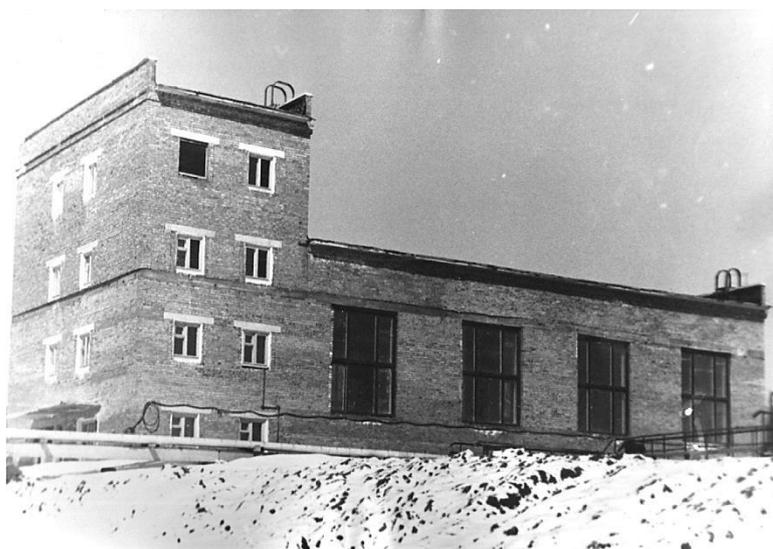


Рис. 3. Здание решеток после восстановления и усиления конструкций

Примером воздействия сезонного промерзания-оттаивания на здание с фундаментами на естественном основании, имеющими различное заглубление, может служить водонасосная станция второго подъема на той же площадке. Разрез и план водонасосной станции представлен на рис. 4.

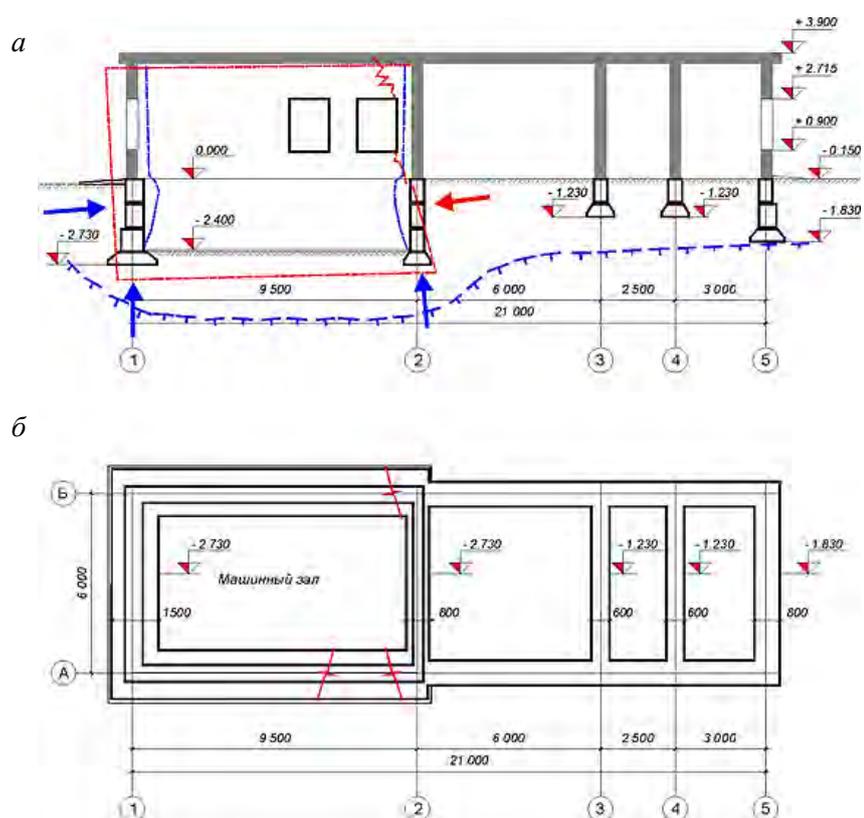


Рис. 4. Водонасосная станция на площадке КОС:  
а – разрез; б – план фундаментов

Одноэтажный кирпичный корпус имеет размеры в плане  $21 \times 6$  м и отметкой верха  $+3.900$  м. Фундаменты сборные железобетонные на естественном основании с отметками подошвы  $-2.730$ ;  $-1.830$ ;  $-1.290$  м. В осях «1–2» расположен приямок машинного зала размерами в плане  $(6,5 \times 9,5)$  м, с отметкой пола  $-2,400$  м. Глубина заложения фундаментов в машинном зале от планировочной отметки ( $-0.150$  м) составляет  $2,850$  м, а от пола в приямке  $-0,330$  м.

Строительство осуществлялось одновременно со зданием решеток. В зимний период основание было заморожено, и при оттаивании грунтов в мае – июне появились трещины через оконные и дверные проемы (рис. 4).

В месте сопряжения приямка с бесподвальной частью здания ширина раскрытия трещин в верхних рядах кладки составляла  $5\text{--}7$  см. Часть здания с фундаментами, заглубленными на  $-1.290$  и  $-1.830$  м, не была деформирована, хотя фундаменты в период строительства находились в слое сезонного промерзания, что свидетельствует о существенном влиянии величины заглубления фундаментов в слое промерзания на уменьшение их деформаций.

На территории БСИ в аналогичных условиях были деформированы пропарочные камеры завода керамзитобетонных панелей, опоры складов инертных материалов и другие объекты строительства.

Высота железобетонных стен камер составляет 3,3 м; длина – 120,0 м. Глинистое основание под южной частью камер, выходящих торцом к складу готовой продукции, было заморожено. По его поверхности выполнена отсыпка гравием с последующим уплотнением и выравниванием.

По поверхности гравийной подготовки устроена железобетонная плита фундамента пропарочной камеры. При оттаивании в мае – июне основание южной части камер получило осадку более 50 см и возник выгиб конструкции.

По всей длине стенки через 3–5 м наблюдалось раскрытие трещин до 3–4 см (рис. 5). При реконструкции камер просевший край наращивался до проектных отметок дополнительным бетонированием, а трещины по длине камер замоноличивались. На рис. 6 показано наращивание стен пропарочной камеры завода керамзитобетонных панелей на БСИ.

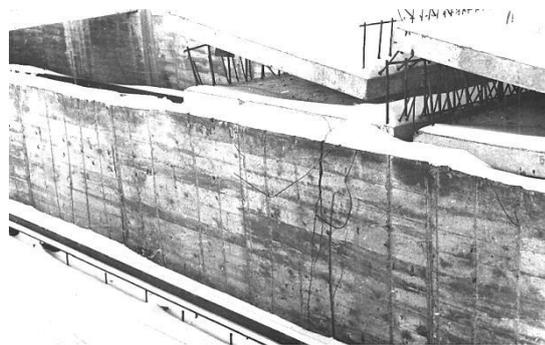


Рис. 5. Раскрытие трещин в стенке пропарочной камеры завода керамзитобетонных панелей БСИ ТНХК



Рис. 6. Наращивание стенки пропарочной камеры завода керамзитобетонных панелей

После реконструкции здание не было введено в эксплуатацию и не отапливалось. В стенах приемных устройств камеры возникли деформации от воздействия морозного пучения грунтов в основании и за стенкой.

В качестве противопучинных мероприятий широко применяются засыпки и подсыпки из непучинистых материалов, таких как песок, гравийно-песчаная смесь, гравий и др. Вместе с тем следует учитывать, что такие материалы обладают значительно большей теплопроводностью и глубина их промерзания приблизительно на 25–40 % больше, чем местных глинистых грунтов: суглинков и супесей. На рис. 7 показано разрушение опор склада инертных материалов завода железобетонных конструкций БСИ ТНХК.



