

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

Томский государственный  
архитектурно-строительный университет

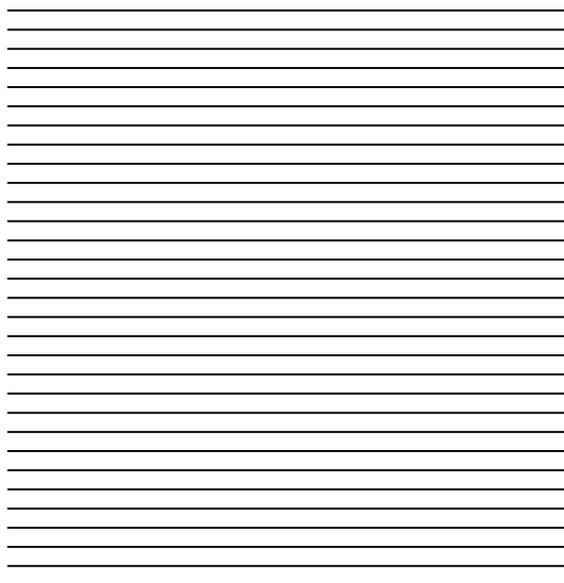
# ВЕСТНИК

ТОМСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО  
АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНОГО  
УНИВЕРСИТЕТА

Том 23

№ 6 \_\_\_\_\_ 2021  
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

Издается с апреля 1999 г.



## РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Ляхович Л.С., докт. техн. наук, профессор, академик РААСН, зав. кафедрой строительной механики ТГАСУ; гл. редактор; [lls@tsuab.ru](mailto:lls@tsuab.ru); г. Томск  
Акимов П.А., докт. техн. наук, профессор, академик РААСН, главный ученый секретарь РААСН; [pavel.lakimov@gmail.com](mailto:pavel.lakimov@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  
Детярев 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; [inzhutov@sfu-kras.ru](mailto:inzhutov@sfu-kras.ru); г. Красноярск  
Кнайка 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; [cvrkast@technion.ac.il](mailto:cvrkast@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  
Кумпяк О.Г., докт. техн. наук, профессор, зав. кафедрой железобетонных конструкций ТГАСУ, советник РААСН; [kumpyak@yandex.ru](mailto:kumpyak@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; [morozov@spbgasu.ru](mailto:morozov@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. наук, доцент инженерного факультета Международного дистанционного университета UNINETTUNO; [lucaplacidi@uninettunouniversity.net](mailto:lucaplacidi@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, 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/>; «Российская государственная библиотека»: <https://www.rsl.ru/>; «Томская областная универсальная научная библиотека имени А.С. Пушкина»: <https://www.lib.tomsk.ru/>; «EBSCO»: <https://www.ebsco.com>; «КиберЛенинка»: <https://cyberleninka.ru/>; «IPRbooks»: [www.iprbookshop.ru](http://www.iprbookshop.ru), а также на сайте «Вестник ТГАСУ»: <https://vestnik.tsuab.ru>

Научное издание

ВЕСТНИК ТГАСУ № 6 – 2021

ISSN 1607-1859 (для печатной версии)

ISSN 2310-0044 (для электронной версии)

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

Журнал перерегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор) ПИ № ФС77-81849 от 24 сентября 2021 г.

Учредитель: ФГБОУ ВО «Томский государственный архитектурно-строительный университет»

Редакторы Т.С. Володина, Г.Г. Семухина. Переводчик М.В. Воробьева. Дизайн Е.И. Кардаш. Технический редактор Н.В. Удлер.  
Подписано в печать 23.12.2021. Формат 70×108/16. Гарнитура Таймс. Дата выхода: 29.12.2021.  
Уч.-изд. л. 16,14. Усл. печ. л. 19,16. Тираж 200 экз. Цена: свободная.  
Зак. № 128.

Адрес редакции/издателя: 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, 2021

Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation

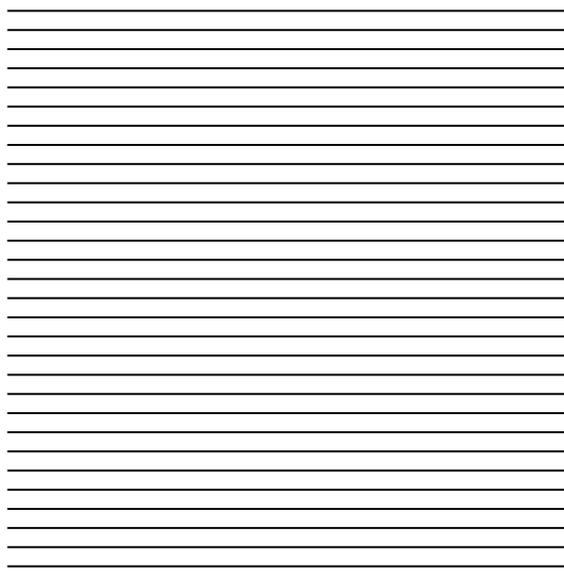
VESTNIK  
TOMSKOGO GOSUDARSTVENNOGO  
ARKHITEKTURNO-STROITEL'NOGO UNIVERSITETA

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

Volume 23

№ 6 2021  
SCIENTIFIC AND TECHNICAL JOURNAL

Published since April 1999



## EDITORIAL STAFF

Lyakhovich L.S., DSc, Professor, RAACS Academician, Chief Editor, Head of Structural Mechanics Dept., TSUAB; [lls@tsuab.ru](mailto:lls@tsuab.ru), Tomsk, Russia  
Akimov P.A., DSc, Professor, RAACS Academician, RAACS Chief Academic Secretary; [pavel.akimov@gmail.com](mailto:pavel.akimov@gmail.com), Moscow, Russia  
Belostotskii A.M., DSc, Professor, RAACS Corresponding Member, Director General Research Center StaDiO; [amb@stadyo.ru](mailto:amb@stadyo.ru), Moscow, Russia  
Bondarenko I.A., DSc, Professor, RAACS Academician, Director Scientific Research Institute of Theory and History of Architecture and Urban Planning, Branch of the Central Institute for Research and Design of the Ministry of Construction and Housing and Communal Services of the Russian Federation; [niitag@yandex.ru](mailto:niitag@yandex.ru), Moscow, Russia  
Chernyshov E.M., DSc, Professor, RAACS Academician, Chairman of the Presidium of RAACS Central Regional Branch; [chem@vgasu.vrn.ru](mailto:chem@vgasu.vrn.ru), Voronezh, Russia  
Chiaia B., PhD, Professor, Politecnico di Torino (Polytechnic University of Turin); [bernardino.chiaia@polito.it](mailto:bernardino.chiaia@polito.it), Turin, Italy  
Degtyarev V.V., DSc, Professor, Head of Hydraulic Engineering, Safety and Ecology Dept., Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering; [ngasu\\_gts@mail.ru](mailto:ngasu_gts@mail.ru), Novosibirsk, Russia  
Dzyubo V.V., DSc, Professor, Department of Water Supply and Sewage Systems, TSUAB; [dzy1956@mail.ru](mailto:dzy1956@mail.ru), Tomsk, Russia  
Efimenko V. N., DSc, Professor, Dean of Road Engineering and Construction Faculty, Head of Automobile Roads Dept., TSUAB; [svefimenko\\_80@mail.ru](mailto:svefimenko_80@mail.ru), Tomsk, Russia  
Efimenko S.V., DSc, Dean of Road Engineering and Construction Faculty, TSUAB; [svefimenko\\_80@mail.ru](mailto:svefimenko_80@mail.ru), Tomsk, Russia  
Esaulov G.V., DSc, Professor, RAACS Academician, Vice-Rector for Research of Moscow Architectural Institute (State Academy); [esaulovgv@raasn.ru](mailto:esaulovgv@raasn.ru), Moscow, Russia  
Girardot M.C., DSc, Professor, Engineering Dept., International Telematic University UNINETTUNO; [g.cennamo@uninettunouniversity.net](mailto:g.cennamo@uninettunouniversity.net), Roma, Italy  
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  
Il'ichev V.A., DSc, Professor, RAACS Academician, RAACS Vice President; [ilyichev@raasn.ru](mailto:ilyichev@raasn.ru), Moscow, Russia  
Inzhutov I.S., DSc, Professor, Director School of Engineering and Construction, SibFU; [iinzhutov@sfu-kras.ru](mailto:iinzhutov@sfu-kras.ru), Krasnoyarsk, Russia  
Kopanitsa N.O., DSc, Professor, Building Materials and Technologies Dept., TSUAB; [kopanitsa@mail.ru](mailto:kopanitsa@mail.ru), Tomsk, Russia  
Kovler K., A/Professor, Civil and Environmental Engineering, Head of Building Materials, Performance & Technology Dept., Technion Israel Institute of Technology; [cvrkost@technion.ac.il](mailto:cvrkost@technion.ac.il), Haifa, Israel  
Kudiyakov A.I., DSc, Professor; RAACS Adviser, Head of Construction Engineering Technology Dept., TSUAB (Tomsk, Russia); [kudiyakov@tsuab.ru](mailto:kudiyakov@tsuab.ru)  
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  
Lezhava I.G., DSc, Professor, RAACS Academician, RAACS Vice President, Moscow Architectural Institute (State Academy); [lezhavailia@gmail.com](mailto:lezhavailia@gmail.com), Moscow, Russia  
Morozov V.I., DSc, Professor, RAACS Corresponding Member, Head of Engineering Constructions Dept., SPSUACE; [morozov@spbgasu.ru](mailto:morozov@spbgasu.ru), St-Petersburg, Russia  
Ovsyanikov S.N., DSc, Professor, Head of Architecture of Civil and Industrial Buildings Dept., TSUAB; [ovsn@tsuab.ru](mailto:ovsn@tsuab.ru), Tomsk, Russia  
Plachidi L.L., DSc, A/Professor, Engineering Dept., International Telematic University UNINETTUNO; [luca.placidi@uninettunouniversity.net](mailto:luca.placidi@uninettunouniversity.net), Roma, Italy  
Polyakov E.N., DArts, Professor; Member of the Union of Architects of Russia; Theory and History of Architecture Dept., TSUAB; [polyakov-en@ya.ru](mailto:polyakov-en@ya.ru), Tomsk, Russia  
Pustovetov G.I., DSc, Professor, RAACS Correspondent Member, Adviser Novosibirsk State University of Architecture, Design and Fine Arts; [pustovetovgi@gmail.com](mailto:pustovetovgi@gmail.com), Novosibirsk, Russia  
Skolubovich Yu.L., DSc, Professor, RAACS Correspondent Member, Rector Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering; [sjl1964@mail.ru](mailto:sjl1964@mail.ru), Novosibirsk, Russia  
Shubin L.L., DSc, RAACS Corresponding Member, Director Structural Physics Research Institute, RAACS; [niisf@niisf.ru](mailto:niisf@niisf.ru), Moscow, Russia  
Tsvetkov N.A., DSc, Professor, Head of Heat and Gas Supply Dept., TSUAB; [nac@tsuab.ru](mailto:nac@tsuab.ru), Tomsk, Russia  
Travush V.I., DSc, Professor, RAACS Vice President, RAACS Academician; [travush@mail.ru](mailto:travush@mail.ru), Moscow, Russia  
Vlasov V.A., DSc, Professor, Rector, TSUAB; [rector@tsuab.ru](mailto:rector@tsuab.ru), Tomsk, Russia  
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  
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.rsl.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 № 6 – 2021  
Print ISSN 1607-1859 Online ISSN 2310-0044

The journal is registered by the Federal Agency on Press and Mass Communications of the Russian Federation PIN77-9483, 30 July, 2001.  
The journal is re-registered by the Federal Supervision Service for Communication, Information Technology and Mass Media (Roskomnadzor)  
PIN FS77-81849, September 24, 2021.

Founder: Tomsk State University of Architecture and Building

---

Editors T.S. Volodina, G.G. Semukhina. Translator M.V. Vorob'eva. Design: E.I. Kardash. Technical editor N.V. Udler  
Passed for printing: 23.12.2021. Paper size: 70×108/16. Typeface: Times New Roman Issue date: 29.12.2021.  
Published sheets: 16,14. Conventional printed sheets: 19,16. Print run: 200 copies Price: free.  
Order N 128.

---

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, 2021

## СОДЕРЖАНИЕ

### АРХИТЕКТУРА И ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВО

<b>Латыпова Т.А.</b> Классификация открытых пространств городской активности (на примере городских площадей г. Казани) (ООО «КРК Проект», г. Казань).....	9
<b>Низамиева Э.Р.</b> Внедрение принципов умного города как драйвер к реорганизации и повышению эффективности существующих городов (КГАСУ, г. Казань).....	19
<b>Гуров И.О.</b> Количественные оценки реновации завода «Петмол» в Санкт-Петербурге (ООО «БАЗИС», г. Санкт-Петербург) .....	28
<b>Малая Е.В.</b> Проблемы восстановления и развития городской среды старых промышленных центров (МАРХИ, г. Москва) .....	42
<b>Гайдук М.Ю.</b> Модерн и неоклассицизм в архитектуре зданий г. Тюмени, построенных на средства местного купечества во второй половине XIX – начале XX века (ТИУ, г. Тюмень).....	56
<b>Ситникова Е.В.</b> Формирование архитектурного облика г. Минусинска и влияние на него местного купечества в XIX – начале XX века (ТГАСУ, г. Томск).....	65
<b>Смолина О.О.</b> Каталоги арборскультуры: прогностические варианты по формированию и характеру применения (садовые стулья) (НГАСУ, г. Новосибирск) .....	77
<b>Гусакова Н.В.</b> Формирование организационно-экономической модели развития малоэтажного жилищного строительства (ТГАСУ, г. Томск).....	86
<b>Литвинова О.Г.</b> Прибрежная система расселения реки Ангары в XVII–XXI вв. в контексте стратегического планирования (ТГАСУ, г. Томск) .....	98

### СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ, ЗДАНИЯ И СООРУЖЕНИЯ

<b>Антонов А.И., Леденев В.И., Матвеева И.В., Пороженко М.А.</b> Расчет непостоянного шума с использованием функции отклика помещения, определяемой по экспериментальным данным (ТГТУ, г. Тамбов, НИИСФ РААСН, г. Москва).....	117
<b>Белоус А.Н., Белоус О.Е., Кулумбегова Л.З., Крахин С.В.</b> Теплоустойчивость наружных ограждающих конструкций с теплопроводными включениями в летний период года (ДонНАСА, ДНР, г. Макеевка, ЮОГУ им. А.А.Тибилова, Республика Южная Осетия, г. Цхинвал).....	129
<b>Кумняк О.Г., Галяутдинов Д.Р.</b> Экспериментальные исследования железобетонных балок с распором на податливых опорах при кратковременном динамическом нагружении (ТГАСУ, г. Томск).....	143

### СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ

<b>Шорин В.А., Литвинов В.С., Сагдеев А.А., Шорин А.В., Горленко Н.П., Саркисов Д.Ю., Саркисов Ю.С.</b> Повышение надежности стальных резервуаров для хранения фосфорной кислоты (ООО «Техноконтроль», г. Самара, ООО «Иркутский Завод Полимеров», г. Иркутск, ООО «Транснефть Надзор», г. Казань, ООО «Титан», г. Санкт-Петербург, ТГАСУ, г. Томск).....	157
<b>Скрипникова Н.К., Куниц О.А., Улмасов А.Б.</b> Использование стекольных и металлургических отходов при производстве облицовочной керамики (ТГАСУ, г. Томск).....	165

ТЕПЛОСНАБЖЕНИЕ, ВЕНТИЛЯЦИЯ, КОНДИЦИОНИРОВАНИЕ ВОЗДУХА,  
ГАЗОСНАБЖЕНИЕ И ОСВЕЩЕНИЕ

**Куриленко Н.И., Кузьменко К.Е.** Анализ существующих методов проведения  
испытаний на тепловых сетях (ТИУ, г. Тюмень) ..... 172

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

**Лукашевич В.Н., Лукашевич О.Д., Мокшин Р.И.** Применение электронного  
парамагнитного резонанса для исследования процессов старения органического  
вяжущего в дисперсно-армированных основаниях дорожных одежд (ТГАСУ, г. Томск) ..... 179

**Чурилин В.С., Пушкарёва Г.В.** Влияние регионально-генетического типа глинистых  
грунтов при комплексном укреплении (ТГАСУ, г. Томск)..... 190

**Картопольцев А.В., Картопольцев В.М., Кухаренко С.А.** К вопросу развития методов  
регулирования динамических характеристик пролетных строений мостов  
(ООО «ДИАМОС», ТГАСУ, г. Томск)..... 201

## C O N T E N T S

### ARCHITECTURE AND URBAN PLANNING

<b>Latypova T.A.</b> Urban space classification of squares in Kazan (Kazan).....	9
<b>Nizamieva E.R.</b> Smart city development as a driver of efficiency reorganization and improvement of cities (Kazan) .....	19
<b>Gurov I.O.</b> Quantitative assessment of renovation of “Petmol” plant in Saint-Petersburg (Saint-Petersburg).....	28
<b>Malaya E.V.</b> Problems of restoration and development of urban environment of old industrial centers (Moscow) .....	42
<b>Gaiduk M.Yu.</b> Art Nouveau and Neoclassicism of buildings in Tyumen financed by merchants late in the 19th and early 20th centuries (Tyumen) .....	56
<b>Sitnikova E.V.</b> Minusinsk architecture formation affected by local merchants in the 19–20th centuries (Tomsk).....	65
<b>Smolina O.O.</b> Tree shaping catalogs: formation and nature of garden chair applications (Novosibirsk).....	77
<b>Gusakova N.V.</b> Business model of low-rise construction development (Tomsk).....	86
<b>Litvinova O.G.</b> Settlement system in the Angara coastal area in the 17th–21st centuries in terms of strategic planning (Tomsk).....	98

### BUILDING AND CONSTRUCTION

<b>Antonov A.I., Ledenev V.I., Matveeva I.V., Porozhenko M.A.</b> Noncontinuous noise calculated by room response function determined by experimental data (Tambov, Moscow) .....	117
<b>Belous A.N., Belous O.E., Kulumbegova L.Z., Krakhin S.V.</b> Thermal resistance of building envelopes with heat-conducting elements in summer period (Donetsk Region, Makiivka, Republic of South Ossetia, Tskhinvali) .....	129
<b>Kumpyak O.G., Galyautdinov D.R.</b> Reinforced concrete beams on yielding supports with thrust under dynamic load (Tomsk).....	143

### CONSTRUCTION MATERIALS AND PRODUCTS

<b>Shorin V.A., Litvinov V.S., Sagdeev A.A., Shorin A.V., Gorlenko N.P., Sarkisov D.Yu., Sarkisov Yu.S.</b> Reliability improvement of steel storage tanks for phosphoric acid (Tomsk).....	157
<b>Skripnikova N.K., Kunts O.A., Ulmasov A.B.</b> Glass and metallurgical wastes in facing ceramics production (Tomsk).....	165

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

**Kurilenko N.I., Kuzmenko K.E.** Analysis of heat network testing methods (Tyumen) ..... 172

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

**Lukashevich V.N., Lukashevich O.D., Mokshin R.I.** Electron paramagnetic resonance  
in organic binder aging in dispersely reinforced substructures (Tomsk) ..... 179

**Churilin V.S., Pushkareva G.V.** Soil genetics in its complex stabilization (Tomsk) ..... 190

**Kartopoltsev V.M., Kartopoltsev A.V., Kukharenko S.A.** Towards dynamic property  
control of bridge spans (Tomsk) ..... 201

# АРХИТЕКТУРА И ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВО

УДК 711.4

DOI: 10.31675/1607-1859-2021-23-6-9-18

*Т.А. ЛАТЫПОВА,  
ООО «КРК Проект»*

## КЛАССИФИКАЦИЯ ОТКРЫТЫХ ПРОСТРАНСТВ ГОРОДСКОЙ АКТИВНОСТИ (НА ПРИМЕРЕ ГОРОДСКИХ ПЛОЩАДЕЙ Г. КАЗАНИ)

Цель исследования – создание авторской классификации открытых пространств городской активности.

Были изучены, проанализированы существующие теории и концепции изучения городского пространства, выявлены современные мировые тенденции и подходы к классификации городских пространств, изучены и проанализированы три городские площади в г. Казани, составлена авторская классификация.

Значимость полученных результатов для архитектуры и градостроительной науки состоит в том, что составленная классификация может быть использована в градостроительной практике на территориях новой застройки при внедрении пространств городской активности.

**Ключевые слова:** городское пространство; функциональный процесс; классификация; городская активность.

**Для цитирования:** Латыпова Т.А. Классификация открытых пространств городской активности (на примере городских площадей г. Казани) // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2021. Т. 23. № 6. С. 9–18.

DOI: 10.31675/1607-1859-2021-23-6-9-18

*Т.А. LATYPOVA,  
ООО “KPK Projekt”*

## URBAN SPACE CLASSIFICATION OF SQUARES IN KAZAN

**Purpose:** The author's classification of open spaces of urban activity. **Research findings:** Existing theories and concepts about urban space are studied and analyzed, modern global trends and approaches to the classification of urban spaces are identified, three city squares in Kazan are studied and analyzed. **Research implications:** The compiled classification of architecture and urban planning can be used in urban planning of territories with new buildings when introducing spaces of urban activity.

**Keywords:** urban space; functional process; classification; urban activity.

**For citation:** Latypova T.A. Klassifikatsiya otkrytykh prostranstv gorodskoi aktivnosti (na primere gorodskikh ploshchadei g. Kazani) [Urban space classification of

squares in Kazan]. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture. 2021. V. 23. No. 6. Pp. 9–18. DOI: 10.31675/1607-1859-2021-23-6-9-18

### Введение

Развитие социальной жизни крупных городов предполагает трансформацию городских пространств. Создание эффективно функционирующих пространств становится одним из определяющих факторов привлекательности и качества жизни городского района и, как следствие, самого города. В настоящей статье городские пространства рассмотрены с точки зрения происходящих в них функциональных процессов.

Базой для данного исследования стали научные разработки отечественных и зарубежных авторов. Автором первой научной работы, полностью посвященной публичным пространствам, была Х. Арендт. Её книга «Vita activa, или О деятельной жизни» раскрывает особенности формы и характеристики городских публичных пространств [1]. Также стоит отметить коммуникационную теорию Ю. Хабермаса, в которой рассматривается влияние массмедиа на общественную жизнь, тем самым создающее особую площадку для создания общественного мнения. Возникновение и исчезновение публичных пространств Ю. Хабермас изучает с политической точки зрения [2].

Р. Ольденбург в своей концепции «третьего места» детально классифицирует публичные городские территории. Первое место для человека – это дом, второе – работа, третье место часто выполняет рекреационную или развлекательную функцию. Такие места становятся значимыми точками неформальной публичной жизни. Чертами, характеризующими «третье место», являются: нейтральность, «уравнивающее пространство», доступность и размещение, дом вдали от дома, состояние психологического комфорта. Третье место может быть реальным (английский паб, французское кафе, американская таверна, главная улица, культурный центр и пр.) и виртуальным (интернет-сообщества) [3].

Стоит отметить работы британского социолога З. Баумана «Глобализация. Последствия для человека и общества», «Текущая современность» [4]. В них отражены изменения публичной жизни. З. Бауман выдвигает идею текучести и подвижности мира, главное в которой – изменение взаимосвязи между пространством и временем. Ценность времени в современном обществе возрастает. Это способствует возникновению гибридных публичных пространств. Также современные общественные публичные пространства мобильны, способны к трансформации. Фактор времени позволяет расширить пространство, использовать его эффективнее. Вероятно, возможность быстро и удобно менять городскую среду под необходимые нужды и есть основная тенденция развития общественных пространств.

А.А. Антонова в статье «Классификация публичных пространств в современной городской культуре» выделяет следующие типы публичных пространств:

- классические;
- переходные;
- неклассические.

К классическим публичным пространствам относятся площади, городские улицы, парки, набережные, кафе. Такие городские пространства по-прежнему остаются актуальными, создаются новые классические публичные пространства. Переходные публичные пространства объединяют в себе элементы публичной и частной сферы жизни людей. К неклассическим публичным пространствам относятся все новые формы общественных коммуникаций в современном городе (преимущественно культурной направленности): арт-кластеры, лофты, современные многофункциональные городские центры и арт-резиденции [5].

Олег Паченков, директор Центра независимых социологических исследований (Санкт-Петербург), выделяет пять типов общественных пространств, необходимых современному городу:

- социально-событийные – например, площади;
- культурно-досуговые – театры, кинотеатры и открытые пространства рядом с ними (которые также могут быть задействованы);
- зеленые рекреационные – парки и скверы;
- политические – такие, например, как Гайд-парк;
- обыденные – дворы, придомовые детские и спортивные площадки [6].

Т.С. Баталина в статье «Анализ особенностей формирования общественного пространства» подразделяет все общественные пространства на три типа по их сформировавшейся градостроительной потребности.

1. Специально возведенные, предназначенные для конкретной функциональной задачи. Главная цель создания таких пространств – возможность реализации запланированной функции. К такому типу пространств можно отнести пляжи, спортивные стадионы, технологические площадки (от водоемов до автостоянок), участки для экспозиций.

2. Пространства, примыкающие к объемным сооружениям. Примерами подобных общественных пространств могут являться открытые территории административных зданий, дворы жилой застройки, территории комплексов и различных сооружений. Такие пространства могут не только выполнять распределительную или рекреационную функцию, но и быть самостоятельным градостроительным элементом.

3. Многоцелевые объемно-пространственные образования. Одной из причин их возникновения являются подобные градостроительные факторы: потребность в общественном ядре, необходимость сформированной сети коммуникаций различных городских учреждений и магазинов, сформированная монументальная застройка с тесной связью между функцией площадки и организующими ее объемами. К данной категории можно отнести улицы, бульвары, скверы и площади [7].

Также все городские пространства можно классифицировать в соответствии с их значением на местные, районные и городские. Для каждого уровня градостроительной значимости будет соответствующее планировочное и объемное решение.

Смешение различных видов деятельности внутри городского пространства является основой его успешного функционирования [8–10]. В статье Ю.А. Закировой выявлены основные функционально-планировочные и территориальные аспекты трансформации городской среды разных по размеру мо-

ноцентрических городов Казанской агломерации. Одним из выделенных аспектов является изменение функционального назначения крупных (значимых) фрагментов городских территорий, в том числе из-за смешанного использования объектов и пространств, приоритетного развития сферы услуг и связанных с ними объектов и пространств [11].

### 1. Материалы и методы

Методика изучения основана на общенаучных исследованиях, включающих сбор, обработку, систематизацию и анализ литературных и проектных источников. Типология пространств является одной из актуальных тем современного градостроительства. По отдельности элементы градостроительной структуры неоднократно являлись объектами исследования [12–15].

Автором проведен градостроительный анализ городских площадей, который позволил изучить состав и количество единичных функциональных процессов, проходящих на городской территории, для дальнейшего сравнительного анализа и включения в систему классификации пространств городской активности.

Предлагаемая автором классификация учитывает изменения городских общественных пространств и основана на количестве функциональных процессов, проходящих на городской территории. Предполагается, что избыточность функциональных процессов формирует пространство городской активности. Как единичные социально значимые функциональные процессы выделены следующие виды деятельности:

- медицина;
- образование;
- культура;
- детские учреждения;
- торговля;
- спорт;
- досуг;
- красота/здоровье.

В рамках исследования проанализированы три городские территории, включающие пространство площади в г. Казани. Критериями выбора стали: популярность этих городских пространств у горожан и туристов, наличие хорошо развитой транспортной инфраструктуры, разнообразие единичных функциональных процессов. Первая территория – площадь им. Г. Тукая, вторая – площадь Свободы, третья – Советская площадь.

На аналитической схеме площади Свободы (рис. 1) явно заметно, что пространство площади сформировано преимущественно зданиями с административными, культурными и образовательными функциями.

На аналитической схеме площади им. Г. Тукая (рис. 2) можно отметить многообразие единичных функциональных процессов. На исследуемой территории присутствуют объекты торговли, культуры, образования, досуга, медицины, красоты/здоровья, а также административные и офисные помещения, гостиницы, памятники и исторические объекты. Превалирующее большинство объектов, непосредственно окружающих площадь, имеют торговую или досуговую функцию.

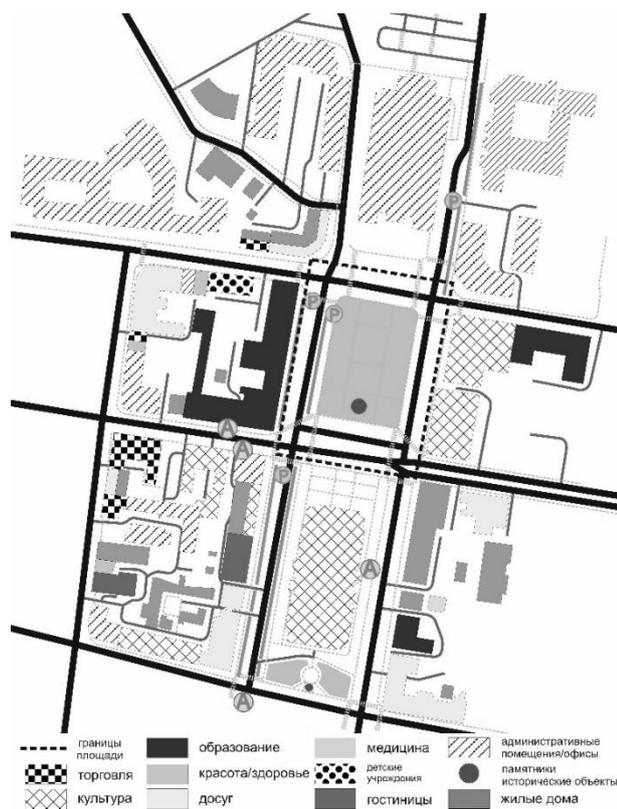


Рис. 1. Анализ функциональных процессов площади Свободы (иллюстрация автора)



Рис. 2. Анализ функциональных процессов площади им. Г. Тукая (иллюстрация автора)

На аналитической схеме Советской площади (рис. 3) можно отметить более скудное количество функциональных процессов, преобладание жилых домов.

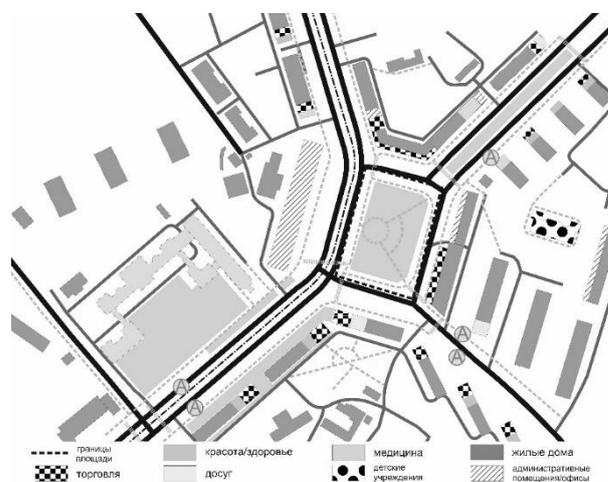


Рис. 3. Анализ функциональных процессов Советской площади (иллюстрация автора)

Это связано с тем, что данная площадь несколько удалена от исторического центра города, она имеет статус районного значения и сформирована преимущественно жилыми домами с обслуживающими функциями на первом этаже (торговля, досуг, красота/здоровье, медицина).

## 2. Результаты исследования

После обобщения все изученные классификации пространств представлены в табл. 1.

Таблица 1

### Классификация пространств городской активности

По территориальному признаку			
Локальные	Центральные	Периферийные	
По виду процесса			
Транзитные		Стационарные	
По социальной функции			
Частные	Публичные	Полупубличные	
По форме			
Точечные	Линейные	Дискретные	
По элементам планировочной структуры			
Двор	Улица	Перекресток	Площадь
По времени использования			
Повседневного использования	Событийные		Сезонные
По функциональному назначению			
Коммуникация	Передвижение		Символическая
Удовлетворение потребностей	Обучающая, познавательная		Осуществление деятельности
Рекреационная	Эстетическая		Репрезентативная

По представленным выше схемам был произведен подсчет функциональных процессов на анализируемых территориях, аналитические данные представлены в табл. 2.

Таблица 2

**Функциональные процессы на анализируемых территориях, кол-во ед.**

Вид деятельности	Площадь им. Г. Тукая	Площадь Свободы	Советская площадь
Медицина	3	1	4
Образование	5	3	0
Культура	1	6	0
Детские учреждения	0	1	1
Торговля	12	4	14
Спорт	0	0	0
Досуг	10	6	3
Красота/здоровье	2	3	8
Административные учреждения/офисы	23	14	5
Гостиницы	6	2	0
Итого функциональных процессов	62	40	35
Площадь территории, км <sup>2</sup>	3,06	2,7	2,4
Количество функциональных процессов на 1 км <sup>2</sup> территории	20,2	14,8	14,5

**3. Обсуждение**

Результаты исследования показывают, что количество функциональных процессов на трех исследуемых городских площадях разное. Самое большое количество единичных функциональных процессов на площади им. Г. Тукая, вторая по количеству функциональных процессов – площадь Свободы, третья – Советская площадь.

Исходя из проведенного анализа все пространства городской активности предлагается разделить:

- на монофункциональные – с одним единичным функциональным процессом;
- полифункциональные – с несколькими единичными функциональными процессами.

Полифункциональные пространства городской активности, в свою очередь, предлагается ранжировать в соответствии с количеством единичных функциональных процессов на единицу площади:

- низкой плотности (от 5 до 15 единичных функциональных процессов на единицу площади);

– средней плотности (от 15 до 20 единичных функциональных процессов на единицу площади);

– высокой плотности (от 20 единичных функциональных процессов на единицу площади и выше).

В соответствии с выявленной классификацией площадь им. Г. Тукая – центральная, транзитная, публичная, повседневного использования, дискретная, площадь с высокой плотностью единичных функциональных процессов, площадь Свободы – центральная, стационарная, публичная, повседневного использования, дискретная, площадь со средней плотностью единичных функциональных процессов, Советская площадь – периферийная, стационарная, публичная, повседневного использования, точечная, площадь с низкой плотностью единичных функциональных процессов.

### Заключение

На основании вышеизложенного можно сделать следующие выводы:

1. В работе собраны и проанализированы существующие научные исследования по классификации общественных пространств.

2. Проанализированы с точки зрения количества единичных функциональных процессов территории трех городских площадей в г. Казани.

3. На основе результатов исследования составлена авторская классификация пространств городской активности.

4. Составленная классификация позволяет произвести ранжирование пространств городской активности в структуре города.

5. Учет этих особенностей при проектировании значительно облегчает процесс внедрения пространств городской активности на территориях новой застройки.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Арендт Х.* Vita activa, или О деятельной жизни. Санкт-Петербург : Алетей, 2000. 437 с.
2. *Хабермас Ю.* Структурное изменение публичной сферы: исследование относительно категории буржуазного общества. Москва : Весь Мир, 2016. 344 с.
3. *Ольденбург Р.* Третье место: кафе, кофейни, книжные магазины, бары, салоны красоты и другие места «тусовок» как фундамент сообщества. Москва : Новое литературное обозрение, 2014. 456 с.
4. *Бауман З.* Текучая современность. Санкт-Петербург : Питер, 2008. 240 с.
5. *Антонова А.А.* Классификация публичных пространств в современной городской культуре // Урбанистика. 2017. Вып. 3. С. 74–80. DOI: 10.7256/2310-8673.2017.3.24020
6. *Паченков О.* Публичное пространство города перед лицом вызовов современности // НЛО. 2012. Вып. 117. С. 419–439.
7. *Баталина Т.С.* Анализ особенностей формирования общественного пространства // Бизнес и дизайн ревю. 2017. Вып. 1 (5). С. 11.
8. *Jingwen Cao, Jian Kang.* Social relationships and patterns of use in urban public spaces in China and the United Kingdom // Cities. 2019. V. 93. P. 188–196. doi.org/10.1016/j.cities.2019.05.003
9. *Khalid Mandeli.* Public space and the challenge of urban transformation in cities of emerging economies: Jeddah case study // Cities. V. 95. URL: <https://doi.org/10.1016/j.cities.2019.102409>

10. *Vikas Mehta, Jennifer K. Bosson*. Revisiting Lively Streets: Social Interactions in Public Space // *Journal of Planning Education and Research*. 2018. V. 41 P. 160–172. URL: <https://doi.org/10.1177/0739456X18781453>
11. *Zakirova Yu.A., Khusnutdinova S.R., Faizrakhmanova G.R.* Transformation of the city environment: functional-planning and territorial aspects // *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*. 2020. V. 753. I. 042069. DOI: 10.1088/1757- 899X/753/4/042069
12. *Sungduck Lee*. Understanding the context of neighborhood parks: a method for public space classification // *Journal of Urbanism: International Research on Placemaking and Urban Sustainability*. 2019. V. 12. P. 103–127. doi.org/10.1080/17549175.2018.1531905
13. *Francesco Rossini, Melody Hoi-lam Yiu*. Public open spaces in private developments in Hong Kong: new spaces for social activities? // *Journal of Urbanism: International Research on Placemaking and Urban Sustainability*. 2020. URL: <https://doi.org/10.1080/17549175.2020.1793803>
14. *Song Liu, Si-Qi Lai, Chao Liu, Li Jiang*. What influenced the vitality of the waterfront open space? A case study of Huangpu River in Shanghai, China // *Cities*. 2021. V. 114. URL: <https://doi.org/10.1016/j.cities.2021.103197>
15. *Цыбайкин А.А.* Методы реконструкции периферийных городских площадей в зоне выходов из станций метро // *Architecture and Modern Information Technologies*. 2020. № 2 (51). С. 116–126. DOI: 10.24411/1998-4839-2020-15108