Рис. 7. Разрушение опор складов инертных материалов завода железобетонных конструкций БСИ ТНХК

Причиной возникновения деформаций сооружения стало использование гравийно-песчаной смеси (ГПС) в качестве противопучинного мероприятия для обратной засыпки пазух фундаментов.

В них скапливались талые воды и дождевые осадки, обводняющие залегающие ниже суглинки и повышающие их влажность и морозоопасность. При этом глубина промерзания пучинистых суглинков благодаря высокой теплопроводности засыпки ГПС увеличивалась, что приводило к деформациям конструкций складов инертных материалов. В качестве материалов для обратной засыпки пазух фундаментов рекомендуется использовать местные глинистые грунты, золошлаковые отходы тепловых электростанций, а для уменьшения воздействия морозного пучения – современные эффективные материалы [5]. В дальнейшем склады, имеющие аварийные деформации, были демонтированы. На рис. 8 показан демонтаж одного из складов инертных материалов завода железобетонных конструкций на БСИ.

Проведенные исследования позволили установить некоторые закономерности деформаций оснований при сезонном промерзании и последующем оттаивании грунтов, а также разработать конкретные рекомендации по повышению надежности фундаментов при строительстве сооружений ТНХК. Было установлено, что осадки фундаментов зданий и сооружений при оттаивании

промороженных оснований значительно превосходили их выпучивание при промерзании [6–10].



Рис. 8. Демонтаж деформированного склада инертных материалов

Процесс промерзания-оттаивания, сопровождающийся текстурно-структурными преобразованиями пылевато-глинистых грунтов, приводит к изменению их физико-механических свойств по сравнению с исходными до промерзания.

В период оттаивания наблюдается уменьшение значений прочностных характеристик, увеличение сжимаемости и ускорение консолидации осадок вследствие повышения фильтрационной способности грунтов, а также изменения водостойкости грунтовых агрегатов [11–14].

По результатам проведенного анализа отказов несущей способности конструкций зданий и сооружений установлено, что их причины обусловлены в большинстве случаев ошибками при проектировании, связанными с недостаточным учётом влияния процессов сезонного промерзания и последующего оттаивания грунтов на совместные деформации оснований сооружений, нарушением технологии производства работ и в меньшей степени зависят от качества конструктивных элементов и пр.

Во избежание возникновения деформаций сооружений строившихся заводов на ТНХК было принято согласованное решение отказаться от фундаментов на естественном основании, а строительство вести на свайных фундаментах. Основные сооружения, построенные на свайных фундаментах, не имели деформаций, связанных с сезонным промерзанием и морозным пучением грунтов, ни в период строительства, ни в период дальнейшей эксплуатации.

Здания, передающие большие нагрузки на глинистые грунты при промерзании, как правило, не имели заметных деформаций выпучивания, но деформировались при последующем оттаивании грунтов и значительном ухудшении физико-механических свойств грунтов основания.

Одноэтажные здания и сооружения с небольшими нагрузками на фундаменты с глубиной заложения 0,5–0,8 м имели серьёзные повреждения.

С увеличением глубины заложения фундаментов до 1,5 м в ряде случаев здания не получили заметных деформаций, что подтверждает возможность в некоторых случаях применения мелкозаглубленных фундаментов в условиях глубокого сезонного промерзания грунтов.

Для уменьшения воздействия морозного пучения грунтов на фундаменты необходимо использовать эффективные противопучинные мероприятия в зависимости от инженерно-геологических условий и степени морозной пучинистости грунтов.

Здания, деформированные морозным пучением, в ряде случаев удавалось восстановить при создании условий для равномерного медленного оттаивания промороженных грунтов оснований [15–17]. При быстром и неравномерном оттаивании грунтов деформации носят характер просадок, а в некоторых случаях сопровождаются потерей несущей способности оснований. Если фундаменты были установлены на промороженном основании, а весной грунты дополнительно замачивались, то осадки при оттаивании оснований, как правило, приводили к большим деформациям и нарушению эксплуатационной пригодности зданий.

Неправильное применение гравийных материалов для обратной засыпки пазух фундаментов и для инженерной подготовки территорий приводит к повышению морозоопасности грунтов, вследствие аккумуляции талых вод и дождевых стоков, обводняющих залегающие ниже суглинки, повышающие их влажность и морозоопасность. Глубина промерзания через гравийные грунты увеличивается благодаря их высокой теплопроводности. В качестве материалов для обратной засыпки пазух фундаментов рекомендуется использовать местные глинистые грунты, золошлаковые отходы тепловых электростанций, обладающие хорошей уплотняемостью и пониженной теплопроводностью. Глубина промерзания уплотненной золы и золошлака на 25–30 % меньше, чем у местных суглинков и супесей, а прочностные и деформационные характеристики близки к пескам [5].

Анализ деформаций сооружений показывает, что на пучинистых грунтах наибольшие деформации имеют здания с минимальным заглублением фундаментов, малонагруженные в период промерзания и загруженные в период оттаивания грунтов, при этом существенное значение имеет способность здания воспринимать неравномерные, знакопеременные деформации оснований. В результате многократного циклического сезонного промерзания-оттаивания грунтов под фундаментами сооружений развиваются деформации, которые носят характер дополнительных осадков. Суммарное их значение складывается из дополнительных осадков за каждый цикл промерзания-оттаивания.

Применяемые технологии производства работ по восстановлению поврежденных зданий и сооружений рекомендуется выполнять, не допуская повторного промерзания грунтов основания, использовать свайные фундаменты с противопучинным покрытием либо обработкой грунтов на контакте с боковой поверхностью свай [15–17]. Такие технологии и противопучинные мероприятия позволяют значительно сократить затраты на фундаменты и повысить их надежность и устойчивость под воздействием сил и деформаций морозного пучения.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *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.
2. *Плевков В.С., Фурсов В.В., Балюра М.В., Балдин И.В., Уткин Д.Г.* Особенности оценки технического состояния строительных конструкций зданий на свайных фундаментах после длительного перерыва в строительстве в условиях глубокого сезонного промерзания грунтов // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2017. № 2 (16). С. 64–78.
3. *Савельев В.С., Белоцерковская Г.В.* Причины деформаций нефтегазопромысловых сооружений на севере Западной Сибири // Основания, фундаменты и механика грунтов. 1987. № 5. С. 12–14.
4. *Мальшиев 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.
5. *Фурсов В.В., Балюра М.В.* Исследование морозоустойчивости золошлаковых отходов тепловых электростанций для целей строительства // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2013. № 1. С. 242–252.
6. *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. архит.-строит. ун-т, 2010. С. 333–337.
7. *Malyshev M.A., Fursov V.V., Balyura 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. National Academy Press. USA, Washington, 1984. P. 259–263.
8. *Orlov V.O., Fursov V.V.* Foundation settlements on season freezing soils // V International Conference on Permafrost. Trondheim, Norway, 1988. P. 1441–1445.
9. *Орлов В.О., Железняк И.И., Филиппов В.Д., Фурсов В.В.* Морозоопасные грунты как основания сооружений. Новосибирск : Наука. Сибирское отделение, 1992. 168 с.
10. *Фурсов В.В.* Деформации сезоннопромерзающего пучинистого грунта основания и его взаимодействие с фундаментами сооружений // Обской вестник. 1999. № 1–2. С. 64–68.
11. *Захаров Н.К.* К вопросу сопротивления грунтов сдвигу при оттаивании // Железнодорожное строительство. 1952. № 4.
12. *Михайлов Г.Д.* Методика определения сопротивления сдвигу сезонномерзлых глинистых грунтов земляного полотна при их оттаивании // Труды IV совещания-семинара по обмену опытом строительства в суровых климатических условиях. Т. VIII. Красноярск, 1966.
13. *Шушерина Е.П.* О методике определения сопротивления сдвигу оттаявших грунтов // Мерзлотные исследования : сб. Вып. VII. Москва : Изд-во МГУ, 1967.
14. *Цытович Н.А.* Механика мерзлых грунтов. 2-е изд-е. Москва : Книжный дом «Либроком», 2010. 448 с.
15. *Орлов В.О.* Рекомендации по учёту и предупреждению деформаций и сил морозного пучения грунтов / ПНИИИС. Москва : Стройиздат, 1986. 72 с.
16. *Фурсов В.В., Мальшиев 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.
17. *Руководство по проектированию оснований и фундаментов на пучинистых грунтах / НИИОСП.* Москва : Стройиздат, 1979. 39 с.