## REFERENCES

1. *Arendt H.* Vita activa, ili O deyatel'noi zhizni [The human condition]. Saint-Petersburg: Al-eteiya, 2000. 437 p. (transl. from Engl.)
2. *Habermas Jü.* Strukturnoe izmenenie publichnoi sfery: issledovanie otnositel'no kategorii burzhuznogo obshchestva [Strukturwandel der Öffentlichkeit: Untersuchungen zu einer Kategorie der bürgerlichen Gesellschaft]. Moscow: Ves' Mir, 2016. 344 p. (transl. from Germ.)
3. *Oldenburg R.* Tret'e mesto: kafe, kofeini, knizhnye magaziny, bary, salony krasoty i drugie mesta tusovok kak fundament soobshchest [The great good place: Cafes, coffee shops, community centers, beauty parlors, general stores, bars, hangouts, and how they get you through the day]. Moscow: Novoe literaturnoe obozrenie, 2014. 456 p. (transl. from Engl.)
4. *Bauman Z.* Tekuchaya sovremennost' [Liquid modernity]. Saint-Petersburg: Piter, 2008. 240 p. (transl. from Poland)
5. *Antonova A.A.* Klassifikatsiya publichnykh prostranstv v sovremennoi gorodskoi kul'ture [Classification of public space in modern urban culture]. *Urbanistika*. 2017. No. 3. Pp. 74–80. DOI: 10.7256/2310-8673.2017.3.24020 (rus)
6. *Pachenkov O.* Publichnoe prostranstvo goroda pered litsom vyzovov sovremennosti [Public space in city in the face of modern challenges]. *NLO*. 2012. No. 117. Pp. 419–439. (rus)
7. *Batalina T.S.* Analiz osobennostei formirovaniya obshchestvennogo prostranstva [Analysis of public space formation]. *Biznes i dizain revyu*. 2017. No. 1 (5). P. 11. (rus)
8. *Jingwen Cao, Jian Kang*. Social relationships and patterns of use in urban public spaces in China and the United Kingdom. *Cities*. 2019. V. 93. Pp. 188–196. DOI: 10.1016/j.cities.2019.05.003
9. *Mandeli Kh.* Public space and the challenge of urban transformation in cities of emerging economies: Jeddah case study. *Cities*. V. 95. DOI: 10.1016/j.cities.2019.102409
10. *Mehta V., Bosson J.K.* Revisiting lively streets: Social interactions in public space. *Journal of Planning Education and Research*. 2018. V. 41. Pp. 160–172. DOI: 10.1177/0739456X18781453
11. *Zakirova Yu.A., Khusnutdinova S.R., Faizrakhmanova G.R.* Transformation of the city environment: Functional-planning and territorial aspects. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*. 2020. V. 753. 042069. DOI: 10.1088/1757- 899X/753/4/042069
12. *Sungduck Lee*. Understanding the context of neighborhood parks: a method for public space classification. *Journal of Urbanism: International Research on Placemaking and Urban Sustainability*. 2019. V. 12. Pp. 103–127. DOI: 10.1080/17549175.2018.1531905
13. *Rossini F.* Melody Hoi-lam Yiu. Public open spaces in private developments in Hong Kong: New spaces for social activities? *Journal of Urbanism: International Research on Placemaking and Urban Sustainability*. 2020. DOI: 10.1080/17549175.2020.1793803

14. *Song Liu, Si-Qi Lai, Chao Liu, Li Jiang*. What influenced the vitality of the waterfront open space? A case study of Huangpu River in Shanghai, China. *Cities*. 2021. V. 114. DOI: 10.1016/j.cities.2021.103197
15. *Tsybaikin A.A.* Metody rekonstruktsii periferiinykh gorodskikh ploshchadei v zone vykhodov iz stantsii metro [Reconstruction of peripheral urban squares near metro station exits]. *Architecture and Modern Information Technologies*. 2020. No. 2 (51). Pp. 116–126. DOI: 10.24411/1998-4839-2020-15108 (rus)

**Сведения об авторе**

*Латыпова Таисия Андреевна*, архитектор, ООО «КРК Проект», 420012, г. Казань, ул. Чехова, 6г, ahtasya@gmail.com

**Author Details**

*Taisiya A. Latypova*, Architect, ООО “KPK Proekt”, 6g, Chekhov Str., 420012, Russia, Kazan, ahtasya@gmail.com

УДК 711

DOI: 10.31675/1607-1859-2021-23-6-19-27

*Э.Р. НИЗАМИЕВА,**Казанский государственный архитектурно-строительный университет*

## **ВНЕДРЕНИЕ ПРИНЦИПОВ УМНОГО ГОРОДА КАК ДРАЙВЕР К РЕОРГАНИЗАЦИИ И ПОВЫШЕНИЮ ЭФФЕКТИВНОСТИ СУЩЕСТВУЮЩИХ ГОРОДОВ**

В данной статье рассматриваются современные трансформации в понятии «умный город», новейшие достижения городов и внедряемых ими технологических решений. Разбирается понятие, что такое «умный город», когда и почему это понятие появилось, какие стадии развития это понятие прошло и какие перспективы перед ним открываются.

Раскрываются мировые проблемы процесса урбанизации новых территорий, в чем они заключаются и пути их решения. Анализируются актуальные доклады и исследования, освещающие проблемы и решения активной урбанизации городов, и, как следствие, ухудшающаяся экологическая обстановка городов, масштабы негативного воздействия на окружающую среду. Как один из путей решения таких задач – внедрение комплекса решений, входящих в понятие «умный город», обеспечивающее устойчивое развитие. Сделаны попытки ответить на вопросы, как современные технологические решения и большие объемы данных помогают грамотно управлять коммунальными и экономическими ресурсами городов, бороться с экологическими вызовами современности и делать город более доступным для его жителей; каким образом исторические, сформированные города могут активно внедрять и усовершенствовать городскую среду с минимальными вмешательствами.

**Ключевые слова:** умный город; умные городские технологии; урбанизация; глобализация; устойчивое развитие; смарт-сити.

**Для цитирования:** Низамиева Э.Р. Внедрение принципов умного города как драйвер к реорганизации и повышению эффективности существующих городов // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2021. Т. 23. № 6. С. 19–27.

DOI: 10.31675/1607-1859-2021-23-6-19-27

*E.R. NIZAMIEVA,**Kazan State University of Architecture and Engineering*

## **SMART CITY DEVELOPMENT AS A DRIVER OF EFFICIENCY REORGANIZATION AND IMPROVEMENT OF CITIES**

**Purpose:** The aim of this work is to show how smart cities can drive the reorganization and efficiency of existing cities. **Design/methodology/approach:** The paper describes modern achievements in the field of a smart city, the latest achievements of cities and technological solutions they introduce. The paper analyzes when and why this concept appears, development stages and prospects of this concept. The world problems of the urbanization process in new territories and ways to solve them. **Research findings:** The paper considers relevant reports and studies highlighting the problems and solutions of urbanization and the ecological situation in cities, the negative impact on the environment. **Practical implications:** One of the ways to solve such problems is the implementation of a set of solutions included in the smart city concept. How modern technological solutions and large data volume assist in the communal and economic resource management, overcome environmental challenges of today and make the city more accessible to its residents. How historical cities can actively integrate and improve urban environment with minimal intervention. **Originality/value:** Attempts are made

to answer whether cities need to become smart, what the consequences may be. As a consequence of emerging issues, many problem must be discussed in future research.

**Keywords:** smart city; smart city technologies; urbanization; globalization; development.

**For citation:** Nizamieva E.R. Vnedrenie printsipov umnogo goroda kak draiver k reorganizatsii i povysheniyu effektivnosti sushchestvuyushchikh gorodov [Smart city development as a driver of efficiency reorganization and improvement of cities]. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture. 2021. V. 23. No. 6. Pp. 19–27.  
DOI: 10.31675/1607-1859-2021-23-6-19-27

## Введение

Сегодня на нашей планете проживает около 7,4 млрд чел., большая часть из которых живет в городах. В связи с активной урбанизацией и ростом городской ткани начал появляться дефицит и кризис обслуживающих систем, которым приходится оперативно решать транспортные, экологические, санитарные, жилищные и прочие инфраструктурные городские проблемы. В связи с этим становятся все более актуальными вопросы сбалансированного развития современных городов через внедрение информационных технологий и принципов умного города [1].

Термин «умный город» вошел в обиход в конце 90-х гг. XX в. Его появление стало новым словом в подходах к современному градостроительству [2]. Модель умного города включает в себя понятия:

- «умная экономика»;
- «умная транспортная сеть» (передвижение);
- «умная среда»;
- «умные горожане»;
- «умная жизнедеятельность»;
- «умное управление».

В современной литературе нет единого определения понятия «умный город». В общих чертах умный город можно описать как набор инициатив или проектов, которые эффективно используют цифровые технологии для повышения качества жизни граждан за счет предоставления качественных муниципальных услуг в рамках совместного процесса развития городской среды с участием всех заинтересованных сторон [3].

Внедрение новых технологий для умного города следует оценивать через их полезность, применимость, через то, как цифровые технологии могут улучшить физическое пространство и благоприятно сказаться на природной составляющей территории. При этом важнейшими аспектами внедрения техник умного города являются транспортные системы, энергетика и качество жизни горожан [4]. За последние двадцать лет сформировался достаточно большой опыт различных городов по внедрению принципов умного города, но данное понятие все равно еще находится на начальном пути развития. Также существует обширный ряд научных исследований о том, как внедрение информационных технологий и, в той или иной степени, концепций умного города сказывается на формировании города в современном его понимании.

В настоящем исследовании хотелось бы более детально затронуть аспект внедрения умных технологий с целью реорганизации и повышения привлекательности существующих городов.

### Материалы и методы

Данное исследование опирается на работы и изучение темы умных городов современных ученых из разных областей. Так, в работе Е.В. Попова, К.А. Семячкова, Н.А. Беднягина, С.Ф. Попова и А.В. Поспелова подробно разобрана типология проектов формирования умных городов на примере опыта городов зарубежных стран и городов России [10]. В исследовании анализируются первые шаги к внедрению в города информационных технологий и принципов умного города.

Переходным периодом в развитии концепции умных городов ученые считают основание Sidewalk Labs в 2015 г. Компания представляет собой городскую инновационную организацию, чья цель – улучшить городскую инфраструктуру с помощью технологических решений и решить проблемы, связанные с прожиточным минимумом, эффективностью транспорта и использования электроэнергии [11].

В исследовании С.Г. Шеина, Л.В. Гиря, Е.С. Питька и О.В. Медведева изучена тема интеллектуальной городской системы на примере реализации в городах России [8]. Идею умного города авторы разделяют на три основных блока: развитая инфраструктура, интеллектуальные здания жилого и общественного назначения, доступные социальные услуги. Под инфраструктурой подразумевается: геоинформационная система (ГИС), интеллектуальная транспортная система (ИТС) и безопасность городской среды. Одним из главных элементов умного города выступает геоинформационная система, являющаяся географической подложкой для всех подсистем. Интеллектуальная транспортная система (ИТС) отвечает за ситуацию на дорогах путем передачи данных о передвижении транспорта и отображении его на уличных справочных панелях и в телефонах пользователей [5]. Безопасность городской среды поддерживают городские камеры наружного наблюдения, обеспечивая таким образом оперативность мероприятий и комфортные условия для проживания людей. Блок «здания жилого и общественного назначения» включает в себя: умное здание, которое подразумевает высокий уровень оснащенности автоматизированной системой управления (АСУЗ), позволяющей существенно уменьшить потребление энергии и быстро устранить неполадки в работе инженерных систем здания. Элементами блока социальных услуг являются следующие подструктуры:

- электронная полиция;
- электронное здравоохранение;
- электронное образование [6–8].

В рамках исследования был изучен отчет «Решения умного города для более рискованного мира», в котором рассматривается, как 167 городов по всему миру используют технологии умных городов, данные и партнерские отношения для достижения целей устойчивого развития (ЦУР) [9]. В нем отмечается, что во время определения влияние решений умного города на сте-

пень устойчивости городов были выявлены города-лидеры по внедрению таких решений. Также отмечается, что пандемия стала катализатором значительных технологических, деловых и социальных изменений, которые будут продолжены после выхода из пандемии. Потребности и ожидания граждан растут, а бизнес ускоряется для Четвертой промышленной революции, поэтому наиболее успешными городами будут те, которые продвинуты в использовании умных технологий. Такие города будут далеко впереди в своем цифровом преобразовании, полностью устойчивые и адаптированные к новым способам ведения бизнеса. В отчете эти города называются городами 4.0. В табл. 1 даны определения каждой из стадий умного города и отображена дифференциация между ними.

Таблица 1

### Дифференциация степени внедрения принципов умного города

«Умный город 1.0»	«Умный город 2.0»	«Умный город 3.0»	«Умный город 4.0»
Данные города включают в себя пилотные решения, предлагаемые поставщиками технологий. Они часто видят в технологиях цель, а не средство удовлетворения потребностей граждан. Часто не оборудованы для извлечения выгоды из этих инвестиций и неверно оценивают их влияние на граждан	Города фокусируются на цифровых решениях для достижения своей социальной повестки дня. Они признают, что технологии могут улучшить большинство услуг для жителей. Однако им часто не хватает полной поддержки со стороны всех граждан, многие из которых могут быть исключены из процесса принятия решений	Эти города настроены на острые социальные и цифровые проблемы. Они включают граждан в процесс принятия решений и стремятся действовать от их имени. Они также понимают ценность технологий для преобразования и взаимосвязи своих городских экосистем	Эти города представляют собой сверхсвязанные города, в которых используются технологии, данные и участие граждан в достижении ЦУР. Они идут в ногу с новыми методами работы в рамках индустрии 4.0 и преуспевают в использовании партнеров для стимулирования изменений и предоставления инновационных методов финансирования

### Результаты исследования

В исследовании компании ESI ThoughtLab говорится, что в настоящее время городами, которые достигли уровня «умный город 4.0», считаются: Афины, Балтимор, Барселона, Берлин, Бирмингем, Бостон, Вена, Копенгаген, Хельсинки, Лондон, Лос-Анджелес, Мадрид, Москва, Нью-Йорк, Орlando, Орхус, Париж, Сингапур, Таллинн и Филадельфия.

В работе ученых Е.В. Попова, К.А. Семячкова, Н.А. Беднягина, С.Ф. Попова и А.В. Поспелова также описывается формирование концепции умных городов в начале 2000-х гг. Говорится, что период 2008–2012 гг. можно охарактеризовать как «умный город 1.0», где основное внимание было уделено отдельным сценариям использования технологий и были приняты преимущественно решения класса B2G (business-to-government) – отношения между бизнесом и государством [10].

Примером такого взаимодействия можно считать работу компании Sidewalk Labs, которая заключалась в следующих сферах:

– система мобильности, которая безопаснее и удобнее, чем частные автомобили, с меньшими затратами: технологии самостоятельного вождения и инструменты цифровой навигации, которые могут привести к созданию системы транзитных перевозок;

– жилье и недвижимость, которые являются более эффективными и более доступными: новые методы строительства и гибкие строительные конструкции позволяют создавать «радикальные районы смешанного использования»;

– новые стандарты устойчивости: набор инноваций в области дизайна инфраструктуры может сократить потребление энергии в зданиях.

– «общественное царство», которое ставит людей на первый план: инфраструктура, позволяющая сделать парки и общественные площадки более удобными, безопасными;

– сплоченное общество, использующее данные для улучшения городских служб: лучшая интеграция данных в сочетании с более доступными общественными центрами, которые предлагают разнообразные локальные услуги, обеспечивают комплексный подход к социальным и общественным услугам;

– открытая цифровая инфраструктура, вдохновленная инновациями: в основе города будущего лежит слой цифровой инфраструктуры, который обеспечивает повсеместное подключение для всех, предлагает новое понимание городской среды и поощряет создание и сотрудничество для решения местных проблем [10, 11].

После 2016 г. наступает новый период в развитии умных городов – формируется концепция «Умные города 2.0», где на первом месте стоит комфорт жителей, а информационные технологии становятся лишь средством для его создания. Начало периода характеризуется привлечением множества участников из разных секторов, гражданской активностью и ориентированностью на интересы населения [10].

Формирование умных городов происходит на основе внедрения передовых цифровых технологий обработки больших данных, платформенных взаимодействий, блокчейна и облачных технологий, а также их применения в виде различных приложений – «Интернет вещей» или таких технологий, как краудсорсинг, краудфандинг, краудворкинг и др. [12].

Четыре шага к тому, чтобы стать «умным городом 4.0»:

1. Использование новейших технологий: вложение значительных средств в базовые технологии, такие как облачные системы, мобильные устройства, интернет вещей, а также более специализированные решения, такие как биометрия, блокчейн, искусственный интеллект и телематика. Используются интеллектуальные технологии и приложения для достижения ЦУР.

2. Превращение данных в стратегический актив: использование различных типов данных. Особенно актуально в рамках реализации проектов «Интернет вещей», где могут запрашиваться биометрические, геопространственные, одноранговые, деловые данные в реальном времени.

3. Использование преимущества экосистемы: работа городов с партнерами за пределами местного самоуправления. Сюда входят академические учреждения, местные сообщества, отраслевые ассоциации, городские сети, компании и финансовые учреждения.

4. Вовлечение локальных граждан: более половины городов, обладающих статусом «умного города 4.0», анализируют потребности и ожидания граждан и активно получают их отзывы. И более шести из десяти тесно сотрудничают с жителями, чтобы понять их потребности.

«Умные города 4.0» значительно опережают другие города по всем аспектам управления данными. Основным преимуществом в них является грамотное умение сбора, интеграции, защиты и предоставления доступа гражданам к данным. Также эти города лучше извлекают ценность из данных и лучше справляются с монетизацией и анализом данных, включая прогнозный анализ. У большинства есть официальные права, ресурсы и бюджеты для управления и анализа данных на высоком уровне. Они, как правило, более открыты в использовании данных и интегрируют их во все городские департаменты.

В исследовании «Решения умного города для более рискованного мира» призывают использовать «умные технологии» по-умному, что это значит:

1. Фокус на кибербезопасности: 95 % «умных городов 4.0» обеспечивают учет кибербезопасности на ранних этапах процесса, по сравнению с 51 % других городов.

2. Управление цифровыми достижениями: в 75 % «умных городов 4.0» есть руководство и прописанные правила, регулирующие использование технологий, по сравнению только с 40 % в других городах.

3. Создание интонационных центров: 65 % «умных городов 4.0» имеют инновационный центр, способствующий внедрению передовых технологий, по сравнению с 41 % других городов.