## REFERENCES

1. *Tayukin G.I., Fursov V.V., Balyura M.V.* Vozdeistvie sezonnogo promerzaniya gruntov na fundamenty stroyashchikh ob"ektov (terminal khraneniya szhizhennykh uglevodorodov) [Seasonal soil freezing impact on foundations of buildings (liquefied hydrocarbon depot ter-

- minal)]. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture*. 2019. V. 21. No. 6. Pp. 186–198. (rus)
2. Plevkov V.S., Fursov V.V., Balyura M.V., Baldin I.V., Utkin D.G. Osobennosti otsenki tekhnicheskogo sostoyaniya stroitel'nykh konstruksii zdaniy na svainykh fundamentakh posle dlitel'nogo pereryva v stroitel'stve v usloviyakh glubokogo sezonnogo promerzaniya gruntov [Estimation of technical condition of half-finished pile-foundation buildings under seasonal soil freezing conditions]. *Vestnik of Tomsk State University of Architecture and Building*. 2017. No. 2 (16). Pp. 65–78. (rus)
  3. Savel'ev V.S., Belotserkovskaya G.V. Prichiny deformatsij neftegazopromyslovykh sooruzhenij na severe Zapadnoj Sibiri [Causes of deformation of oil and gas facilities in the North of Western Siberia]. *Osnovaniya, fundamenty i mekhanika gruntov*. 1987. No. 5. Pp. 12–14. (rus)
  4. Malyshev M.A., Fursov V.V., Balyura M.V., Rozhdestvenskaya L.I. Osnovaniya i fundamenty v usloviyakh glubokogo sezonnogo promerzaniya gruntov [Bases and foundations in seasonal soil freezing conditions]. Tomsk: TSU, 1992. 280 p. (rus)
  5. Fursov V.V., Balyura M.V. Issledovanie morozoustoichivosti zoloshlakovykh otkhodov teplovykh elektrostantsii dlya tselei stroitel'stva [Frost resistance of ash and slag wastes from thermal power plants in construction]. *Vestnik of Tomsk State University of Architecture and Building*. 2013. No. 1. Pp. 242–252. (rus)
  6. Fursov V.V. Vertikal'nye peremeshcheniya malozaglublennykh fundamentov pri mnogoletnem sezonnom promerzanii i ottaivanii puchinistykh gruntov. In: Aktual'nye voprosy geotekhniki pri reshenii slozhnykh zadach novogo stroitel'stva i rekonstrukcii: sb. tr. nauchno-tekhnicheskoy konferencii (*Proc. Int. Sci. Conf. 'Relevant Problems of Geotechnology in Solving Problems of New Construction and Reconstruction'*). Saint-Petersburg, 2010. Pp. 333–337. (rus)
  7. Malyshev M.A., Fursov V.V., Balyura M.V. Investigation of the deformation of clayey soils resulting from frost heaving and thawing in foundations due to loading. In: *Proc. 4th Int. Conf. on Permafrost*. National Academy Press. USA, Washington, 1984. Pp. 259–263.
  8. Orlov V.O., Fursov V.V. Foundation settlements on season freezing soils. *V International Conference on Permafrost*. Trondheim, Norway, 1988. Pp. 1441–1445.
  9. 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)
  10. Fursov V.V. Deformacii sezonnopromerzayushchego puchinistogo grunta osnovaniya i ego vzaimodejstvie s fundamentami sooruzhenij [Deformations of seasonal frost heaving of soil foundation and its interaction with foundations]. *Obskoi vestnik*. 1999. No. 1–2. Pp. 64–68. (rus)
  11. Zakharov N.K. K voprosu soprotivleniya gruntov sdvigu pri ottaivanii [Toward soil shear resistance during thawing]. *Zheleznodorozhnoe stroitel'stvo*. 1952. No. 4. (rus)
  12. Mikhailov G.D. Metodika opredeleniya soprotivleniya sdvigu sezonnomerzlykh glinistykh gruntov zemlyanogo polotna pri ih ottaivanii [Shear resistance of seasonal freezing of clay soils during thawing]. Trudy IV soveshchaniya-seminara po obmenu opytom stroitel'stva v surovykh klimaticheskikh usloviyakh. Tom VIII (*Proc. Seminar on Construction Experience Exchange in Severe Climatic Conditions*), vol. VIII, Krasnoyarsk, 1966. (rus)
  13. Shusharina E.P. O metodike opredeleniya soprotivleniya sdvigu ottayavshih gruntov [On the method of determining the shear resistance of the soil thawed]. In: *Merzlotnye issledovaniya* [Permafrost research], vol. VII, Moscow: MSU, 1967. (rus)
  14. Tsyrovich N.A. Mekhanika merzlykh gruntov [Mechanics of frozen soils], 2nd Ed., Moscow: Librokom, 2010. Pp. 448. (rus)
  15. Orlov V.O. Rekomendacii po uchyotu i preduprezhdeniyu deformatsij i sil moroznogo pucheniya gruntov [Recommendations on allowing for and prevention of strains and forces of frost heaving of soils]. Moscow: Stroizdat, 1986. 72 p. (rus).
  16. Fursov V.V., Malyshev M.A. Deformacii sooruzhenij, svyazannye s sezonnym promerzaniem i ottaivaniem puchinistykh gruntov v Tomskoj oblasti. [Deformations of structures caused by 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)
  17. Rukovodstvo po proektirovaniyu osnovanij i fundamentov na puchinistykh gruntah [Guidelines for foundation design on heaving soils]. Moscow: Stroizdat, 1979. 39 p. (rus)

**Сведения об авторах**

*Фурсов Владимир Валентинович*, канд. техн. наук, доцент, Томский государственный архитектурно-строительный университет, 634003, г. Томск, пл. Соляная, 2, v\_fursov\_tomsk@mail.ru

*Таюкин Геннадий Иванович*, канд. техн. наук, доцент, Томский государственный архитектурно-строительный университет, 634003, г. Томск, пл. Соляная, 2, tgi52@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**

*Vladimir V. Fursov*, PhD, A/Professor, Tomsk State University of Architecture and Building, 2, Solyanaya Sq., 634003, Tomsk, Russia, v\_fursov\_tomsk@mail.ru

*Gennadiy I. Tayukin*, PhD, A/Professor, Tomsk State University of Architecture and Building, 2, Solyanaya Sq., 634003, Tomsk, Russia, pvs@tomsksep.ru

*Mariya V. Balyura*, PhD, A/Professor, Tomsk State University of Architecture and Building, 2, Solyanaya Sq., 634003, Tomsk, Russia, ofis-tgasu@mail.ru

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

УДК 625.7:502/504

DOI: 10.31675/1607-1859-2020-22-5-200-210

*О.Д. ЛУКАШЕВИЧ, В.Н. ЛУКАШЕВИЧ,*

*Томский государственный архитектурно-строительный университет*

## **ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ И ЭКСПЛУАТАЦИИ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ**

Рассматриваются особенности дорожно-транспортного сектора в контексте преодоления негативных последствий глобального экологического кризиса. Охарактеризованы эколого-ориентированные направления развития дорожного строительства, ремонта и содержания автомобильных дорог. Выделены перспективные исследования и инновации: разработка способов повышения устойчивости асфальтобетонных покрытий дорожных одежд; изучение возможностей использования отходов местных промышленных предприятий (например, кубовых остатков химической отрасли) для модифицирования дорожных битумов; замена природных каменных материалов для верхнего и нижнего слоев дорожных покрытий на отходы камнедробления; использование отходов пластмасс, резины в качестве полимерных модификаторов.

**Ключевые слова:** автомобильная дорога; экологический риск; экологическая безопасность строительства; негативное воздействие на окружающую среду.

**Для цитирования:** Лукашевич О.Д., Лукашевич В.Н. Пути повышения экологической безопасности при строительстве и эксплуатации автомобильных дорог // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2020. Т. 22. № 5. С. 200–210.

DOI: 10.31675/1607-1859-2020-22-5-200-210

*O.D. LUKASHEVICH, V.N. LUKASHEVICH,*

*Tomsk State University of Architecture and Building*

## **IMPROVEMENT OF ENVIRONMENTAL SAFETY IN CONSTRUCTION AND ROAD SERVICE**

The paper considers the road transportation sector in the context of the negative impacts of the global economic and financial crises on the environment. The ecology-oriented development of the road construction, road repair and maintenance are described herein. The promising research

and innovation development in Siberia includes the ways to increase the stability of asphalt concrete pavements, studying the possibilities of waste utilization produced by the local industrial enterprises (for example, stillage residues of the chemical industry) for the road asphalt modification; replacement of rock materials used in the upper and lower layers of the pavement coatings by by-passed stone, utilization of plastics scrap and rubber in polymer modification.

**Keywords:** road; ecological risk; environmental safety in construction; negative impact on the environment.

**For citation:** Lukashevich O.D., Lukashevich V.N. Puti povysheniya ekologicheskoi bezopasnosti pri stroitel'stve i ekspluatatsii avtomobil'nykh dorog [Improvement of environmental safety in construction and road service]. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture. 2020. V. 22. No. 5. Pp. 200–210.

DOI: 10.31675/1607-1859-2020-22-5-200-210

Понятие «экологическая безопасность», которое (в широком понимании) характеризует состояние защищенности окружающей природной и социальной среды от тех или иных воздействий, в последние 30 лет стало все шире распространяться на сферу строительства. Термин «экологическая безопасность автомобильной дороги» (далее ЭБ АД), согласно [1], включает в себя защищенность природы и социума от воздействия автомобильной дороги на всех этапах ее жизненного цикла: строительства, реконструкции, эксплуатации, содержания и ремонта. Критерием экологической безопасности при этом являются приемлемые количественные значения санитарно-гигиенических нормативов или соответствие экологических параметров рамкам фоновых значений для конкретной территории. Выполнение этих условий обеспечивает устойчивость естественных экосистем на территориях, прилегающих к автотранспортной системе, в течение неопределенно долгого времени.

Системность понятия «экологическая безопасность автомобильной дороги» требует выделения и осмысления всех его подсистем и составляющих их компонентов; выявления количественных и качественных параметров для их оценивания; обоснованных ограничительных величин (предельно допустимых концентраций, уровней воздействия и т. п.); четкого целеполагания и определения функций. На этой основе должны формироваться как межотраслевая интеграция, так и согласованный, внутренне непротиворечивый комплекс мероприятий, методов, а также документов (нормативных, технических), которые призваны обеспечить действенность природоохранных и ресурсосберегающих мероприятий. Все проектные решения (от организационно-управленческого до технологического и экономического уровней) должны основываться не только на соблюдении природоохранного законодательства, но и на инновациях, напрямую или косвенно связанных с ресурсо-, энергосбережением и рациональным природопользованием.

Внимание к повышению экологической безопасности в сфере строительства и эксплуатации автомобильных дорог объясняется обострением экологического кризиса, процессами глобализации, включением нашей страны в общеевропейские природоохранные программы, что потребовало обновления содержания нормативно-правовой базы в области экологического законодательства РФ. В этом контексте в отраслевом дорожном методическом докумен-

те «Экологическая безопасность автомобильной дороги: понятие и количественная оценка» [1] даны подробные рекомендации, касающиеся выполнения работ по строительству, ремонту, эксплуатации автомобильных дорог, охарактеризованы планирование и реализация мероприятий, направленных на обеспечение экологической безопасности и минимизацию негативного воздействия на окружающую среду. Экологизация касается всех этапов строительства АД: изысканий, проектирования, заготовительных и транспортных работ, строительного-монтажных работ, контрольно-испытательной деятельности.

Чтобы охарактеризовать направления повышения ЭБ АД, выделим две подсистемы источников экологической опасности: а) дорожно-транспортная и б) транспортные средства. Первая включает в себя автомобильные дороги разных типов (асфальтобетонные, цементобетонные, гравийные), вторая – легковые автомобили и большегрузный транспорт. Обе подсистемы продолжительно или краткосрочно (в зависимости от большого числа внешних факторов и их сочетания) воздействуют на объекты окружающей среды. Такие инженерные сооружения, как земляное полотно, путепроводы, мостовые переходы, водоотводные и водопропускные устройства, а также состояние обочин АД, разнообразные объекты дорожной инфраструктуры (АЗС, остановочные комплексы и др.) влияют на состояние почвы, качество атмосферного воздуха, чистоту водных объектов, находящихся в зоне их воздействия. В рамках данной статьи основное внимание уделяется первой подсистеме.

Совокупность эколого-ориентированных мероприятий для дорожного строительства, согласно действующей нормативной документации, включает:

- сокращение отводимых земельных площадей (с максимальным сбережением сельскохозяйственных угодий);
- уменьшение количества природных ресурсов, применяющихся в строительстве (почва и грунт, лес, минеральные материалы и др.);
- сохранение плодородного слоя почвы и рекультивация земель;
- соблюдение условий, не допускающих превышения предельно допустимых концентраций загрязняющих веществ в воздухе, воде, почве; обеспечение уровня шума, не превышающего предельно допустимых значений;
- устранение возможности возникновения и развития в результате дорожно-строительной деятельности или функционирования дорожно-транспортных объектов процессов эрозии, заболачивания и осушения почв, появления оползней;
- предотвращение действий, следствием которых становится ухудшение условий существования людей, животных и растений;
- недопущение нанесения эстетического и историко-архитектурного ущерба существующему ландшафту;
- предотвращение происшествий и уменьшение тяжести их последствий, в том числе экологических, например связанных с авариями, сопровождающимися разливом нефтепродуктов, пожарами.

Важность учета перечисленных аспектов дорожного строительства отмечается во многих публикациях, в том числе в работах [1–6].