4. Приоритет взаимодействия: 60 % «умных городов 4.0» уделяют приоритетное внимание взаимодействию и предпринимают шаги по устранению барьеров между различными городскими департаментами, по сравнению с 47 % других городов.

5. Создание цифровой справедливости: 50 % «умных городов 4.0» укрепили свой цифровой капитал за счет своих инвестиций, по сравнению с 27 % других городов.

6. Распределение цифрового финансирования: 50 % «умных городов 4.0» выделяют средства на интеллектуальные технологии при планировании проектов физической инфраструктуры, по сравнению с 30 % других городов [9].

Но нельзя забывать, что когда речь идет об умных городах, надо понимать, что речь не о самих технологиях, а это речь о подходах внедрения новых технологий, о готовности городской инфраструктуры, городских властей, а самое главное, готовность горожан к нововведениям и новым принципам взаимодействия и жизни в умном городе.

И конечно, многие города, использующие умные технологии, понимают, что их программы устойчивости и умного города потерпят неудачу без поддержки граждан.

### **Выводы**

В отчете «Решения умного города для более рискованного мира» отмечается, что все города из списка «умный город 4.0» очень чувствительны

к потребностям своих граждан и используют сочетание цифровых и традиционных методов для общения с ними. Они активно привлекают граждан, сообщества и другие заинтересованные стороны при постановке целей, демонстрируют ценность проектов и обеспечивают участие обездоленных слоев населения, в том числе бедных и инвалидов, в процессе принятия решений.

Отнимая долю у частного бизнеса, более трети «умных городов 4.0» назначили главного сотрудника по взаимодействию с гражданами – представителей частного бизнеса, чтобы оставаться на связи с гражданами. Данное ответственное лицо отвечает за непрерывный опыт граждан, обеспечивая, чтобы городские веб-сайты, центры обработки вызовов и мобильные приложения были разработаны с учетом потребностей граждан и простоты использования.

Сегодня те города, которые не идут по пути «умного», устойчивого развития, завтра будут сильно отставать от тех, которые стали на этот путь раньше. Как ни парадоксально, но, скорее всего, данный путь – единственно возможный на вступление городов в следующее поколение, отвечающих вызовам современности.

Чтобы понять, какие решения для будущих изменений работают лучше всего, нужно связать индивидуальные инициативы с окупаемостью инвестиций. Различные города применяют свои рычаги в каждой сфере, и их влияние на городские показатели везде индивидуально, как и сами города.

Данные решения можно обобщить в следующие 8 больших целей:

1) экономика, торговля и промышленность: привлечение бизнеса, рост и развитие промышленности;

2) правительство и образование: управление городом, его службами и работниками;

3) здоровье и жизнедеятельность: обеспечение благополучия и равноправия граждан;

4) общественная безопасность: обеспечение безопасности граждан и предотвращение преступлений;

5) мобильность и транспорт: позволяют людям и товарам перемещаться быстрее и безопаснее;

6) окружающая среда и устойчивое развитие: решения, повышающие устойчивость и качество окружающей среды;

7) энергия, вода и другие коммунальные услуги: ответственное распределение энергии, воды и других ресурсов;

8) цифровая инфраструктура и сети: соединение людей, устройств и активов в городе.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Попов Е.В., Семячков К.А.* Принципы формирования институционального обеспечения умных городов // Вестник Пермского университета. 2020. Т. 15. № 2. С. 198–217.
2. *Серая Е.С., Шеина С.Г., Петров К.С., Матвейко Р.Б.* Интеллектуальная городская среда. Интеграция ГИС и BIM // Инженерный вестник Дона. 2019. № 1.
3. *Попов Е.В., Семячков К.А.* Систематизация подходов к оценке развития умных городов // Экономика региона. 2020. Т. 16. Вып. 1. С. 14–27. DOI: 10.17059/2020-1-2
4. *Branchi P.E., Fernandez-Valdivieslo C., Matias I.R.* An Analysis Matrix for the Assessment of Smart City Technologies: Main Results of its Application // Systems. 2017. V. 5. № 8. 13 p.

5. *Шейна С.Г., Хамавова А.А., Исматулаева Н.А.* Комфортная среда жизнедеятельности: новые стандарты устойчивого развития сельских территорий // Инженерный вестник Дона. 2015. № 3. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2015/3123](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2015/3123)
6. *Шейна С.Г., Стародубцева А.С.* Устойчивое развитие городов. Комплексный подход к преобразованию городской среды // Инженерный вестник Дона. 2017. № 2. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2017/4114](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2017/4114)
7. *Волков А.А., Седов А.В., Чельшиков П.Д.* Концепция «Умный город». Москва : Московский государственный строительный университет, ЭБС АСВ, 2015. С. 6–8.
8. *Шейна С.Г., Гиря Л.В., Пить Е.С., Медведев О.В.* Интеллектуальная городская система и ее реализация на современном этапе развития России // Инженерный вестник Дона. 2019. № 1. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2019/5](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2019/5)
9. *Решения умного города для более рискованного мира* : электронная книга // ESI ThoughtLab. 2021.
10. *Попова Е.В., Семячкова К.А., Беднягина Н.А., Попова С.Ф., Поспелова А.В.* Типология проектов формирования умных городов // Муниципалитет: экономика и управление. 2020. № 1. С. 65–82.
11. *Sidewalk Labs* // [Sidewalklabs.com](http://Sidewalklabs.com). URL: <https://www.sidewalklabs.com/> (дата обращения: 06.12.2020).
12. *Попов Е.В., Херцегова К., Семячков К.А.* Инновации в институциональном моделировании экономики совместного использования // Журнал институциональных исследований. 2018. Т. 10. № 2. С. 25–42.
13. *Кочуров Б.И., Ивашкина И.В., Фомина Н.В., Лобковская Л.Г.* Принципы и примеры развития современного города как сложной урбоэкосоциосистемы // Градостроительство и планирование сельских населенных пунктов. 2018. № 3. С. 83–89. DOI: 10.24411/1816-1863-2018-13083
14. *Кучеров Ю.Н., Бушуев В.В., Иванов А.В., Корев Д.А., Утц С.А., Шихина А.В.* Комплексное развитие новых технологий энергосбережения Smart Cities // Окружающая среда и энерговедение. 2019. № 3. С. 49–69. DOI: 10.5281/zenodo.3539123
15. *Тетиор А.Н.* «Умное» градостроительство в век глобальных изменений воздействий и научно-технической революции // Науки Европы. 2020. № 54. С. 3–10.

## REFERENCES

1. *Popov E.V., Semyachkov K.A.* Principy formirovaniya institucional'nogo obespecheniya umnyh gorodov [The formation of institutional support for smart cities]. *Vestnik Permskogo universiteta*. 2020 V. 15. No. 2. Pp. 198–217. (rus)
2. *Seraya E.S., Sheina S.G., Petrov K.S., Matveyko R.B.* Intelektual'naya gorodskaya sreda. Itegraciya GIS i BIM [Intelligent urban environment. Integration of GIS and BIM]. *Inzhenernyi vestnik Dona*. 2019. No. 1. (rus)
3. *Popov E.V., Semyachkov K.A.* Sistematizaciya podhodov k ocnke razvitiya umnyh gorodov [Systematization of approaches to assessing smart city development]. *Ekonomika regiona*. 2020. V. 16. No. 1. Pp. 14–27. DOI: 10.17059 / 2020-1-2 (rus)
4. *Branchi P.E., Fernandez-Valdivieslo C., Matias I.R.* An analysis matrix for the assessment of smart city technologies: Main results of its application. *Systems*. 2017. V. 5. No. 8. 13 p.
5. *Sheina S.G., Khamavova A.A., Ismatulaeva N.A.* Komfortnaya sreda zhiznedeyatel'nosti: nye standarty ustojchivogo razvitiya sel'skih territorij [Comfortable living environment: New standards for sustainable development of rural areas]. *Inzhenernyi vestnik Dona*. 2015. No. 3. Available: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2015/3123](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2015/3123) (rus)
6. *Sheina S.G., Starodubtseva A.S.* Ustojchivoe razvitie gorodov. Kompleksnyj podhod k preobrazovaniyu gorodskoj sredy [Sustainable urban development. An integrated approach to urban environment transformation]. *Inzhenernyi vestnik Dona*. 2017. No. 2. Available: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2017/4114](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2017/4114) (rus)
7. *Volkov A.A., Sedov A.V., Chelyshkov P.D.* Konceptiya “Umnyj gorod” [Smart city concept]. Moscow: ASV, 2015. Pp. 6–8. (rus)
8. *Sheina S.G., Giry L.V., Pity E.S., Medvedev O.V.* Intelektual'naya gorodskaya sistema i ee realizaciya na sovremennom etape razvitiya Rossii [Intelligent urban system and its implemen-

- tation at present development stage in Russia]. *Inzhenernyi vestnik Dona*. 2019. No. 1. Available: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2019/5](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2019/5) (rus)
9. Resheniya umnogo goroda dlya bolee riskovannogo mira: elektronnyaya kniga. ESI ThoughtLab [Smart city solutions for a riskier world]. Available: <https://econsultsolutions.com/wp-content/uploads/2021/03/ESITL-Smart-City-Solutions-eBook-Final.pdf> (accessed June 6, 2021). (rus)
  10. *Popova E.V., Semyachkova K.A., Bednyagina N.A., Popova S.F., Pospelova A.V.* Tipologiya proektov formirovaniya umnykh gorodov [Typology of projects for smart city development]. *Munitsipalitet: ekonomika i upravlenie*. 2020. No. 1. Pp. 65–82. (rus)
  11. Sidewalk labs. Available: [www.sidewalklabs.com/](http://www.sidewalklabs.com/) (accessed June 12, 2020).
  12. *Popov E.V., Hercegovina K., Semyachkov K.A.* Innovacii v institucional'nom modelirovanii ekonomiki sovmestnogo ispol'zovaniya [Innovations in institutional modeling of sharing economy]. *Zhurnal institucional'nykh issledovaniy*. 2018. V. 10. No. 2. Pp. 25–42. (rus)
  13. *Kochurov B.I., Ivashkina I.V., Fomina N.V., Lobkovskaya L.G.* Principy i primery razvitiya sovremennogo goroda kak slozhnoy urboecosociosistemy [Principles and examples of modern city development as urban-ecological system]. *Gradostroitel'stvo i planirovanie sel'skikh nase-lennykh punktov*. 2018. No. 3. Pp. 83–89. DOI: 10.24411/1816-1863-2018-13083 (rus)
  14. *Kucherov Yu.N., Bushuev V.V., Ivanov A.V., Korev D.A., Utz S.A., Shikhina A.V.* Kompleksnoe razvitie novykh tekhnologiy energosberezheniya Smart Cities [Complex development of new technologies of energy saving in smart cities]. *Okruzhayushchaya sreda i energovedenie*. 2019. No. 3. Pp. 49–69. DOI: 10.5281/zenodo.3539123 (rus)
  15. *Tetior A.N.* Umnoe gradostroitel'stvo v vek global'nykh izmeneniy vozdeystviy i nauchno-tekhnicheskoy revolyucii [Smart urban planning in the age of global changes and scientific and technological revolution]. *Nauki Evropy*. 2020. No. 54. Pp. 3–10. (rus)

#### Сведения об авторе

*Низамиева Эльмира Равилевна*, аспирант, Казанский государственный архитектурно-строительный университет, 420124, г. Казань, ул. Зеленая, 1, [elofworld@gmail.com](mailto:elofworld@gmail.com)

#### Author Details

*Elmira R. Nizamieva*, Research Assistant, Kazan State University of Architecture and Engineering, 1, Zelenaya Str., 420043 Kazan, Tatarstan, Russia, [nizamieva.elmira@gmail.com](mailto:nizamieva.elmira@gmail.com)

УДК 69

DOI: 10.31675/1607-1859-2021-23-6-28-41

*И.О. ГУРОВ,  
ООО «БАЗИС»*

## **КОЛИЧЕСТВЕННЫЕ ОЦЕНКИ РЕНОВАЦИИ ЗАВОДА «ПЕТМОЛЬ» В САНКТ-ПЕТЕРБУРГЕ**

Закрепленное нормативами вредное воздействие промышленного производства на застройку традиционно является одним из оснований вывода завода на городскую окраину. Статья исследует частный случай реновации городской территории промышленного назначения под жилую застройку с коммерческими помещениями.

Проводится сравнение энергозатрат, загрязнения среды, демографической нагрузки, стоков и других показателей. Подтверждением правильности расчетов служат данные мониторинга воздушной среды.

Результаты расчетов показывают, что плотная жилая застройка может превосходить промышленную по степени отрицательного воздействия на среду, и поэтому реновация приводит к росту расхода ресурсов и ухудшению экологической ситуации.

**Ключевые слова:** реновация; проект реновации; промышленная зона; городская среда; плотная жилая застройка.

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

*I.O. GUROV,  
ООО “BAZIS”*

## **QUANTITATIVE ASSESSMENT OF RENOVATION OF “PETMOL” PLANT IN SAINT-PETERSBURG**

The standardized harmful effect of industrial production on buildings is one of the reasons for the plant withdrawal to the outskirts. The paper examines a particular case of renovation of the urban industrial area for residential commercial development. The energy consumption, environmental pollution, demographic burden, drains and other indicators are analyzed. The calculation results show that restrained urban conditions can surpass the industrial in terms of the negative impact on the environment, and therefore renovation leads to an increase in resource consumption and deterioration of the environmental situation. Air monitoring data are used to confirm the correctness of the calculations.

**Keywords:** renovation; renovation project; industrial zone; urban environment; ecology.

**For citation:** Gurov I.O. Kolichestvennyye otsenki renovatsii zavoda “Petmol” v Sankt-Peterburge [Quantitative assessment of renovation of “Petmol” plant in Saint-Petersburg]. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture. 2021. V. 23. No. 6. Pp. 28–41.  
DOI: 10.31675/1607-1859-2021-23-6-28-41

В последнее время реновацией промышленных зон в городской черте озабочены все промышленно развитые страны. Принимаются программные

документы [1, 2] многочисленные публикации посвящаются анализу потенциальных возможностей [1–11].

Подход застройщиков к реновациям промзон<sup>1</sup> резко отличается от академической науки. Исследование лондонских новостроек проливает свет на этот аспект, показывая, что процесс реновации запускается земельными спекуляциями, а не упадком промышленности [12, p. 37].

Обосновывая необходимость реновации, застройщики всегда упоминают об экологической вредности промышленного производства [13, с. 84]. Экологи, впрочем, не столь категоричны [14, с. 117]. В зарубежных исследованиях содержится много материалов, в которых данный вопрос проработан более внимательно. Так, исследование Анны Перик [15, p. 547] показывает, что превращение зеленой зоны около городского ядра в индустриальный парк может способствовать не только созданию новых рабочих мест, но и парадоксальным образом улучшить экологическую ситуацию. В другом исследовании установлено, что «коричневые зоны» имеют положительный охлаждающий эффект; автор его ищет такие условия реновации, при которых этот эффект сохранится [16]. Концепция «нового урбанизма»<sup>2</sup> вообще допускает вынос производства в специальные функциональные районы (district) только в тех случаях, когда нет возможности разместить его в границах универсального района-сообщества (neighborhood) [17, p. 21].

Молочный комбинат «Петмол» в Санкт-Петербурге не пришел в упадок, а переехал на окраину. Это дало редкую возможность взять его показатели и сопоставить их с новой застройкой. Будь он закрыт 30 лет назад, пришлось бы сделать слишком много произвольных допущений для получения твердого результата. Мы решили поискать ответ на вопрос, кто же в конечном счете потребляет больше энергии и вещества и выделяет больше вредных соединений: новая жилая застройка или старый завод?

Попутно отметим, что в отечественной журналистике<sup>3</sup>, а иногда и в профессиональном сообществе [18]<sup>4</sup> заброшенные промзоны называют «серым поясом». Терминология «цветового обозначения» введена в оборот урбанистами США, но в ней производственные территории принято называть «коричневой зоной» (brownfield), а к «серой зоне» (grayfield) относят торговые молы и парковки<sup>5</sup>.

Исходные данные для расчетов получены на основе проектных деклараций, статистических справочников и отчетов, нормативной литературы. Некоторые недостающие значения получены с помощью интерполяции. В примечаниях

---

<sup>1</sup> См., например: Дешево и сердито: сколько стоит соседство с крупной промзоной? URL: <https://www.incom.ru/novosti-i-analitika/novosti-rynka/deshevo-i-serdito-skolko-stoit-sosedstvo-s-krupnoy-promzonoj/> (accessed June 21, 2021).

<sup>2</sup> В англоязычных источниках известна как Conception of New Urbanism, аббревиатура – CNU.

<sup>3</sup> Редевелопмент серого пояса Санкт-Петербурга – итоги 2019 года. URL: <https://pronovostroy.ru/news/11712745-redevelopment-serogo-poiasa-sankt-peterburga-itogi-2019-goda/> (accessed June 21, 2021).

<sup>4</sup> См. также, например: Серый пояс. Преобразование. URL: <https://archsovet.msk.ru/competitions/seryy-poyas-preobrazovanie> (accessed June 21, 2021).

<sup>5</sup> What are Greenfield, Brownfield and Greyfield Sites. URL: <http://nebula.wsimg.com/3b4d8a91a5feef9724311c8bfc057002?AccessKeyId=2277E3C924084472C6D6&disposition=0&alloworig in=1> (accessed June 21, 2021).

ниях к таблицам указаны источники для каждого случая и нормативный документ, по которому производился расчет. Методика расчетов либо заимствована из нормативной литературы, либо объяснена в тексте. Так как задачей автора является оценочный расчет, показывающий порядковое соотношение величин, то значения округлялись и исходные данные упрощались. Все коммерческие площади были условно разделены на три группы: офисы (50 %), продовольственные магазины (25 %) и промтоварные магазины (25 %) – в соответствии с обычным для таких застроек соотношением. Встроенные общественные помещения рассматриваются в расчетах как коммерческие в силу приблизительности расчета, а также постоянно меняющегося назначения площадей в условиях аренды. Подземные парковки включены в состав общедомовой площади. Показатели для завода «Петмол» взяты по максимуму, т. к. это будет усиливать неоспоримость результата. Этапы развития территории даны на рис. 1, показатели застройки до и после реновации – в табл. 1.