Строгое соблюдение мероприятий, направленных на повышение экологической безопасности АД, имеет особое значение в условиях Западной Сиби-

ри, что связано с региональными экстремальными природно-климатическими факторами. Содержание дорог в зимних условиях накладывает на дорожно-транспортные организации дополнительные обязанности [7]. От их выполнения зависит количество дорожно-транспортных происшествий. В этой связи необходимо отметить внимание к проблеме снижения аварийности, особо выделенной в национальном проекте «Безопасные и качественные автомобильные дороги», в соответствии с которым планируется снизить к 2024 г. до 50 % количество аварийно опасных участков, до 4 чел. на 100 тыс. населения число погибших в дорожно-транспортных происшествиях.

Анализ и обобщение научно-технической литературы по рассматриваемой проблеме позволяет авторам заключить, что управление и регламентирование природоохранной деятельности в дорожно-хозяйственной сфере сводится, главным образом, к выполнению эколого-ориентированных мероприятий, в обобщенном виде представленных на рисунке. Высокое качество АД (и напрямую связанная с ним экологическая безопасность) достигается при системном объединении всех составляющих жизненного цикла.



Основные эколого-ориентированные мероприятия в дорожно-строительной и дорожно-транспортной сфере

Отдельным вопросам в рамках рассматриваемого нами концепта «Экологически безопасная дорога высокого качества» посвящены публикации [8–10], освещающие вопросы ресурсосбережения и охраны окружающей среды, актуальные для России и других стран. К сожалению, большинство разработок ученых не находят широкого применения в российской дорожно-строительной практике, оставаясь на уровне НИР и ОКР, часто – регионального масштаба. Необходимо большее использование доступных эффективных технологий отечественных и зарубежных предприятий, положительного опыта работы в сходных геоэкологических условиях.

Одним из направлений снижения антропогенной нагрузки на природную среду является создание новых «зеленых» технологий [11].

«Зелеными» технологиями в дорожном строительстве, по нашему мнению, можно назвать такие, в которых утилизируются отходы производства и потребления и одновременно – благодаря высокому качеству полученной дорожной инфраструктуры – сокращаются время и материальные ресурсы, требуемые для поддержания АД в надлежащем состоянии в процессе эксплуатации. Реализация «зеленых» технологий позволит с использованием зарубежного и отечественного опыта успешно реализовать нацпроект «Безопасные и качественные автомобильные дороги». Наибольший интерес представляют:

- разработка способов повышения устойчивости асфальтобетонных покрытий дорожных одежд [12, 13];

- изучение возможностей использования отходов местных промышленных предприятий (например, кубовых остатков химической отрасли) для модифицирования дорожных битумов [14];

- замена природных каменных материалов для верхнего и нижнего слоев покрытий АД на отходы камнедробления [15];

- использование отходов пластмасс вместо дорогостоящих полимерных модификаторов [16–18].

Указанные литературные источники [12–18] отражают многообразие исследовательских работ по экологизации дорожного строительства. Подробно остановимся только на некоторых из них.

Научно-техническая литература по удешевлению строительства и повышению надежности и долговечности автомобильных дорог за счет использования при строительстве инженерных сооружений крупнотоннажных промышленных отходов достаточно обширна. Вторичная переработка, но не хранение на полигонах, захоронение или сжигание отходов, состоящих из полимерных материалов, является экологически целесообразным и экономически эффективным решением. При этом удается сохранить природные сырьевые ресурсы, стимулируется развитие безотходных, ресурсосберегающих технологий, освобождаются территории свалок, происходит оздоровление компонентов окружающей среды. Так, для улучшения характеристик дорожного вяжущего предлагается применять предварительно обработанную резиновую крошку из старых автомобильных шин, вовлекать в процесс получения асфальтобетонных смесей полимерные отходы, которые до настоящего времени утилизируются в недостаточной степени, накапливаясь на несанкционированных свалках и полигонах [19–22].

Авторами данной работы на основании многолетних исследований [17–19] разработана технология дисперсного армирования асфальтобетонной смеси с использованием полимерных волокон. При этом достигается решение экологической и технической проблем: утилизация отходов искусственных волокон и пластмасс и одновременно повышение долговечности и надежности дорожного покрытия. В соответствии с авторским техническим решением [19] традиционная технологическая схема производства асфальтобетона оснащается дополнительным цехом (участком), обеспечивающим внедрение в массу асфальтобетона волокнистых материалов, создающих эффект армирования и придающих сдвигоустойчивость и трещиностойкость дорожному покрытию, изготовленному из модифицированной асфальтобетонной смеси. Отличительной особенностью разработки является упрочнение структуры дорожного покрытия по всему объему, а не в пределах небольшого слоя (как, например, при использовании геотекстиля и геосеток).

В ОДМ 218.3.087–2017 «Рекомендации по применению асфальтобетонных смесей на основе металлургических шлаковых материалов для условий Центрального федерального округа» обосновано вовлечение в процесс получения асфальтобетона шлаковых материалов. К ним относятся гранулированные доменные шлаки, шлаковые и шлакопемзовые пески, ваграночные шлаки, применение которых способствует экономии природного сырья при создании дорожных покрытий.

На основе анализа научных публикаций, устных сообщений и выступлений, сведений о ходе реализации нацпроекта «Безопасные и качественные автомобильные дороги» на профессионально-ориентированных сайтах авторами составлена таблица, в которой систематизированы и проанализированы основные причины недолговечности дорожного полотна, показаны негативные последствия и предложены способы подавления влияния факторов, снижающих долговечность полотна АД.

#### Анализ причин недолговечности дорожного полотна и способы преодоления её последствий

Фактор, влияющий на долговечность дорожного полотна	Негативные последствия	Способы решения проблемы	Уровень решения проблемы	
			государственный	региональный
Недостаточное финансирование и его задержка	Несоблюдение межремонтных сроков	Проведение капитального ремонта каждые 5 лет		+
	Использование дешевых некачественных материалов	Контроль качества материалов		+
	Использование устаревшей техники	Налаживание выпуска современных отечественных дорожно-строительных машин	+	+

Окончание таблицы

Фактор, влияющий на долговечность дорожного полотна	Негативные последствия	Способы решения проблемы	Уровень решения проблемы	
			государственный	региональный
Недостаточное финансирование и его задержка	Отсутствие у органов управления дорожным хозяйством стимулов для качественного выполнения работы	Создание стимулов работников дорожно-хозяйственного сектора к своевременному и качественному выполнению работ	+	+
Отставание во внедрении новых технологий дорожного строительства	Низкое качество дорожных работ Простаивание техники и работников при неблагоприятных температурно-влажностных условиях	Внедрение вместо классических способов строительства и ремонта АД новых современных материалов, литого асфальта, цементобетонных покрытий	+	+
Нарушение стандартов, нормативов, технологий	Преждевременное разрушение дорожной одежды	Строгое соблюдение ГОСТ, СНиП, ТУ, регламентов	+	+
Отсутствие современной нормативно-технической и сметной документации	Устаревшая документация тормозит внедрение инноваций	Своевременное обновление и гармонизация с мировыми образцами научно-технического законодательства, научно-технической и иной документации	+	
Природно-климатические условия	Разрушение верхних слоев покрытия водой при переходе через нулевую температуру	Совершенствование строительных материалов и технологий (например, тонкослойных защитных покрытий)		+
Высокая интенсивность нагрузок на дорогу	Преждевременное разрушение всех слоев дорожной одежды	Запрет на проезд большегрузного транспорта по дорогам низкой категории Разработка и внедрение новых материалов и технологий дорожного строительства	+	+

Проведенная оценка показывает сложность и многоаспектность проблемы долговечности АД. Вновь обращаясь к материалам нацпроекта «Безопасные и качественные автомобильные дороги», отметим его актуальность

и заинтересованность широкого круга россиян (представителей власти, бизнеса, социума) в неукоснительном исполнении поставленных в нем задач.

К сожалению, в то время как в нашей стране существуют дорожные карты в «зеленом» строительстве, пока нет понимания необходимости развития «зеленого» дорожного строительства.

Не создано федеральной программы для поддержки «зеленого» дорожного строительства, не разработана система льгот для организаций, готовых реализовывать инновационные «зеленые» проекты, вследствие чего они практически не применяются. Во внедрении госпрограммы для поддержки «зеленых» дорожно-строительных технологий заинтересовано население, экологические организации (государственные и общественные), а также прогрессивные строительные фирмы, однако понимания важности экологической ориентации на глубинном уровне у инвесторов и подрядчиков пока нет. Основные причины – представление о том, что строительство и эксплуатация «зеленой» дороги на 20–50 % дороже, чем обычной; нежелание усложнять технологический процесс; а также неразработанность общедоступного банка данных о пригодных для утилизации в дорожном строительстве отходах (их видах, количестве, поставщиках и т. д.). Перспективы развития «зеленых» дорожно-строительных технологий, безусловно, есть. Пусть с запозданием, по сравнению с экологически ориентированными странами, «зеленое» градостроительство уверенно завоевывает свои позиции. Примерами тому являются сооружения сочинской Олимпиады, чемпионата мира по футболу, «Сколково». Технологий «зеленого» дорожного строительства пока немного, только некоторые зарубежные образцы можно адаптировать к российским условиям, в частности [20, 23].

Безусловно, есть проблема нехватки специалистов, способных проектировать и строить АД с учетом экологических технологий. Очевидно, что необходимо совершенствование учебных планов и образовательных программ, а также постоянный обмен опытом между строителями из разных стран.

В заключение отметим, что в последние 20 лет у бизнес-структур в России наметился интерес (хотя и слабый) бизнеса к строительству экологически безопасных дорог высокого качества. Однако его реализация тормозится из-за ряда причин, и главное – из-за отсутствия системного подхода к данной проблеме. Необходимо совершенствование действующего законодательства; государственные усилия по обеспечению сотрудничества между поставщиками и переработчиками отходов, между представителями крупного, среднего и малого бизнеса с координирующей ролью и субсидированием государственными субсидиями убыточных технологических стадий; мотивация бизнеса через послабление налогового бремени; создание программ по обеспечению экологической безопасности при обращении с отходами, предназначенными для переработки в качестве компонентов дорожно-строительных материалов.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Экологическая безопасность автомобильной дороги: понятие и количественная оценка* : отраслевой дорожный методический документ. Утв. распоряжением Минтранса России от 31.12.2002 № ОС-1181-р / Министерство транспорта РФ ; Гос. служба дорожного хозяйства. Москва, 2002.

2. *ОДН 218.5.016-2002*. Показатели и нормы экологической безопасности автомобильной дороги. Изд. офиц. – Отрасл. дор. нормы / Министерство трансп. Российской Федерации ; Гос. служба дор. хоз-ва (Росавтодор). Москва, 2003. 44 с.
3. *ОДМ 218.2.013-2011*. Методические рекомендации по защите от транспортного шума территорий, прилегающих к автомобильным дорогам : отраслевой дорожный методический документ. Москва : Росавтодор, 2012. 160 с.
4. *Справочное пособие по охране окружающей природной среды и рациональному использованию природных ресурсов (управление и регламентирование природоохранной деятельности в дорожном хозяйстве с учетом требований стандартов серии ГОСТ Р ИСО 14000) / Росавтодор*. Москва : Информавтодор, 2000. 180 с.
5. *Глухов А.Т., Медведев Д.С.* Проектирование экологических мероприятий // *Новости в дорожном деле : науч.-техн. информ. сб. / Информавтодор*. Москва, 2003. Вып. 3. С. 23–30.
6. *Евгеньев И.Е., Савин В.В.* Защита природной среды при строительстве, ремонте и содержании автомобильных дорог. Москва : Транспорт, 1989. 239 с.
7. *Подольский В.П., Самодурова Т.В., Федорова Ю.В.* Экологические аспекты зимнего содержания дорог. Воронеж : Воронеж. гос. арх-строит. акад., 2000. 152 с.
8. *Евгеньев И.Е., Курденкова И.Б.* Пособие по охране окружающей среды при производстве дорожно-строительных материалов. Москва : ГП «Информавтодор», 2002. 180 с.
9. *Петросян Т.О., Сидоренко В.Ф.* Экологическая безопасность автомобильных дорог // *Вестник Волгоградского гос. архитектурно-строительного ун-та*. Серия: Строительство и архитектура. 2012. № 28 (47). С. 332–336.
10. *Автомобильные дороги: безопасность, экологические проблемы, экономика: Российско-Германский опыт / под ред. В.Н. Луканина, К.-Х. Ленца*. Москва : Логос, 2002. 607 с.
11. *Сайт передовых зеленых технологий в России и за рубежом*. URL: <http://greenevolution.ru/blogs/tri-glavnye-probl> (дата обращения: 25.09.2020).
12. *Конорева О.В., Муравьев Ю.А.* Анализ современных методов повышения устойчивости асфальтобетонных покрытий к колееобразованию // *Инженерный вестник Дона*. 2016. № 4. URL: [ivdon.ru/magazine/archive/n4y2016/3802](http://ivdon.ru/magazine/archive/n4y2016/3802)
13. *Николенко М.А., Бессчетнов Б.В.* Повышение длительной трещиностойкости асфальтобетона дорожных покрытий // *Инженерный вестник Дона*. 2012. № 2 URL: [ivdon.ru/magazine/archive/n2y2012/856](http://ivdon.ru/magazine/archive/n2y2012/856).
14. *Лескин А.И., Гофман Д.И., Катасонов М.В., Вовко В.В., Скоробогатченко Д.А.* Использование местных отходов химической промышленности в составленных вяжущих // *Вестник Волгоградского гос. архитектурно-строительного ун-та*. Серия: Строительство и архитектура. 2018. № 53 (72). С. 83–91.
15. *Мавлиев Л.Ф., Буланов П.Е., Вдовин Е.А., Захаров В.В., Гимазов А.Р.* Модификация дорожно-строительных материалов на основе отходов камнедробления, обработанных цементом, введением природного песка и метилсиликоната калия // *Известия КГАСУ*. 2016. № 1 (35). С. 247–254.
16. *Корнейчук Н.С., Лескин А.И., Рахимова Н.А.* Полимерно-битумное вяжущее на основе вторичного полипропилена для производства асфальтобетонных смесей // *Инженерный вестник Дона*. 2017. № 2. 11 с. URL: [http://www.ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD\\_182\\_Korneichuk\\_Lesquin\\_Rakhimova.pdf\\_4e7ad4367c](http://www.ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD_182_Korneichuk_Lesquin_Rakhimova.pdf_4e7ad4367c)
17. *Лукашевич В.Н., Погорельый А.В.* Увеличение срока службы дорожных покрытий за счет дисперсного армирования и двухстадийной технологии приготовления асфальтобетонных смесей // *Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета*. 2001. № 2. С. 45–51.
18. *Лукашевич В.Н., Ефанов Н.Е.* Исследование влияния технологии приготовления асфальтобетонных смесей на процессы старения асфальтового вяжущего при использовании волокнистых сорбентов в качестве дисперсной арматуры // *Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета*. 2012. № 2. С. 191–196.
19. *Lukashevich V., Efanov I., Vlasov V., Lukashevich O.* Asphalt concrete pavement reinforced with chemical fibers // *MATEC Web of Conferences*. 216. 01013 (2018). URL: <https://doi.org/10.1051/mateconf/201821601013>. Polytransport Systems-2018
20. *Abdullah M.E., Abd Kader S.A., Putra Jaya R., Yaacob H., Abdul Hassan N., Che Wan C.N.* Effect of Waste Plastic as Bitumen Modified in Asphalt Mixture // *ISCEE 2016: 2016 Interna-*

- tional Symposium on Civil and Environmental Engineering. Wuhan, China, MATEC Web of Conferences. 2017. P. 103.
21. *Brasileiro L., Moreno-Navarro F., Tauste-Martínez R., Matos J., Rubio-Gómez M.d.C.* Reclaimed Polymers as Asphalt Binder Modifiers for More Sustainable Roads: a Review // Sustainability. 2019. 11 (3). 646.
  22. *Chakraborty A., Mehta S.* Utilization & Minimization of Waste Plastic in Construction of Pavement: a Review // International Journal of Engineering Technology Science and Research. 2017. 4(8): 2394–3386.
  23. *Costa L.M.B., Silva H.M.R.D., Peralta J., Oliveira J.R.M.* Using waste polymers as a reliable alternative for asphalt binder modification – Performance and morphological assessment // Construction and Building Materials. 2019. 198: 237–244.