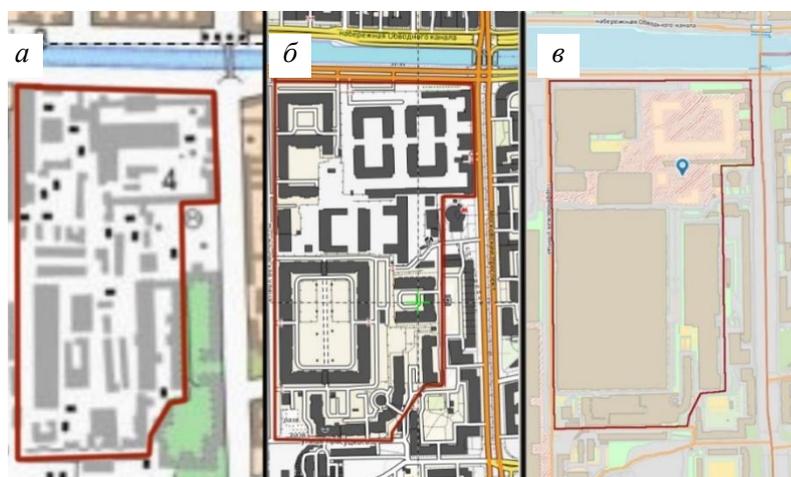


Рис. 1. Территория до начала реновации (1985 г.) (а); планируемое состояние после реновации (б); состояние на начало 2021 г. по карте РГИС (в)

В экологическом отношении участок неблагоприятный. Ближайшая станция измерения загрязнений воздуха, находящаяся по адресу Московский проспект, 19, в километре от места застройки, регулярно показывает завышение двуокси азота ( $\text{NO}_2$ ). Ситуация на участке, очевидно, хуже, чем на станции, т. к. с двух сторон от него расположены перегруженные автотранспортом улицы, а с третьей стороны находятся подъездные пути железнодорожного вокзала.

Транспортная ситуация закономерно сказывается и на шумности. Согласно акустической карте Санкт-Петербурга<sup>6</sup>, на данной территории уровень шума колеблется в пределах 60–75 дБ. Для сравнения: во дворах-колодцах исторического центра он составляет 40–45 дБ, а допустимая норма равняется 55 дБ (СП 51.13330.2011, табл. 1).

<sup>6</sup> Акустическая карта Санкт-Петербурга. URL: <https://gorod-812.ru/spasite-nashi-ushi/> (accessed June 15, 2021).



Загрязнение почвы на участке, согласно карте «Схема распределения суммарного индекса загрязнения почвогрунтов тяжелыми металлами (Zс)», на официальном сайте правительства<sup>1</sup> определить невозможно. Но в свободном доступе есть и более подробные карты<sup>2</sup>, показывающие, что в точке с координатами '59.9070,30.3157' индекс Zс колеблется в пределах 64–128, что означает опасное загрязнение. Предельно допустимая концентрация (ПДК) по бензапирену превышена в 10–25 раз. Перед началом строительства такой загрязненный грунт должен был быть замещен, поэтому нельзя исключать, что карта содержит устаревшие сведения.

Дадим некоторые пояснения к выбору ключевых данных для расчета. Сколько людей будет проживать в новых квартирах? По статистике Адмиралтейского района<sup>3</sup>, средняя обеспеченность жилой площадью в 2020 г. составляла 26,6 м<sup>2</sup> на человека (159 795 чел./4262,2 м<sup>2</sup>). Это соответствует данным доклада от 2019 г.<sup>4</sup>, в котором названа цифра 26,3 м<sup>2</sup> на человека по городу. Однако инженерные нагрузки различают площадь квартир и общедомовую площадь. Сайт министерства ЖКХ РФ<sup>5</sup> даёт общую площадь квартир в городе 112 394 181,5 м<sup>2</sup>.

По официальным данным, в городе 5 398 064 жителей<sup>6</sup>. По данным же комитета по труду и занятости<sup>7</sup>, на самом деле в городе проживает 7,09 млн чел. Возьмем эту последнюю цифру, основанную на данных использования мобильных сетей, т. к. люди без регистрации тоже где-то ночуют, моются, мусорят и т. п. В этом случае реальная обеспеченность становится равной 15,85 м<sup>2</sup>. Округлим её до 16 м<sup>2</sup> и заложим эту цифру в расчет.

В 2013 г. на заводе «Петмол» работало 380 чел.<sup>8</sup> Инженерные потребности предприятия «Петмола» мы будем рассчитывать по нормам 1987 и 1992 гг., хотя «Петмол» давно уже выкуплен Pepsi-Cola (Bermuda) Limited, работает на современном, менее энергоёмком оборудовании и, вероятно, неоднократно изменял штатное расписание. Но мы будем считать цифры советской эпохи более близкими к реальности, т. к. заводские территории имеют тенденцию к сдаче помещений и даже цехов в аренду, выпуску «левой» продукции, а также и к продаже части земли вместе с ресурсами.

<sup>1</sup> Экологический портал Санкт-Петербурга. Available: <http://www.infoeco.ru/index.php?id=55> (accessed June 21, 2021).

<sup>2</sup> Экология Санкт-Петербурга – карты загрязнений тяжелыми металлами, свинцом, диоксином, бензапиреном, радоном. Available: <http://www.cottagesspb.ru/ekologiya/sankt-peterburga/> (accessed June 21, 2021).

<sup>3</sup> Адмиралтейский район. URL: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Адмиралтейский\\_район](https://ru.wikipedia.org/wiki/Адмиралтейский_район) (accessed June 21, 2021).

<sup>4</sup> Невские новости. URL: <https://nevnov.ru/722439-srednyaya-obespechennost-zhilem-v-peterburge-sostavlyayet-26-3-kv-m-na-cheloveka> (accessed June 21, 2021).

<sup>5</sup> Дом. минжкх. URL: <https://dom.mingkh.ru/sankt-peterburg/> (accessed June 21, 2021).

<sup>6</sup> Доклад Правительства Санкт-Петербурга Законодательному Собранию Санкт-Петербурга о ходе реализации Генерального плана Санкт-Петербурга в 2019 году. URL: <https://nevnov.ru/722439-srednyaya-obespechennost-zhilem-v-peterburge-sostavlyayet-26-3-kv-m-na-cheloveka> (accessed June 21, 2021).

<sup>7</sup> Фонтанка.ру. URL: <https://www.fontanka.ru/2020/02/28/68991400/> (accessed June 21, 2021).

<sup>8</sup> Портрет предприятия: ОАО «Петмол» (г. Санкт-Петербург). URL: <https://textarchive.ru/c-1994959.html> (accessed June 21, 2021).

Число работающих примем 600 чел., интерполируя эту цифру из отношения площадей завода до и после переезда (13,5 га/10,3 га).

Потребности в инженерном обеспечении традиционно рассчитываются от объема произведенной продукции. В 2001 г. «Петмол» выпустил 122 700 т продукции. Для расчетов мы возьмем цифру 150 000 т, закладывая 25%-й резерв на возможный рост производства.

В 2019 г. на 1000 жителей Санкт-Петербурга приходилось 330 машин<sup>9</sup>. Это приблизительное значение, отражающее количество зарегистрированного транспорта у зарегистрированных жителей. Однако в город приезжают не только люди, но и машины. Например, «Яндекс-такси» не запрещает работать с номером другого региона. Однако за неимением более точной статистики воспользуемся указанными выше данными.

Подсчеты показывают, что плотность застройки увеличилась более чем в 5 раз. При общей площади сооружений 419,5 добавим 5 % на площадь наружных ограждений. Тогда получим коэффициент плотности застройки 3,25 (440 500/135 000). Плотность населения составит 1259 чел./га. Потребление ресурсов всеми группами помещений дано в табл. 2.

Таблица 2

## Потребление ресурсов

Показатель	«Петмол»	После реновации			
		Жилая часть	Офисы	Продовольственные магазины	Промтоварные магазины
S общая, м <sup>2</sup>	74,20	395,86	11 860,00	5930,00	5930,00
Жителей, чел.		17 000,00			
Работающих, чел.	600,00		1186,00	296,50	296,50
Парковочных мест, шт.	200,00	5610,00	169,43	148,25	148,25
Электроэнергия, кВт·ч	27 000 000,00	11 205 915,00	3 795 200,00	2 075 500,00	2 075 500,00
Водопотребление, м <sup>3</sup>	900 000,00	1 303 050,00	4248,60	2671,80	1759,30
Отопление, Гкал	93 240,00	66 417,00	4151,00	2431,00	2431,00
Тепло для ГВС, Гкал		42 800,00	106,00	347,00	26,00
Водоотвод, м <sup>3</sup>	198 000,00	1 303 050,00	4248,60	2671,80	1759,30
Потребление газа на отопление и ГВС, м <sup>3</sup>	12 668 478,00	11 800 000,00	570 000,00	290 000,00	250 000,00
Электроэнергия для газовых котельных, кВт·ч	5180,00	4800,00	230,00	120,00	100,00
Твердые отходы, т	10,90	6500,00	280,00	1600,00	211,00
Твердые отходы, м <sup>3</sup>	45,52	34 900,00	1166,67	6666,67	879,17

<sup>9</sup> Рейтинг российских городов-миллионников по обеспеченности автомобилями в 2019 году. URL: <https://www.autostat.ru/press-releases/41923/> (accessed June 21, 2021).

Мы видим, что после реновации жителям и работающим будет принадлежать 6075 автомашин. В подземных паркингах будет 2074 места. Для парковки оставшихся машин потребуется 10 га, однако площади на участке нет. Понятно, что машины «расползутся» за пределы участка, превратив все окрестные переулки и газоны в гараж под открытым небом.

Результаты расчетов в виде процентного соотношения затрат даны на рис. 2 (диаграмма соотношения объемов потребления) и рис. 3 (диаграмма соотношений удельных показателей на квадратный метр общей площади.)

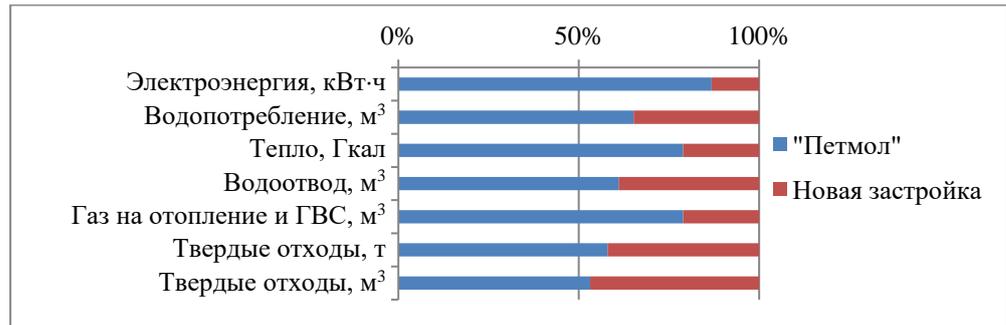


Рис. 2. Диаграмма соотношения объемов потребления и отходов

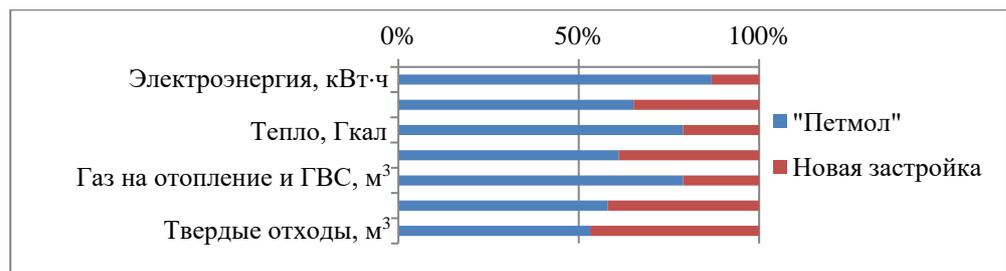


Рис. 3. Диаграмма соотношений удельных показателей на квадратный метр общей площади

Мы видим, что после реновации объем потребления значительно вырастет, хотя удельное потребление на квадратный метр общей площади у завода почти по всем показателям существенно выше.

Теперь посмотрим, какие токсины появятся на участке после реновации. Сколько топлива сожгут автомобили в новой застройке<sup>10</sup>? Мы сделаем простой расчет из предположения, что все машины ездят на бензине, в среднем одна машина выезжает с участка раз в сутки и тратит на разогрев, проезд и ожидание выезда 90 мл бензина (из расчета 9 л на 100 км). Добавим автомобили, обслуживающие коммерческие площади: интенсивность их движения выше, на одно парковочное место могут приезжать и четыре раза за день, но мы условимся считать, что они совершают только один рейс за сутки. Тогда

<sup>10</sup> Состав выхлопных газов: Луканин В.Н., Трофименко Ю.В. Промышленно-транспортная экология, табл. 2.3 / под ред. В.Н. Луканина. Москва: Высшая школа, 2003.

в год все они проедут по участку 2 280 000 км и потратят на это 205 000 л бензина. Следствием этого будет 3 300 000 м<sup>3</sup> выхлопных газов.

Заводу «Петмол» для завоза и вывоза 370 000 т грузов необходимо было бы проехать по территории 308 000 км и потратить на это 38 500 л бензина при использовании машин с грузоподъемностью 1,5 т, расходом 12,5 л на 100 км и средним коэффициентом заполнения 0,8. Примерный выброс газов – 617 000 м<sup>3</sup>. Результат соотношений выбросов загрязняющих веществ (ЗВ) при проезде по участку представлен на рис. 4.

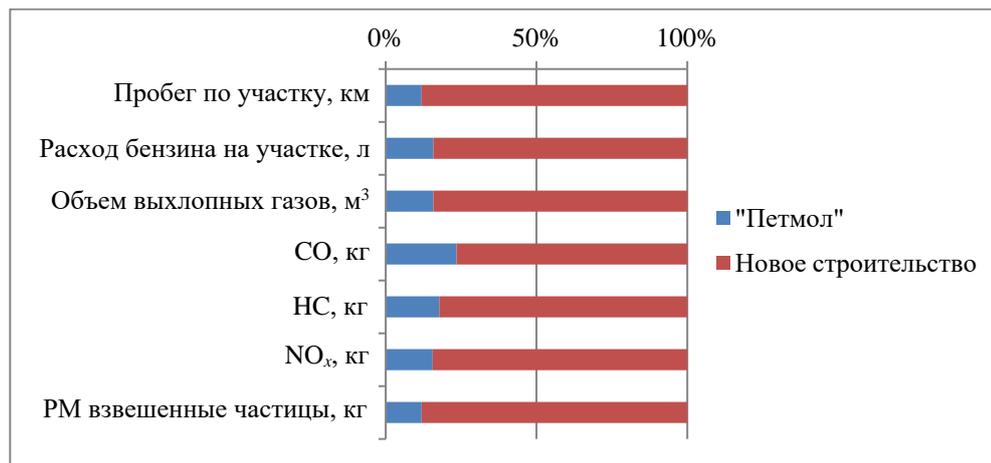


Рис. 4. Диаграмма соотношений выбросов загрязняющих веществ при проезде по участку

Кроме автомобилей, на участке будут котельные. Хотя газовые котельные менее вредны, чем угольные, они не дают нулевых выбросов. Котельные нового строительства будут жечь газ на 30 % больше, поэтому на такой же процент возрастет выброс. Примерный объем и состав выбросов от газовых котельных для обоих вариантов дан в табл. 3.

Таблица 3

**Примерный объем и состав выбросов от газовых котельных<sup>11</sup>**

Химический элемент	«Петмол»	Новое строительство
SO <sub>x</sub> (в пересчете на SO <sub>2</sub> ), т	0,063	0,096
NO <sub>x</sub> (в пересчете на NO <sub>2</sub> ), т	52,785	79,712
CO, т	0,021	0,032
Углеводороды, т	0,169	0,255
Водяной пар, т	10 557,065	15 942,391
CO <sub>2</sub> , т	21 114,130	31 884,783

<sup>11</sup> Характеристика продуктов сгорания, выбрасываемых котельными в атмосферу, табл. 7.1.1. URL: [https://www.rosteplo.ru/w/Характеристика\\_продуктов\\_сгорания\\_выбрасываемых\\_котельными\\_в\\_атмосферу](https://www.rosteplo.ru/w/Характеристика_продуктов_сгорания_выбрасываемых_котельными_в_атмосферу) (accessed June 21, 2021).

Любопытно, что после завершения строительства выброс угарного газа (СО) от газовых котельных будет в 71 раз меньше, чем от машин (2,28 т против 0,032 т).

Все стоки с участка теоретически должны быть очищены, но при этом они никогда не очищаются до состояния поступающей воды. Поэтому если мы предположим, что очистка работает правильно, то в обоих случаях на выходе мы получим воду с одинаковой степенью загрязнения. Только после реновации её станет в 3,6 раза больше. Химический состав стоков от новых построек более разнообразный, но близкий по ключевым показателям к молочному производству, т. к. в обоих случаях основной загрязнитель – органические элементы. Стоки молочного производства делятся на три группы: бытовые, системы охлаждения и производственные. Существенно загрязнены лишь производственные стоки. Количество ЗВ зависит от технологии и номенклатуры продукции. Например, при производстве сыра или творога БПК-5 колеблется в промежутке 155–760 мг/дм<sup>3</sup>.

Но «Петмол» никогда не производил сыры. Его специализация – молоко, кефир, сметана, йогурт, у которых биохимическое потребление кислорода (БПК) и химическое потребление кислорода (ХПК) меньше. Тем не менее для нашего условного расчета примем, что технологические стоки (табл. 4) составляют половину всего водоотведения и имеют БПК<sub>полн</sub> = 900 и ХПК = 1200 мг/л (бывают разовые выбросы с таким содержанием).

Таблица 4

Годовой объем БПК и ХПК в стоках

Показатели	Норма хозяйственно-бытовых стоков	Производственные стоки	Итого, т	Итого, т	Отношение
БПК <sub>полн</sub>	180	900,00	407,00	287,00	1,42
ХПК	250	1200,00	565,00	378,00	1,49

В результате мы видим, что и при таких допущениях общий объем ЗВ в сточных водах новой постройки будет больше.

Еще есть поверхностные стоки. В новой застройке значительная часть их попадет в канализацию через внутренние водостоки. На молочном комбинате «Петмол» превалировало наружное водоотведение, и вода уходила через колодцы. Но общий объем осадков при этом остается неизменным. Точно мы можем утверждать, что количество токсичных веществ в объеме поверхностных стоков после реновации значительно увеличится. Многие фракции выбросов осядут на участке. Сюда же следует добавить мусор от большого количества людей и машин. Особую озабоченность вызывают парковки. Весь сброс с этих площадей должен фильтроваться на месте. В случае организации несанкционированных парковок никакой фильтрации не будет.

Для рассмотрения вопроса с озеленением территории у нас данных недостаточно. Вероятнее всего, площадь газонов при новом строительстве вырастет. Но поскольку эти газоны по большей части будут разбиты над парков-

ками, то деревьев на них высадить не удастся (это хорошо видно по рис. 1, в, где контуры зданий даны по подземной части), т. к. не хватит толщины почвы для корневой системы. Поэтому невозможно предсказать, вырастет ли объем растительной массы или уменьшится.