## REFERENCES

1. *Ekologicheskaya bezopasnost' avtomobil'noi dorogi: ponyatie i kolichestvennaya otsenka: otraslevoi dorozhnyi metodicheskii document [Environmental safety of automobile roads: concept and quantitative evaluation].* Moscow: Rosavtodor, 2002. (rus)
2. *ODN 218.5.016-2002 Pokazateli i normy ekologicheskoi bezopasnosti avtomobil'noi dorogi. Izd. ofits. – Otrasl. dor. normy [Indicators and standards of environmental safety of automobile roads. Indicators and norms of environmental road safety].* Moscow: Rosavtodor, 2003. 44 p. (rus)
3. *ODM 218.2.013-2011. Metodicheskie rekomendatsii po zashchite ot transportnogo shuma territorii, prilgayushchikh k avtomobil'nym dorogam: otraslevoi dorozhnyi metodicheskii dokument [Methodological recommendations for protection of territories adjacent to highways from traffic noise].* Moscow: Rosavtodor, 2012. 160 p. (rus)
4. *Spravochnoe posobie po okhrane okruzhayushchei prirodnoi sredy i ratsional'nomu ispol'zovaniyu prirodnykh resursov (upravlenie i reglamentirovanie prirodookhrannoi deyatel'nosti v dorozhnom khozyaistve s uchetom trebovaniy standartov serii GOST R ISO 14000) [Reference manual on environmental protection and rational use of natural resources (Environmental management in the road sector according to GOST R ISO 14000 requirements)].* Moscow: Informavtodor, 2000. 180 p. (rus)
5. *Glukhov A.T., Medvedev D.S.* Proektirovanie ekologicheskikh meropriyatii [Environmental measure projecting]. Moscow: Informavtodor, 2003. (3). 23–30. (rus)
6. *Evgen'ev I.E., Savin V.V.* Zashchita prirodnoi sredy pri stroitel'stve, remonte i soderzhanii avtomobil'nykh dorog [Environmental protection in road construction, repair and maintenance]. Moscow: Transport, 1989. 239 p. (rus)
7. *Podol'skii V.P., Samodurova T.V., Fedorova Yu.V.* Ekologicheskie aspekty zimnego soderzhaniya dorog [Environmental aspects of winter road servicing]. Voronezh: Voronezh State University of Architecture and Civil Engineering, 2000. 152 p. (rus)
8. *Evgen'ev I.E., Kurdenkova I.B.* Posobie po okhrane okruzhayushchei sredy pri proizvodstve dorozhno-stroitel'nykh materialov [Environmental protection guide for road building materials]. Moscow: Informavtodor. 2002. 180 p. (rus)
9. *Petrosyan T.O., Sidorenko V.F.* Ekologicheskaya bezopasnost' avtomobil'nykh dorog [Environmental safety of roads] *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arkhitektura.* 2012. No. 28 (47). Pp. 332–336. (rus)
10. *Lukanin V.N., Lents K.-Kh. (Eds)* Avtomobil'nye dorogi: bezopasnost', ekologicheskie problemy, ekonomika: Ros.-Germ. opyt [Automobile roads: safety, environmental issues, economics: Russian-German experience]. Moscow: Logos, 2002. 607 p. (rus)
11. *Sait peredovykh zelenykh tekhnologii v Rossii i za rubezhom [Website for advanced green technologies in Russia and abroad].* Available: [greenevolution.ru/blogs/tri-glavnye-probl](http://greenevolution.ru/blogs/tri-glavnye-probl) (accessed September 25, 2020) (rus)
12. *Konoreva O.V., Murav'ev Yu.A.* Analiz sovremennykh metodov povysheniya ustoichivosti asfal'tobetonykh pokrytii k koleeobrazovaniyu [Modern methods of rutting resistance increase of asphalt concrete pavements]. *Inzheneryi vestnik Dona.* 2016. No 4. Available: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2016/3802](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2016/3802) (rus)
13. *Nikolenko M.A., Besschetnov B.V.* Povyshenie dlitel'noi treshchinostoikosti asfal'tobetona dorozhnykh pokrytii [Increase of long-term crack resistance of asphalt concrete pavements]. *Inzheneryi vestnik Dona.* 2012. No. 2. Available: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2012/856](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2012/856). (rus)

14. Leskin A.I., Gofman D.I., Katasonov M.V., Vovko V.V., Skorobogatchenko D.A. Ispol'zovanie mestnykh otkhodov khimicheskoi promyshlennosti v sostavlenykh vyazhushchikh [Local chemical waste for binders]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arkhitektura*. 2018. No. 53 (72). Pp. 83–91. (rus)
15. Mavliev L.F., Bulanov P.E., Vdovin E.A., Zakharov V.V., Gimazov A.R. Modifikatsiya dorozhno-stroitel'nykh materialov na osnove otkhodov kamnedrobieniia, obrabotannykh tsementom, vvedeniem prirodnogo peska i metilsilikonata kaliya [Modification of road-building materials based on by-passed stone with cement, introduction of natural sand and potassium methyl silicate]. *Izvestiya KGASU*. 2016. No. 1 (35). Pp. 247–254. (rus)
16. Korneichuk N.S., Leskin A.I., Rakhimova N.A. Polimerno-bitumnoe vyazhushchee na osnove vtorichnogo polipropilena dlya proizvodstva asfal'tobetonnykh smesei [Polymer-bitumen binder based on recycled polypropylene for the production of asphalt concrete mixtures]. *Inzhenernyi vestnik Dona*. 2017. No. 2. P. 11. Available: [www.ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD\\_182\\_Korneichuk\\_Lesquin\\_Rakhimova.pdf\\_4e7ad4P.367](http://www.ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD_182_Korneichuk_Lesquin_Rakhimova.pdf_4e7ad4P.367) (rus)
17. Lukashevich V.N., Pogorelyi A.V. Uvelichenie sroka sluzhby dorozhnykh pokrytii za schet dispersnogo armirovaniya i dvukhstadiinnoi tekhnologii prigotovleniya asfal'tobetonnykh smesei [Increase in road pavement service life due to dispersed reinforcement and two-stage asphalt concrete mix technology]. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta*. 2001. No. 2. Pp. 45–51. (rus)
18. Lukashevich V.N., Efanov N.E. Issledovanie vliyaniya tekhnologii prigotovleniya asfal'tobetonnykh smesei na protsessy stareniya asfal'tovogo vyazhushchego pri ispol'zovanii voloknistykh sorbentov v kachestve dispersnoi armatury [Asphalt concrete mix technology affecting aging processes of asphalt binder with fibrous sorbents used as dispersion reinforcement]. *Vestnik of Tomsk State University of Architecture and Building*. 2012. No. 2. Pp. 191–196. (rus)
19. Lukashevich V., Efanov I., Vlasov V., Lukashevich O. Asphalt concrete pavement reinforced with chemical fibers. *MATEC Web of Conferences*. 2018. V. 216. 01013. DOI: 10.1051/mateconf/201821601013.
20. Abdullah M.E., Abd Kader S.A., Putra Jaya R., Yaacob H., Abdul Hassan N., Che Wan C.N. Effect of waste plastic as bitumen modified in asphalt mixture. *MATEC Web of Conferences*. 2017. P. 103.
21. Brasileiro L., Moreno-Navarro F., Tauste-Martínez R., Matos J., Rubio-Gómez M.D.C. Reclaimed polymers as asphalt binder modifiers for more sustainable roads: A review. *Sustainability*. 2019. V. 11. No. 3. P. 646.
22. Chakraborty A., Mehta S. Utilization & minimization of waste plastic in construction of pavement: A review. *International Journal of Engineering Technology Science and Research*. 2017. V. 4. No. 8. Pp. 2394–3386.
23. Costa L.M.B., Silva H.M.R.D., Peralta J., Oliveira J.R.M. Using waste polymers as a reliable alternative for asphalt binder modification – Performance and morphological assessment. *Construction and Building Materials*. 2019. V. 198. Pp. 237–244.