Отдельным вопросом являются выбросы от квартир новой постройки. В наших нормах требований расчета выброса ЗВ от жилых помещений не существует. Однако если первый этаж жилой секции займет кафе с четырьмя жарочными поверхностями, то его выбросы считать придется. Над ним при 19 этажах здания вполне может быть 144 кухонных плиты (8×18), которые никто не принимает во внимание. Почему так происходит, сказать сложно. Укажем только на обширную экологическую литературу по этому вопросу. Считается, что выбросы домохозяйств ответственны за 3/4 углеродов, попадающих в атмосферу [19, р. 181–204], и за каждый третий случай наступления инвалидности [20]. Проблемы создают сжигание жира при готовке, бытовая химия, отделочные материалы, кондиционеры и т. п.

На участке будет построено 5300 квартир. Из каждой квартиры будет идти вытяжка от канализации и от кухонной плиты, т. е. из 10 600 помещений. Каждый человек представляет себе, что такое канализационный или кухонный стояк, чем он пахнет и какие наросты образуются на стенках от чада. В нашем случае на территорию 13,5 га приходится 10 600 таких вытяжек. Если бы их не соединяли в общие стояки, а равномерно распределяли по всей площади участка, то они торчали бы с шагом 1,2×1,2 м. Примем, что кухня расходует масло на жарку в среднем по 50 г в день. Тогда в год будет истрачено 97 т масла. Они дадут выбросы акролеина, валериановой и капроновой кислот. Допустим, что пищеблок на заводе «Петмол» также тратил на жарку по 30 г в день на каждого сотрудника (норма 10 г на порцию). Тогда он производил выбросы из 6,6 т масла в год.

Вопросы электромагнитного и инфракрасного излучения, а также вред, нанесенный во время строительства (12 лет), мы оставляем без рассмотрения.

Теперь мы можем ответить на поставленный в начале статьи вопрос: где больше потребление энергии и объем загрязнений? При любых допущениях и уточнениях ясно, что после реновации многоэтажная жилая застройка будет, безусловно, приносить больше вреда окружающей среде. Через несколько лет, когда строительство закончится, воздух в этом, и так неблагоприятном месте, станет еще грязнее, инфракрасное излучение вырастет, а почва будет засоряться быстрее и обильнее.

Заметим, что если сделать расчеты, уменьшив количество жителей (увеличив норму на человека до 20 или даже 23 м<sup>2</sup>), то ситуация смягчится, но кардинально не изменится. Число жителей прямо влияет только на расчет потребления воды и количество отходов. Потребление электроэнергии в большей степени зависит от числа квартир, так же как и количество автомобилей (применив норму для квартир бизнес-класса (СП 42.13330.2016, табл. 11.8) 1 квартира = 2 машины, мы бы получили больше заложенного в расчет). Расходы же на отопление зависят от площади помещений.

Если производственные выбросы составляют незначительный процент от выбросов селитебной зоны и транспорта, то это должно отразиться на дан-

ных мониторинга. Из всех районов Санкт-Петербурга самый чистый воздух в Кронштадте. Это обусловлено низкой плотностью застройки, небольшим трафиком и морем вокруг острова. Если же посмотреть по остальным точкам, то никакой существенной разницы между жилым центром и промышленной окраиной нет. Для сравнения приведем данные (рис. 5 и 6) двух станций наблюдения, расположенных на Крестовском острове (рекреационная зона, в которой разрешили построить некоторое количество элитных жилых домов) и возле Ижорского завода (флагман тяжелого машиностроения, занимающий площадь в 1300 га, в пригороде Колпино). Мы видим, что воздух на Крестовском острове немного грязнее.



Рис. 5. Данные о загрязненности воздуха: станция № 23 на Крестовском острове

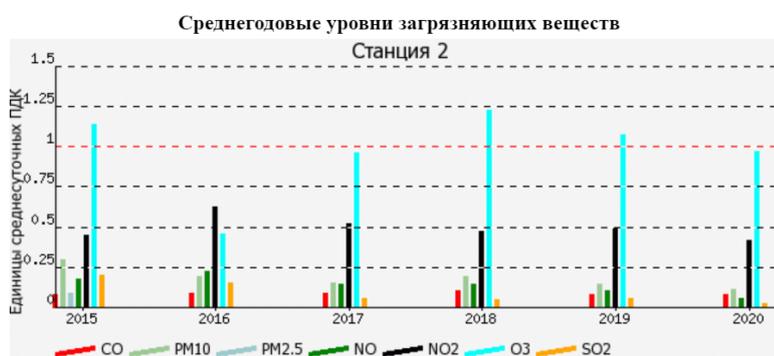


Рис. 6. Данные о загрязненности воздуха: станция № 2 около Ижорского завода<sup>12</sup>

По результатам наших расчетов мы видим, что стереотип, согласно которому заводы – это «грязная зона», а жилые застройки – «чистая», устарел. Это не удивительно. Промышленность десятилетиями училась экономить материалы, энергию и труд. В то же время жилые застройки росли вверх, уплотнялись и наполнялись автомобилями. Квартиры забирали все больше электро-

<sup>12</sup> Экологический портал Санкт-Петербурга. URL: <http://www.infoeco.ru/index.php?id=53> (accessed June 21, 2021).

энергии, воды, пластика и редких металлов и давали всё больше отходов на квадратный метр застройки.

Поэтому ситуация начала меняться. Бессмысленность и вредность тотального выноса промышленности в обособленные загородные зоны осознана многими урбанистами и вылилась, например, в концепцию «зон смешанного использования» (mixed use zones). В ней речь идет не только о совмещении жилых и общественных функций (что и так у нас всегда предписывалось), но и о внедрении мелкого и среднего производства в жилую застройку. Так, принципы CNU предписывают выносить в отдельную зону (district) только те функции, которые невозможно вставить в городскую ткань. В нашей печати сложилась устойчивая традиция ссылаться на Лондон как успешный образец выноса производства. Удивительно только, что английские исследователи выпускают объемные работы с прямо противоположными выводами [21]. Детальные исследования конкретных ситуаций иногда дают совсем неожиданные результаты. Так, вынос производства может привести к такому росту трафика, что даже размещение парка на его месте может не покрыть ущерб [22].

В отечественных же законах стереотип о «презумпции виновности» промышленного производства закреплён в нормативной базе.

СанПиН 2.2.1/2.1.1.1200-03 устанавливает защитные зоны вокруг производственных объектов с целью оградить селитебную зону. Молочное производство отнесено к IV категории и должно иметь санитарно-защитную зону 100 м. Какой в ней смысл, если по факту жилая застройка может оказаться вреднее?

Автор выражает благодарность инженерам А.С. Борзунову и Е.В. Дзюбенко за помощь в проведении расчетов.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *EPA's Brownfields and Land Revitalization Program*. URL: <https://www.epa.gov/brownfields/overview-epas-brownfields-program> (accessed June 21, 2021)
2. *Vanheusden B.* Brownfield Redevelopment in the European Union // *Boston College Environmental Affairs Law Review*. 2007. V. 34. I. 3. URL: <http://lawdigitalcommons.bc.edu/ealr/vol34/iss3/6>
3. *Filatov V., Dibrova Zh., Zhukova N.* Renovation of industrial territories in single industry towns on the basis of industrial parks // *MATEC Web of Conferences*. 2018. V. 170. URL: <https://www.semanticscholar.org/paper/Renovation-of-industrial-territories-in-single-on-Filatov-Dibrova/7835845bbc97d8ab2c56d082916b2b2ed3963f12>
4. *Корниенко С.В.* Ревитализация производственных зон. Поиск системного обновления города // *Энергосбережение*. 2019. № 6. С. 14–20.
5. *Толпинская Т.П., Альземенова Е.В., Мамаева Ю.В.* Основные направления реновационного процесса в преобразовании промышленных территорий под общественные пространства // *Инженерно-строительный вестник Прикаспия*. 2019. № 3(29). С. 52–63.
6. *Грязнова Г.Г., Склокина К.А.* Архитектурно-планировочная реновация промышленных территорий на примере завода Уралгидромаш в Сысерти // *Матрица научного познания*. 2020. № 8. С. 133–142.
7. *Левченко А.А.* Реновация промышленных территорий города Москвы // *Инновации. Наука. Образование*. 2020. № 22. С. 83–88.
8. *Бессарабова Я.И., Евтушенко-Мулукаева Н.М.* Реновация и интеграция промышленных предприятий в современную городскую среду // *Международный научно-исследовательский журнал*. 2019. № 3(81). С. 169–171.

9. *Калинина Н.М., Шляпина Ю.В., Храпова Е.В.* Разработка концепции реновации промышленных зон в рамках формирования комфортной городской среды (на примере Омского региона) // Вестник СИБИТа. 2020. № 1 (33).
10. *Soltysik M., Mazur-Belzyt K.* City Space Recycling: The Example of Brownfield Redevelopment. // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020. V. 960. URL: <https://960.042016.10.1088/1757-899X/960/4/042016>
11. *Чайко Д.С.* Современные направления интеграции исторических производственных объектов в городскую среду : диссертация на соискание ученой степени кандидата архитектуры : 18.00.02 / Чайко Дмитрий Сергеевич ; Московский архитектурный институт. Москва, 2007. 194 с.
12. *Ferm J.A., Jones E.* London's industrial land: Cause for concern? // University College London. 2015. URL: <https://discovery.ucl.ac.uk/id/eprint/1461419/>
13. *Гришечкина И.Е., Исакова Е.В.* Проблемы преобразования промышленных территорий, находящихся в зонах с особыми условиями использования // Новые идеи нового века : материалы Международной научной конференции ФАД ТОГУ. 2019. Т. 2. С. 79–85.
14. *Потаев Г.А.* Экологическая реновация городов. Минск : БНТУ, 2009. 172 с.
15. *Peric Ana.* Brownfield redevelopment versus Greenfield investment – Case study Ecka industrial zone in Zrenjanin, Serbia // Technics Technologies Education Management. 2011. V. 6. P. 541–551.
16. *Koch F., Bilke L., Helbig C., Schlink U.* Compact or cool? The impact of Brownfield redevelopment on inner-city micro climate // Sustainable Cities and Society. 2017. V. 38. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S221067071730848X>
17. *The Lexicon of New Urbanism.* URL: <https://www.dpz.com/wp-content/uploads/2017/06/Lexicon-2014.pdf>
18. *Проскура Е.А., Керимова Н.А.* Вопросы формирования систем зеленых рекреационных пространств в рамках реновации «серого пояса» Санкт-Петербурга // Ландшафтная архитектура, строительство и обработка древесины : материалы научно-технической конференции СПбГЛТУ по итогам НИР 2018 года ИЛАСиОД, Санкт-Петербург, 28 января 2019 года. Санкт-Петербург : Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова, 2019. С. 151–158.
19. *Druckman A., Jackson T.* Understanding Households as Drivers of Carbon Emissions / R. Clift, A. Druckman (eds) // Taking Stock of Industrial Ecology. 2016. Springer, Cham. URL: [https://doi.org/10.1007/978-3-319-20571-7\\_9](https://doi.org/10.1007/978-3-319-20571-7_9)
20. *Apte K, Salvi S.* Household air pollution and its effects on health // F1000Research. 2016. V. 5. URL: <https://doi.org/10.12688/f1000research.7552.1>

## REFERENCES

1. EPA's Brownfields and Land Revitalization Program. Available: [www.epa.gov/brownfields/overview-epas-brownfields-program](http://www.epa.gov/brownfields/overview-epas-brownfields-program) (accessed June 21, 2021)
2. *Vanheusden B.* Brownfield redevelopment in the European Union. *Boston College Environmental Affairs Law Review*. 2007. V. 34. No. 3. Available: <http://lawdigitalcommons.bc.edu/ealr/vol34/iss3/6>
3. *Filatov V., Dibrova Zh., Zhukova N.* Renovation of industrial territories in single industry towns on the basis of industrial parks. In: *MATEC Web of Conferences*. 2018. V. 170. Available: [www.semanticscholar.org/paper/Renovation-of-industrial-territories-in-single-on-Filatov-Dibrova/7835845bbc97d8ab2c56d082916b2b2ed3963f12](http://www.semanticscholar.org/paper/Renovation-of-industrial-territories-in-single-on-Filatov-Dibrova/7835845bbc97d8ab2c56d082916b2b2ed3963f12)
4. *Kornienko S.V.* Revitalizatsiya proizvodstvennykh zon. Poisk sistemnogo obnovleniya goroda [Revitalization of production areas. Search for city renovation]. *Energobezbezhenie*. 2019. No. 6. Pp. 14–20. (rus)
5. *Tolpinskaya T.P., Al'zemeneva E.V., Mamaeva Yu.V.* Osnovnye napravleniya renovatsionnogo protsessa v preobrazovanii promyshlennykh territorii pod obshchestvennye prostranstva [Main directions of renovation process in transformation of industrial territories into public spaces]. *Inzhenerno-stroitel'nyi vestnik Prikaspiya*. 2019. No. 3(29). Pp. 52–63. (rus)
6. *Gryaznova G.G., Sklokina K.A.* Arkhitekturno-planirovochnaya renovatsiya promyshlennykh territorii na primere zavoda Uralgidromash v Syserti [Architectural and planning renovation of

- industrial territories in Uralgidromash Plant in Sysert]. *Matritsa nauchnogo poznaniya*. 2020. No. 8. Pp. 133–142. (rus)
7. Levchenko A.A. Renovatsiya promyshlennykh territorii goroda Moskvy [Renovation of industrial territories in Moscow]. *Innovatsii. Nauka. Obrazovanie*. 2020. No. 22. Pp. 83–88. (rus)
  8. Bessarabova Ya.I., Evtushenko-Mulukaeva N.M. Renovatsiya i integratsiya promyshlennykh predpriyatii v sovremennuyu gorodskuyu sredu [Renovation and integration of industrial enterprises in modern urban environment]. *Mezhdunarodnyi nauchno-issledovatel'skii zhurnal*. 2019. No. 3(81). Pp. 169–171. (rus)
  9. Kalinina N.M., Shlyapina Yu.V., Khrapova E.V. Razrabotka kontseptsii renovatsii promyshlennykh zon v ramkakh formirovaniya komfortnoi gorodskoi sredy (na primere Omskogo regiona) [The concept development of renovation of industrial zones in the framework of comfortable urban environment in the Omsk region]. *Vestnik SIBIT*. 2020. No. 1 (33). (rus)
  10. Soltysik M., Mazur-Belzyt K. City space recycling: The example of Brownfield redevelopment. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2020. V. 960.
  11. Chaiko D.S. Sovremennye napravleniya integratsii istoricheskikh proizvodstvennykh ob"ektov v gorodskuyu sredu: dissertatsiya na soiskanie uchenoi stepeni kandidata arkhitektury [Modern directions of integration of historical production facilities into urban environment. PhD Thesis]. Moscow, 2007. 194 p. (rus)
  12. Ferm J.A., Jones E. London's industrial land: Cause for concern? University College London. 2015. Available: <https://discovery.ucl.ac.uk/id/eprint/1461419/>
  13. Grishechkina I.E., Isakova E.V. Problemy preobrazovaniya promyshlennykh territorii, nakhodyashchikhsya v zonakh s osobymi usloviyami ispol'zovaniya [Private territory transformation in regions of special conditions of use]. In: *Novye idei novogo veka: materialy Mezhdunarodnoi nauchnoi konferentsii (Proc. Int. Sci. Conf. 'New Ideas of New Century')*. 2019. V. 2. Pp. 79–85. (rus)
  14. Potaev G.A. Ekologicheskaya renovatsiya gorodov [Environmental renovation of cities]. Minsk, 2009. 172 p. (rus)
  15. Peric Ana. Brownfield redevelopment versus Greenfield investment. Case study Ecka industrial zone in Zrenjanin, Serbia. *Technics Technologies Education Management*. 2011. V. 6. Pp. 541–551.
  16. Koch F., Bilke L., Helbig C., Schlink U. Compact or cool? The impact of Brownfield redevelopment on inner-city micro climate. *Sustainable Cities and Society*. 2017. V. 38. Available: [www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S221067071730848X](http://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S221067071730848X)
  17. The lexicon of new urbanism. Available: [www.dpz.com/wp-content/uploads/2017/06/Lexicon-2014.pdf](http://www.dpz.com/wp-content/uploads/2017/06/Lexicon-2014.pdf)
  18. Proskurina E.A., Kerimova N.A. Voprosy formirovaniya sistem zelenykh rekreatsionnykh prostanstv v ramkakh renovatsii serogo poyasaSankt-Peterburga. In: *Landshaftnaya arkhitektura, stroitel'stvo i obrabotka drevesiny: materialy nauchno-tehnicheskoi konferentsii (Proc. Sci. Conf. 'Landscape Architecture, Construction and Woodworking')*, Saint-Peterburg, 2019. Pp. 151–158. (rus)
  19. Druckman A., Jackson T. Understanding households as drivers of carbon emissions. In: *Taking stock of industrial ecology*, 2016. DOI: 10.1007/978-3-319-20571-7\_9
  20. Apte K., Salvi S. Household air pollution and its effects on health. *F1000 Research*. 2016. V. 5. DOI: 10.12688/f1000research.7552.1

#### **Сведения об авторе**

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

#### **Author Details**

Igor O. Gurov, Independent Researcher, ООО "BAZIS", 6, Sestroretskaya Str., 197183, Saint-Petersburg, Russia, [gurov-igor-2012@ya.ru](mailto:gurov-igor-2012@ya.ru)

УДК 725.42

DOI: 10.31675/1607-1859-2021-23-6-42-55

*Е.В. МАЛАЯ,**Московский архитектурный институт (Государственная академия)*

## **ПРОБЛЕМЫ ВОССТАНОВЛЕНИЯ И РАЗВИТИЯ ГОРОДСКОЙ СРЕДЫ СТАРЫХ ПРОМЫШЛЕННЫХ ЦЕНТРОВ**

Более двухсот лет назад небольшие поселения в центральной части России, благодаря развитию производства тканей, становились промышленными центрами, градообразующими и формирующими. Мелкие мануфактуры преобразовались в крупные промышленные комплексы, а результат их работы в виде уникальных изысканных тканей превосходил по цене и качеству самые лучшие европейские образцы. На международных выставках отечественные ткани получали всеобщее одобрение и медали, долгосрочные заказы. Росли города, экономика развивалась, строительство жилья позволяло решать социальные вопросы, развивалось транспортное сообщение, инфраструктура городов и поселений. Комплексы некогда славных ткацких фабрик к началу XXI в. стали неотъемлемой частью исторических городов, их украшением и гордостью. Архитектурные ансамбли промышленных предприятий стали не только памятниками культурного наследия страны, но и важной составляющей образа русских городов. Многие фабрики сейчас в заброшенном состоянии, и для нормального развития городов необходимы решения по ревитализации предприятий и комплексному благоустройству прилегающих территорий.

В статье рассматриваются вопросы развития городской среды в процессе градостроительной реконструкции промышленных центров на примере разных городов.

Представлены проектные предложения реновации отечественных фабрик и озеленения территории промышленных исторических городов. Приведены примеры реконструкции шелкоткацких предприятий Подмосковья.

**Ключевые слова:** городская среда; ревитализации старых фабрик; старые промышленные центры; развитие городской среды; восстановление старых центров.

**Для цитирования:** Малая Е.В. Проблемы восстановления и развития городской среды старых промышленных центров // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2021. Т. 23. № 6. С. 42–55. DOI: 10.31675/1607-1859-2021-23-6-42-55

*E.V. MALAYA,**Moscow Architectural Institute (State Academy)*

## **PROBLEMS OF RESTORATION AND DEVELOPMENT OF URBAN ENVIRONMENT OF OLD INDUSTRIAL CENTERS**

The paper considers the urban development and reconstruction of industrial centers on the example of different cities. Design proposals are given for the renovation of the Russian factories and landscaping of industrial historic cities. Examples are given for the reconstruction of silk weaving enterprises near Moscow.

Many factories are now in a derelict condition, and for the normal urban development need revitalization of enterprises and comprehensive improvement of adjacent areas.

Thanks to the development of cloth production, small settlements in central Russia became industrial city-forming centers more than two hundred years ago. Small manufactories were transformed into large industrial complexes, and the unique exquisite fabrics surpassed the best European ones in price and quality. Russian fabrics were universally welcomed at international exhibi-

tions, awarded with medals and long-term orders. Cities were growing, the economy was developing, housing construction helped to solve social problems, transportation and infrastructure of cities and settlements were developing. Early in the 21st century, glorious weaving factories became an integral part of historic cities, their decoration and pride. Architectural ensembles of industrial enterprises became not only monuments of the Russian cultural heritage, but also an important component of the Russian cities.

**Keywords:** urban environment; revitalization of old factories; old industrial centers; urban environment; restoration; old centers.

**For citation:** Malaya E.V. Problemy vosstanovleniya i razvitiya gorodskoi sredy starykh promyshlennykh tsentrov [Problems of restoration and development of urban environment of old industrial centers]. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture. 2021. V. 23. No. 6. Pp. 42–55.

DOI: 10.31675/1607-1859-2021-23-6-42-55

### Введение

Образование центров притяжения в центральной части исторического города важно для развития туризма, экономики, решения социальных и многих других вопросов. Опираясь на новые тенденции мира архитектуры и градостроительства, можно создавать предложения по ревитализации старых ткацких фабрик, способных еще много десятков лет не только успешно работать и приносить прибыль городу, но и привлекать туристов, заниматься образовательной и культурной деятельностью, развивать торговлю. Понятие «ревитализация»<sup>1</sup> появилось сравнительно недавно в архитектурных кругах нашей страны, но работы по возрождению и обновлению предприятий происходили давно и успешно<sup>2</sup>. Опираясь на постановления и указы, возможно создать единую группу специалистов, способных провести научное исследование и проект реставрации сооружений, благоустройства территории и новых зданий, необходимых для развития предприятия.

Во многих государствах мира уже давно сложилось позитивное отношение к проектам адаптации старых предприятий и прилегающих территорий к жизни современного города. Территории заброшенных фабрик дают горожанам новое комфортное жилье, культурные, образовательные и торговые центры, уютные парки. Но есть примеры, когда фабрики продолжают свое 200- или 500-летнее существование с производством уникальных товаров, сохраняют среду исторических городов. В России подобные реновации давно получили заслуженное одобрение, и неиспользованные старые предприятия стали точками притяжения горожан. Но еще есть одно направление – ревитализация фабрик, когда возрождается рабочий процесс на предприятии, старые

<sup>1</sup> Ревитализация (от лат. re – приставка, обозначающая возобновление или повторность действия и vita – жизненный, животворный, живой – в буквальном переводе «возвращение жизненных сил») – это процесс «оживления» городского пространства путем обеспечения людей качественной и благоприятной средой обитания, предоставления возможностей творческого и профессионального роста, активной социализации и культурного развития.

<sup>2</sup> Восстановление и возрождение предприятий после Гражданской и Великой Отечественной войны. Многие предприятия были эвакуированы на территорию Северной Азии, где до сих пор успешно работают.

здания реставрируют, появляются новые строения, а прилегающие территории наполняются зелеными массивами с новыми формами и функциями. Это и есть устойчивое развитие городов, когда старым архитектурным формам дается новая жизнь и возможность еще долго служить людям.

Эти важные вопросы широко освещались на различных всероссийских и международных конференциях, и отношение к ним отражалось в международных документах; в Венецианской хартии 1964 г., Нарском документе 1994 г., Нижнетагильской хартии 2003 г., и т. д.

Отношение к вопросам сохранения объектов культурного и индустриального наследия сформулированы в работах многих известных архитекторов: Ю.П. Бочарова, М.С. Штиглиц, А.Н. Гераскина, Н.С. Гераскина, Т.П. Кудрявцевой, А.С. Щенкова, Г.Н. Черкасова, В.О. Кулиша, В.А. Новикова, А.В. Снитко, Д.С. Чайко и многих других.

Архитектурные и конструктивные особенности градостроительных комплексов промышленных предприятий XIX–XX вв. являются бесценным культурным наследием исторических городов России. Их облик повествуют об истории архитектуры и градостроительства страны, смелых инженерных решениях, строительных материалах, периоде экономической независимости. Научный подход к решению вопросов адаптации старых зданий и прилегающей территории предполагает исследование истории предприятий и создание проектных предложений по их ревитализации. При этом ревитализация ткацких фабрик сопровождается созданием зеленых пространств города в виде парков, скверов, садов и аллей. Постиндустриальные парки появляются довольно часто на заброшенных территориях европейских городов. Но в России к подобным реновациям должно быть особое отношение.

Многие предприятия Европы после долгого забвения или упадка сейчас возрождаются, в обществе снова возвращается интерес к производству. Так происходит на севере Италии, где к работе возвращаются шелкопрядильные мануфактуры<sup>3</sup>. Как используются свободные постиндустриальные территории и возможно ли осуществление реконструкции прилегающих территорий к работающим фабрикам, вопрос важный и интересный. Создание общественных центров и парков на территории заброшенного предприятия, возрождение которого невозможно по многим причинам, – это одно из интересных направлений реконструкции. Гораздо сложнее создавать парки на территориях, прилегающих к старым работающим фабрикам, во многих городах России. Это сложный, но необычайно интересный путь адаптации пространства, и в нашей стране это направление должно быть приоритетным [1].

Пока во многих городах Европы принято изменять функцию старых предприятий, создавая жилые кварталы, культурные и торговые центры, но многие жители при этом теряют возможность работать по выбранной специальности, создавать творческие проекты, получать социальную защиту и многие другие блага. Такие решения временные, т. к. приводят к социальным

---

<sup>3</sup> Это крупнейший парк Турина, расположенный недалеко от центра на территории заброшенного предприятия. Его характерными особенностями можно назвать следующее: 1) этот парк имеет промышленное прошлое; 2) площадь парка ограничивают речка Дора (Dora), главные транспортные магистрали и относительно новые жилые кварталы.

проблемам и напряженности в городах. И такая тенденция сказывается на понимании жителями города вопросов стабильности, патриотизма и многих других важных социальных вопросов. Ведь для каждого жителя города его личное участие в развитии и создании благоприятного климата имеет огромное значение. Важны не только функциональные удобства, но и сохранение природы, городской среды, психологического комфорта, причастности к месту, преемственность и многое другое. Поэтому сносить старые кварталы города невыгодно, и это подтверждается подобными исследованиями, проведенными в разных концах планеты [11, 12].

Например, в Индии сейчас существует государственная поддержка ткачей для сохранения ремесла, как «...одной из форм помощи ткачам в современной Индии служит предоставление им долгосрочных государственных кредитов для приобретения небольших благоустроенных домов, где размещается и мастерская. Максимальная стоимость дома вместе с его земельным участком не должна превышать 5 тыс. рупий, причем три четверти этой суммы ткач должен погасить в течение 15 лет, а четверть выплачивает государство в виде субсидии» [13]. Государство поддерживает мелких предпринимателей и созданные кустарные мастерские, таким образом, экономика поселений развивается, и жилая среда города становится более благоприятной для жизни населения.

Сохранение архитектурного образа города и функционального наполнения крайне важно для его развития. Есть прекрасные примеры преобразования заброшенных предприятий в постиндустриальные парки, которые, не нарушая структуру города, преобразуют его территорию и создают более комфортные условия проживания. Например, в Турине, на территории заброшенного завода, был создан парк, пользующийся популярностью у жителей города и туристов. Он давно стал общественным пространством и зеленым массивом для сохранения экологии города (рис. 1).



Рис. 1. Постиндустриальный парк в Турине (URL: [http://www.vashsad.ua/landscape-design/interesting\\_plants/articles/show/9858/](http://www.vashsad.ua/landscape-design/interesting_plants/articles/show/9858/)):

*a* – мосты, лестницы, откосы и насыпи соединяют разные части парка одну с другой и с окружающими кварталами; *б* – старые оставшиеся структуры стали артефактами, изменяющимися под воздействием природных факторов

Подобные парки создаются во многих городах, например в Дуйсбурге (рис. 2).



Рис. 2. Постиндустриальный парк в немецком городе Дуйсбурге: каменные стены зданий, лужайки и садики парка, мосты и производственные здания открыты для всех (URL: <http://www.vashsad.ua/landscape-design/styles/articles/show/9886/>)

Во многих городах мира территории, нарушенные промышленными отходами, или заброшенные почти разрушенные предприятия преобразованы в городские парки. Это одно из множества направлений преобразования промышленных территорий городов [1, 2]. Так, в Дублине в конце XX в. очистили главную реку города от завалов и отходов производственных предприятий, где экология была в катастрофической ситуации. Благодаря известному биологу Рори Харрингтону для рекультивации территории использовали природные возможности очистки реки и земли, был создан водно-болотный комплекс. За несколько лет были созданы пруды, восстановлено русло реки, берега укреплены деревьями и создан городской парк. Постепенно вернулись птицы, рыба, и город получил прекрасную возможность сохранения экологии и здоровья горожан. При этом была решена проблема сообщения между районами города благодаря пешеходному сообщению. Так была преобразована городская среда и созданы более благоприятные условия жизни горожан и развития города.

Пожалуй, самая известная реконструкция ткацкой фабрики в Европе – г. Лодзь. Здесь краснокирпичная архитектура фабричных кварталов после реконструкции стала центром притяжения жителей города и многочисленных туристов. Здесь проведена бережная реставрация зданий, сохранены интерьеры и городская среда, создан общественный центр (рис. 3).

Общественный центр в г. Лодзь пользуется популярностью благодаря сохранению исторической городской среды, успешной реставрации зданий и интерьерных решений, созданию множества клубов, торговых площадей, кафе, ресторанов, и даже библиотеки.

Именно историческая среда старого города, его своеобразная составляющая, уникальность каждого элемента, неповторимая гармония архитектуры и природы являются индивидуальностью города и привлекают туристов и горожан [3]. Это важное направление развития городской среды. Последние годы в нашей стране отмечается заинтересованность архитектурной особенностью городов, развиваются направления туризма, связанные с промышленным наследием. Сохранение исторической городской среды должно стать приоритетной задачей архитектуры и градостроительства.

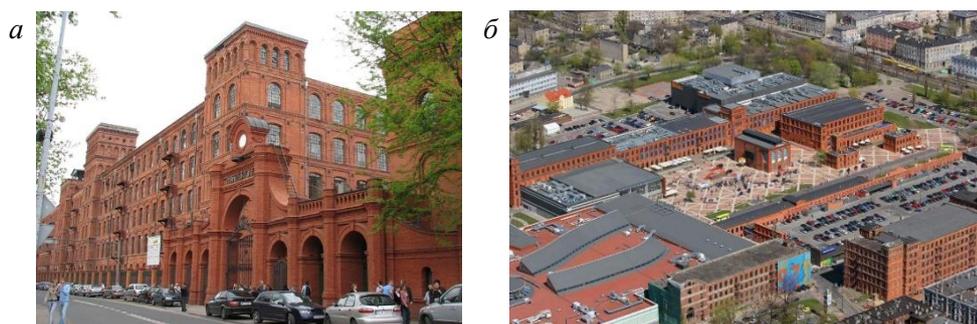


Рис. 3. После проведенной здесь реконструкции Manufactura стала одним из крупнейших торгово-развлекательных центров Центральной Европы (URL: <https://archsovet.msk.ru/article/aktualno/promzony-evropy-kul-turnaya-reinkarnaciya>):  
*a* – входная часть главного фасада; *б* – общий вид комплекса

Но есть еще одно важное направление реконструкции – ревитализация, т. е. возрождение, возвращение к жизни и обновление старого города, где предприятия XIX–XX вв. играют ключевую роль. При сохранении и обновлении старых предприятий решаются два важнейших вопроса: возрождение ценного производства, что соответствует необходимости импортозамещения<sup>4</sup> в стране и экологическое благоустройство городов<sup>5</sup>. Но последние годы показали, что торговые пространства пустеют, развлечения не окупаются и досуговые центры часто не востребованы. Конечно, самое главное назначение – сохранение культурного наследия и значимой исторической среды города выполнено, но экономика города должна обновляться благодаря работающим промышленным предприятиям [5]. Ведь они составляют важную часть городской структуры, и для нашей страны необходимо сохранить ее элементы, не нарушая их функцию. Многие города Европы: Манчестер, Ливерпуль, Дрезден, Магдебург, Рур, Америки: Сент-Луис, Буффало, Детройт, Кливленд – потеряли промышленные предприятия, городскую среду и население.

В России особое отношение к малым городам, их укладу жизни и работе. Здесь просто необходимо возрождение производства. Например, в некоторых городах происходят поразительные вещи: несмотря на отсутствие сырьевой базы, отдельные талантливые мастера создают шедевры из стекла, небольшие ткацкие мануфактуры сами выращивают для производства лен, обрабатывают его и создают красивые и качественные цветные ткани, пользующиеся популярностью у населения и туристов.

Реорганизация и модернизация промышленной территории в сложившейся исторической среде каждого русского города должны сопровождаться ре-

<sup>4</sup> Импортозамещение в России – замещение импорта товарами, произведенными внутри России. Курс на импортозамещение декларируется в России с 2014 года, после введения взаимных санкций Россией и странами Запада.

<sup>5</sup> Горанова О.А., Атрощенко Л.А., Быкова М.В. Комплексное благоустройство городских территорий Москвы. Социальное, инженерное и экологическое благоустройство. Москва: МГУУ Правительства Москвы, 2019. 264 с. URL: [https://mguu.ru/wp-content/uploads/2019/05/Goranova\\_Kompleksnoe\\_blagoustroystvo\\_gorodskikh\\_territ\\_Moskvy\\_2019.pdf](https://mguu.ru/wp-content/uploads/2019/05/Goranova_Kompleksnoe_blagoustroystvo_gorodskikh_territ_Moskvy_2019.pdf)

конструкцией старых корпусов, озеленением и благоустройством прилегающих территорий. Создание новых корпусов должно быть оправдано экономической целесообразностью и необходимостью решения социальных вопросов.

Архитектура отечественных краснокирпичных фабрик XIX – начала XX в. является бесценным культурным наследием, и успешный опыт крупных мегаполисов по реформированию предприятия в досуговые центры в малых городах нашей страны не жизнеспособен. В первую очередь потому, что жителям необходима интересная творческая работа, нормальное комфортное жилье и городская среда, вызывающая положительные эмоции. Такая картина возможна только при работающих предприятиях. К тому же развивающиеся предприятия способны вернуть своим работникам обеспечение развитой инфраструктурой и культурный уровень развития города [6].

С градостроительной точки зрения историческая застройка каждого малого города представляет собой уникальный ансамбль с множеством функций, разнообразием архитектурных форм, сомасштабностью элементов городской среды, промышленными и культурно-образовательными ансамблями, зелеными пространствами для отдыха горожан. В современной ситуации в таком пространстве обостренно чувствуется борьба старого с новым, и здесь уместно очень аккуратное вмешательство в среду функционально важными и необходимыми производству и городу архитектурными элементами. Так, очень уместно и правильно смотрятся деловые кварталы в здании бывшей шелкопрядильной фабрики «Красная роза» в Хамовниках или мануфактура Альберта Гюбнера «Московский Шелк» в Москве. Конечно, в мегаполисе деловые функции преобладают, а производство вынесено далеко за пределы города, но пример подходит для выбора архитектурного решения ревитализации.

Очень важно, что архитектура фабрик при обновлении останется первоначальной, а новое высокотехнологичное оборудование не требует изменения площади цеха и является экологически чистым, что позволяет фабрикам продолжать работу в центре города. Таким образом, при реконструкции текстильных предприятий мы сохраняем уникальную архитектуру градостроительных ансамблей и решаем социальные вопросы многих горожан.

Еще одним важным фактором для развития города является включение предприятий в туристический маршрут города, региона, страны. Сейчас развито направление промышленного туризма с возможностью побывать на производстве и принять участие в создании изделий. Поэтому близко к предприятию могут располагаться гостиницы, торговые точки, музей предприятия. Создан переходный маршрут, связывающий значимые точки города с фабрикой и зоной отдыха и развлечения туристов.

Стабильность и преемственность городского пространства, а также сохранение масштабы застройки имеют огромное значение для горожан как повод для инвестиционных проектов и предоставления возможности малому бизнесу создавать кафе, рестораны, торговлю, небольшие гостиницы и другие центры для привлечения туристов [6].

Из этого следует, что ревитализация старых фабрик в среде исторического города имеет огромное значение для каждого горожанина, обладает особыми культурными и экономическими характеристиками, оказывающими



разительный контраст на двух фото очевиден (рис. 6). Кажется, будто два разных мира смотрят друг на друга с удивлением, а это всего лишь фото с пешеходного мостика в разные стороны от него. Реальная ситуация демонстрирует очевидную необходимость создания парковой зоны [4].



Рис. 6. Речные панорамы Щелково со стороны пешеходного моста в разные стороны от него

На рис. 7 представлен общий вид Щелковской шелкоткацкой фабрики и часть фасада главного корпуса и рабочих цехов. Видны зеленые пространства, окружающие фабрику.



Рис. 7. Щелковская шелкоткацкая фабрика:  
а – общий вид, современное состояние; б – часть фасада главного рабочего корпуса

Надо сказать, что Щелковская шелкоткацкая фабрика (рис. 7) работает более ста лет, и потенциал, заложенный в конструктивных элементах зданий, имеет еще на столько же. Интерьеры цехов возрастом более ста лет смогут разместить и уже размещают самое современное оборудование. Не затрачивая огромные средства на реставрацию старых строений, можно работать с большими мощностями, приобретая современные станки. Фасады старых зданий после реставрации станут гордостью города, а появление небольших уютных мастерских, кафе, художественных лавочек позволит создать атмосферу старого промышленного центра.

Во многих малых городах Европы подобные фабрики свято оберегают, не только сохраняя работу и экономику города, но и развивая его будущее (рис. 8).