#### Сведения об авторах

Лукашевич Ольга Дмитриевна, докт. техн. наук, профессор, Томский государственный архитектурно-строительный университет, 634003, г. Томск, пл. Соляная, 2, [odluk@yandex.ru](mailto:odluk@yandex.ru)

Лукашевич Виктор Николаевич, докт. техн. наук, профессор, Томский государственный архитектурно-строительный университет, 634003, г. Томск, пл. Соляная, 2, [vnluc@yandex.ru](mailto:vnluc@yandex.ru)

#### Authors Details

Olga D. Lukashevich, DSc, Professor, Tomsk State University of Architecture and Building, 2, Solyanaya Sq., 634003, Tomsk, Russia, [odluk@yandex.ru](mailto:odluk@yandex.ru)

Viktor N. Lukashevich, DSc, Professor, Tomsk State University of Architecture and Building, 2, Solyanaya Sq., 634003, Tomsk, Russia, [vnluc@yandex.ru](mailto:vnluc@yandex.ru)

## РЕЦЕНЗИИ

**РЕЦЕНЗИЯ НА УЧЕБНИК  
«ОСНОВАНИЯ И ФУНДАМЕНТЫ,  
ПОДЗЕМНЫЕ СООРУЖЕНИЯ»,  
ПОДГОТОВЛЕННЫЙ ДОКТ. ТЕХН. НАУК,  
ПРОФЕССОРОМ А.И. ПОЛИЩУКОМ  
(Изд. 2-е, дополненное. Москва: Изд-во АСВ, 2020. 498 с.)**

*Для цитирования:* Ющубе С.В. Рецензия на учебник «Основания и фундаменты, подземные сооружения», подготовленный докт. техн. наук, профессором А.И. Полищуком // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2020. Т. 22. № 5. С. 211–212.

**PEER REVIEW FOR TEXTBOOK “BASES, FOUNDATIONS,  
AND UNDERGROUND STRUCTURES”  
BY PROF. A.I. POLISHCHUK, DSc  
(2nd revised edition, Moscow: ASV, 2020, 498 p.)**

*For citation:* Yushchube S.V. Retsenziya na uchebnik “Osnovaniya i fundamenti, podzemnye sooruzheniya”, podgotovlennyyi dokt. tekhn. nauk, professorom A.I. Polishchukom [Peer review for textbook “Bases, foundations, and underground structures” by Prof. A.I. Polishchuk, DSc]. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture. 2020. V. 22. No. 5. Pp. 211–212.

Вышла в свет книга А.И. Полищука «Основания и фундаменты, подземные сооружения» (изд. 2-е, доп.), которая является учебником для аспирантов и студентов, обучающихся по направлению подготовки «Строительство. Работа выполнена в формате А5 и содержит 498 страниц текста, 177 рисунков, 62 таблицы и список литературы из 82 наименований. Учебник состоит из предисловия (от автора), введения, семи разделов, заключения и списка литературы.

**Раздел 1. Общие сведения** о проектировании оснований и фундаментов зданий, подземных сооружений. Приводится классификация оснований и фундаментов зданий, сооружений; основные принципы расчета оснований (по несущей способности и деформациям); рассматривается выбор вариантных решений по фундаментам зданий, сооружений.

**Раздел 2. Оценка грунтовых условий** строительства при проектировании оснований и фундаментов. Даются общие сведения о грунтах, и рассматриваются их свойства. Приводятся особые виды грунтов с неустойчивыми структурными связями; дается строительная классификация грунтов; классификация сейсмичности строительной площадки с учетом категории грунтов.

**Раздел 3. Фундаменты мелко заложения** на естественном основании для зданий и сооружений. Рассматриваются конструкции фундаментов и область их применения. Приводятся основные этапы расчета и конструирования фундаментов мелко заложения.

**Раздел 4. Свайные фундаменты.** Приводятся классификации свай и свайных фундаментов для зданий и сооружений. Рассматриваются основные типы ростверков и назначение глубины их заложения, выбор типа, длины и несущей способности свай. Приводятся основные этапы расчета и конструирования свайных фундаментов.

**5. Фундаменты глубокого заложения.** Приводится классификация фундаментов глубокого заложения, особенности их конструирования и работы в грунте.

**6. Фундаменты на структурно-неустойчивых грунтах.** Даются общие сведения, и рассматриваются фундаменты зданий, сооружений на слабых водонасыщенных глинистых грунтах, фундаменты на лессовых просадочных грунтах, фундаменты на набухающих грунтах.

**7. Фундаменты в условиях реконструкции** и восстановления зданий. Рассматриваются особенности инженерно-геологических изысканий для реконструируемых и восстанавливаемых зданий, сооружений. Излагаются основные этапы обследования оснований, фундаментов и надземных строительных конструкций; расчеты при усилении фундаментов и упрочнении оснований, а также категории состояния оснований, фундаментов и надземных строительных конструкций. Предлагаются основные способы усиления оснований и фундаментов в условиях реконструкции и восстановления зданий, сооружений.

Рассматриваемый учебник является одним из первых изданий, предназначенных для аспирантов направления подготовки 08.06.01 «Техника и технологии строительства», направленность (профиль) «Основания и фундаменты, подземные сооружения». При написании учебника ставились задачи показать аспирантам, молодым специалистам основные этапы расчета, конструирования фундаментов зданий и подземных сооружений. Автору удалось подготовить издание, учитывающее последние достижения механики грунтов и геотехнического строительства. Представленный материал требуется в учебном процессе и будет полезен для студентов, обучающихся по специальности 08.05.01 «Строительство уникальных зданий и сооружений», по программе магистратуры (08.04.01) и бакалавриата (08.03.01). Учебник может быть использован работниками проектных и строительных организаций.

Зав. кафедрой «Основания, фундаменты  
и испытания сооружений» ТГАСУ,  
заслуженный строитель РФ,  
канд. техн. наук, доцент С.В. Ющубе

Revised by A/Professor S.V. Yushchube, PhD,  
Head of Department of Foundations  
and Testing of Structures, Tomsk State University  
of Architecture and Building, Emeritus Builder  
of the Russian Federation