Рис. 8. Отель Golden Star в Праге (а) (URL: <https://theluvgift.com/product/hotel-golden-star/>); ремесленное ткацкое производство в Венеции (б) (URL: [https://guideadvisor.ru/venetsiya\\_96/remeslennoe\\_tkatskoe\\_proizvodstvo\\_3219](https://guideadvisor.ru/venetsiya_96/remeslennoe_tkatskoe_proizvodstvo_3219))

В Лионе шелкоткацкие мастерские работают более 400 лет, и популярность французских высокохудожественных тканей всегда удивляет, при этом владельцы фабрик не спешат создавать современные цеха, привлекая туристов не только эксклюзивными тканями, но и уникальными зданиями и старинным оборудованием. В Праге в старом здании после реставрации расположился отель Golden Star, привлекающий горожан и туристов не только впечатляющим интерьером, но и атмосферой уюта и старины (рис. 8, а). На рис. 8, б – ремесленное ткацкое производство в Венеции в старинном здании с возможностью посещения. Подобные мастерские всегда притягивают туристов, при этом сохраняется культурное наследие, развивается экономика и сохраняется понимание красоты.

На рис. 9, а – рабочий цех Щелковской шелкоткацкой фабрики, на рис. 9, б – цех старинной шелкоткацкой фабрики в здании музея шелка в Лионе. Так, часть старых помещений фабрики может служить залами музея и на механических станках XIX в. демонстрировать процесс шелкоткачества. Во многих городах нашей страны и Европы старинные здания получают вторую жизнь, их интерьеры, конструкции, материалы и уникальные особенности создают неповторимую атмосферу уюта, в которой витает дух старого города.



Рис. 9. Рабочий цех Щелковской шелкоткацкой фабрики (а); цех старинной шелкоткацкой фабрики в здании музея шелка в Лионе, Франция (б)

На генеральном плане городской территории с указанием зданий фабрики (рис. 10) демонстрируется возможность создания не только парковой зоны на прибрежной территории, но и размещения новых жилых зданий для работников развивающейся фабрики. На плане показан небольшой пруд, территория старой фабрики после реставрации и работ по ревитализации. Эта территория отделена от жилых зданий зелеными насаждениями и сетью пешеходных дорожек. Фасады старых корпусов после реставрации и работ по благоустройству промышленной территории становятся достойным украшением пешеходных пространств исторического города.



Рис. 10. Часть генерального плана города с фабрикой и прилегающей территорией (а); обновленные цеха фабрики (б); вид обновленных цехов с достроенными мансардными этажами (в)

На рис. 11 представлены виды будущей обновленной фабрики и озеленение прилегающей территории. Здесь восстановлена смотровая пожарная и водонапорная башня, которая выступает в данном случае как некая доминанта, формирующая композиционное решение территории.



Рис. 11. Виды будущей обновленной фабрики с озеленением улиц

Формирование улиц жилого района, прилегающего к фабрике, позволяет сделать их более широкими, с большой зеленой зоной и созданием небольших скверов, благодаря созданию пешеходных зон и озеленения (рис. 12), а ближе к берегу Клязьмы жилые дома и проезжие части отделяются от водной глади зелеными каскадами и насыпными холмами (рис. 13). Для создания природных барьеров между шумной проезжей частью и прогулочной зоной

парка ландшафт приподнят. Подобные ландшафтные решения оберегают горожан от шума автомобилей и частично от вредных выбросов автомобилей.

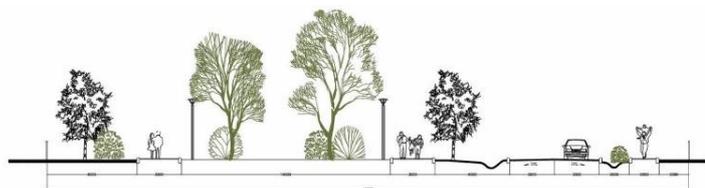


Рис. 12. Профиль жилой улицы после обновления территории



Рис. 13. Разрезы жилой улицы, прилегающей к парку, и парковой зоны, которая отделяется от проезжей части созданной насыпью

Такие проектные решения помогают сохранить масштабность архитектуры, создать более благоприятную и здоровую среду старого города, сохранить здоровье горожан.

### Выводы

1. Сохранение и расширение работы старых фабрик, благодаря ревитализации и реставрации, позволит сберечь индустриальное наследие во многих городах нашей страны. Гармония единства разновременной застройки обогащает каждый исторический город, благотворно воздействует на здоровье жителей, развитие туризма и обучение подрастающих поколений [10].

2. Реставрация городской среды должна опираться на научный анализ ситуации, необходимость сохранения промышленного наследия страны, требования экологии и нормы оздоровления пространств для жизни человека [6].

3. В проектных предложениях по реконструкции старых предприятий необходимо предлагать с проектом благоустройства территории проекты жилых и общественных зданий на прилегающей территории. В них следует сохранять масштабность застройки исторической части города, увеличивая

этажность на 1–2 мансардных этажа с отступом от линии фасада для сохранения панорамы улиц города [9].

4. Озеленение территории, прилегающей к старым фабрикам, необходимо проводить на свободных от застройки территориях с организацией парковой зоны и туристических маршрутов города, стилистические решения озеленения соотносить с проектом ревитализации и необходимостью сохранения образа городской среды [8].

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Вергунов А.П.* Архитектурно-ландшафтная организация крупного города. Ленинград : Стройиздат : Ленингр. отд-ние, 1982. 135 с.
2. *Залесская Л.С.* Ландшафтная архитектура. 2-е изд., перераб. и доп. Москва : Стройиздат, 1979. 237 с.
3. *Горохов В.А.* Холмы Тавриды, край прелестный...: дворцы и парки в истории и историях. Москва : [Б. и.], 2011. 815 с.
4. *Задворьянская Т.И.* Современные тенденции отечественной и зарубежной практики как творческий импульс для формирования нового градостроительного подхода // Вестник ВГАСУ. Серия: Строительство и Архитектура. 2008. Вып. 2 (10). С. 146–154.
5. *Малая Е.В.* Градостроительные аспекты реконструкции промышленных территорий и создание благоприятной городской среды // Безопасный и комфортный город : сб. научных трудов по материалам IV Международной научно-практической конференции. 2020. С. 117–121.
6. *Малая Е.В., Вавулин К.Е.* Концепция устойчивого развития малых исторических городов // Градостроительство. 2020. № 3 (67). С. 29–35.
7. *Нефедов В.А.* Городской ландшафтный дизайн. Санкт-Петербург, 2012. 320 с.
8. *Ожегова Е.С.* Ландшафтная архитектура. История стилей. Москва, 2019. 560 с.
9. *Разумовский Ю.В., Фурсова Л.М., Теодоронский В.С.* Ландшафтное проектирование. Москва : Форум : ИНФРА-М, 2014. 138 с.
10. *Теодоронский В.С., Сабо Е.Д., Фролова В.А.* Строительство и эксплуатация объектов ландшафтной архитектуры / под ред. В.С. Теодоронского. 2-е изд., стер. Москва : Академия, 2007. 348, [1] с.
11. *Филин В.А.* Видеоэкология: что для глаза хорошо, а что – плохо. 3-е изд. Москва : Видеоэкология, 2006 (Рязань : ГУП РО «Рязоблтипография»). 505 с.
12. *Берлин и его крафтовые пивные места* // Блог о пиве и домашнем пивоварении. URL: <http://www.beerlog.ru/2016/11/23/berlin/> (дата обращения: 20.05.21).
13. *Ткацкое дело в Индии* // История человечества. Исторические факты, события. URL: <http://informvest.ru/tkackoe-delo-v-indii.html> (дата обращения: 20.05.21).

#### REFERENCES

1. *Vergunov A.P.* Arhitekturno-landshaftnaya organizaciya krupnogo goroda [Architectural and landscape organization of a large city]. Leningrad: Stroyizdat, 1982. 135 p. (rus)
2. *Zalenskaya L.S.* Landshaftnaya arhitektura [Landscape architecture]. 2nd ed., Moscow: Stroyizdat, 1979. 237 p. (rus)
3. *Gorokhov V.A.* Holmy Tavridy, kraj prelestnyj [The hills of Taurida, a charming region]. Moscow, 2011. 815 p. (rus)
4. *Zadvoryanskaya T.I.* Sovremennye tendencii otechestvennoj i zarubezhnoj praktiki kak tvorcheskij impul's dlya formirovaniya novogo gradostroitel'nogo podhoda [Modern trends of Russian and foreign practice as a creative impulse for new urban planning approach]. *Vestnik VGASU. Seriya: Stroitel'stvo i Arkhitektura*. 2008. No. 2 (10). Pp. 146–154. (rus)
5. *Malaya E.V.* Gradostroitel'nye aspekty rekonstruktsii promyshlennykh territorii i sozdanie blagopriyatnoi gorodskoi sredy [Urban planning aspects of reconstruction of industrial territories and creation of favorable urban environment]. In: *Sbornik nauchnykh trudov po materi-*

- alam IV mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii (*Proc. 4th Int. Sci. Conf. 'Safe and Comfortable City'*). 2020. Pp. 117–121. (rus)
6. Malaya E.V., Vavulin K.E. Kontsepsiya ustoichivogo razvitiya malykh istoricheskikh gorodov [Development of small historical cities]. *Gradostroitel'stvo*. 2020/ No. 3 (67) Pp. 29–35. (rus)
  7. Nefedov V.A. Gorodskoi landshaftnyi dizain [Urban landscape design]. Saint-Petersburg, 2012. 320 p. (rus)
  8. Ozhegova E.S. Landshaftnaya arkhitektura. Istoriya stilei [Landscape architecture. History of styles]. Moscow, 2019. 560 p. (rus)
  9. Razumovsky Yu.V., Fursova L.M., Teodoronsky V.S. Landshaftnoe proektirovanie [Landscape design]. Moscow: INFRA-M, 2014. 138 p. (rus)
  10. Teodoronsky V.S., Bogovaya I.O. Landshaftnaya arkhitektura [Landscape architecture]., Moscow: INFRA-M, 2014. 303 p. (rus)
  11. Filin V.A. Videoekologiya: chto dlya glaza khorosho, a chto – plokho [Video ecology: What is good and bad for eye]. 3rd ed., Moscow, 2006. 505 p. (rus)
  12. Berlin i ego kraftovye pivnye mesta [Berlin and its craft beer places]. Available: [www.beerlog.ru/2016/11/23/berlin/](http://www.beerlog.ru/2016/11/23/berlin/) (accessed May 20, 2021) (rus)
  13. Tkatskoe delo v Indii [Weaving in India]. Available: <http://informvest.ru/tkackoe-delo-v-indii.html> (accessed May 20, 2021) (rus)

#### Сведения об авторе

Малая Елена Владимировна, доцент, Московский архитектурный институт (Государственная академия), 107031, г. Москва, ул. Рождественка, 11/4, arxe\_elena@mail.ru

#### Author Details

Elena V. Malaya, A/Professor, Moscow Architectural Institute (State Academy), 11/4, Rozhdestvenka Str., 107031, Moscow, Russia, arxe\_elena@mail.ru

УДК 72.035

DOI: 10.31675/1607-1859-2021-23-6-56-64

*М.Ю. ГАЙДУК,**Тюменский индустриальный университет*

## **МОДЕРН И НЕОКЛАССИЦИЗМ В АРХИТЕКТУРЕ ЗДАНИЙ Г. ТЮМЕНИ, ПОСТРОЕННЫХ НА СРЕДСТВА МЕСТНОГО КУПЕЧЕСТВА ВО ВТОРОЙ ПОЛОВИНЕ XIX – НАЧАЛЕ XX ВЕКА**

В настоящее время вопросы сохранения историко-архитектурной среды в городах нашей страны особенно актуальны. Поэтому изучение, фиксация и популяризация ярких представителей различных стилистических направлений является важным этапом в деле сохранения уникального исторического облика города.

Стилистические направления в архитектурных решениях исследуемых объектов в г. Тюмени весьма обширны: от представителей «сибирского барокко» до торжественных масштабных построек неоклассицизма, что характерно для тенденций в архитектуре рассматриваемого периода.

Статья посвящена объектам, построенным на средства местного купечества и принадлежащим к определенным стилистическим направлениям, характерным для данного временного периода, – модерну и неоклассицизму.

Несмотря на общность тенденций, в архитектурных решениях тюменских зданий прослеживается местный региональный колорит, представленный спецификой декора наличников, мотивами в архитектурных деталях.

Материалами исследования являются исторические и современные фотографии объектов, относящихся к различным типологическим группам – от учебных заведений до жилых построек. Основным материалом статьи являются историко-архивные и библиографические исследования, а также результаты натурного обследования, отражающие состояние объектов в настоящее время.

Главный вывод состоит в том, что значимость исследуемых объектов сохранилась и в современной градостроительной ситуации города, а также в формировании его архитектурного облика. На рубеже XIX–XX вв., а также в настоящее время эти объекты сохранили свою важную градостроительную роль и функцию. Рассмотренные в статье объекты являются яркими представителями стилистических направлений, характерных для указанного временного периода.

**Ключевые слова:** историко-культурное наследие Тюмени; модерн; неоклассицизм; усадебная застройка; учебные заведения.

**Для цитирования:** Гайдук М.Ю. Модерн и неоклассицизм в архитектуре зданий г. Тюмени, построенных на средства местного купечества во второй половине XIX – начале XX века // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2021. Т. 23. № 6. С. 56–64.

DOI: 10.31675/1607-1859-2021-23-6-56-64

*M. Yu. GAIDUK,**Industrial University of Tyumen*

## **ART NOUVEAU AND NEOCLASSICISM OF BUILDINGS IN TYUMEN FINANCED BY MERCHANTS LATE IN THE 19th AND EARLY 20th CENTURIES**

The problem of preservation of the historical and architectural environment in Russian cities is currently rather relevant. Research and popularization of the different architectural styles

play an important role in preservation of the unique historical environment of the city. Architectural styles of buildings in Tyumen are from Siberian Baroque to large-scale buildings of neoclassicism, which is characteristic of the architecture of this period.

The paper describes the buildings the construction of which is financed by the merchants. The building architecture belongs to a particular style typical for the period of Art Nouveau and neoclassicism. The architecture of Tyumen buildings is of regional color scheme represented by the decoration of window trimmers and other architectural details.

The research implications include a study of historical and modern photographs of buildings of various types, namely from educational institutions to residential buildings. The paper utilizes historical and archival and bibliographic data and field research.

Research findings: the significance of the studied buildings is preserved in the modern urban environment and architecture of Tyumen. At the turn of the 19–20th centuries and today, these objects retain their role in urban planning and function.

**Keywords:** historical and cultural heritage; Tyumen; Art Nouveau; neoclassicism; manor building; education institutions.

**For citation:** Gaiduk M.Yu. Modern i neoklassitsizm v arkhitekture zdaniy Tyumeni, postroennykh na sredstva mestnogo kupechestva vo vtoroi polovine XIX – Nachale XX veka [Art Nouveau and Neoclassicism of buildings in Tyumen financed by merchants late in the 19th and early 20th centuries]. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture. 2021. V. 23. No. 6. Pp. 56–64.  
DOI: 10.31675/1607-1859-2021-23-6-56-64

Стилистические предпочтения в архитектуре сибирских городов конца XIX – начала XX в. отражали общие тенденции, характерные для русской архитектуры рассматриваемого периода. Удаленность городов от столицы привела к некоему отставанию «архитектурной моды» в первой половине XIX в., что в последующем, а точнее, к концу века, было наверстано. Одной из причин стал экономический рост на фоне развития железнодорожного сообщения. Именно с этого момента произошел значительный подъём строительства и градостроительного развития сибирских городов, что в свою очередь оказало влияние на формирование архитектурного облика городов. В архитектуре зданий представлены характерные для рассматриваемого периода стилевые направления – классицизм, разнообразные интерпретации эклектичного направления, модерн и неоклассицизм.

Особое направление в провинциальной архитектуре представляют неоклассицизм и модерн, популярные в купеческой и мещанской среде, преобладающие в Тюмени. По принципу «приобщиться к высшему обществу», не имеющий ясного и четко сформулированного вкуса, заказчик требовал дома с колоннами.

Жизнь и деятельность тюменских купцов естественным образом отразилась на формировании облика торгового купеческого города. Строя для своих нужд жилые усадьбы, торговые дома, магазины, торговые лавки, склады и промышленные предприятия, купцы оказывали значительное влияние на формирование планировочной и пространственной организации города. Купеческие здания выделялись из обывательской застройки горожан изысканными архитектурными решениями, часто мастерством талантливых архитекторов, располагались в структуре города в наиболее выгодных и престижных местах, занимая обширные площади городской территории.

## Модерн

Стремление по-новому осмыслить принципы порядка, рационализма, нетрадиционно трактовать тектонику и структуру архитектурной формы привели к концу XIX в. к появлению стиля модерн. Для проектов и построек этого стиля характерны свободная планировка, асимметричность планов и фасадов, своеобразная «тягучая» пластика, высокое мастерство владения строительными материалами, повышенное внимание к комфорту. Модерн противопоставил сложную целостность эклектическому принципу механического соединения элементов.

Образцом модерна в Тюмени является здание бывшего частного ремесленного училища А.И. Текутьева по ул. Дзержинского, 7 – Осипенко, 2 (учебный корпус ТюмГУ – Институт наук о Земле), построенного в 1914 г. по проекту архитектора К.П. Чакина (рис. 1). Главный фасад здания симметрично разделен двумя фланкирующими и одним центральным ризалитами с возвышенными над карнизом изогнутыми аттиками-пилонами [1, с. 60]. Своеобразную ритмику фасаду задают разные по форме оконные проемы, объединенные широкими лучковыми перемычками.



**Андрей Иванович Текутьев**  
(1839 – 1916)  
купец второй гильдии,  
городской голова в 1899-1909 гг.



*Рис. 1.* Ремесленное училище и литейная мастерская А.И. Текутьева по ул. Садовая – Томская (совр. ул. Дзержинского, 7 – Осипенко, 2), открытка начала XX в. и фотография автора 2020 г.

Еще один тип образовательных учреждений, заслуживающий внимания, – частная школа купцов Колокольниковых на ул. Луначарского, 14 (совр. вечерняя сменная общеобразовательная школа № 2) – пример рационального модерна (рис. 2). Архитектура здания представляет собой двухэтажный объём

с традиционной планировкой [2, с. 21]. Пластика фасада сформирована под влиянием тенденций модерна – акцентом на главном фасаде являются боковые ризалиты. Один из них имеет волнообразное завершение, а второй увенчан фронтоном с ризалитом-эркером – элементами, характерными для данного стилистического направления [3].



Купеческая семья Колокольниковых



Рис. 2. Частная школа Колокольниковых по ул. Никольской (совр. ул. Луначарского, 14), открытка начала XX в. и фотография автора 2020 г.

Представитель такой типологической группы общественных объектов, как торговые здания, – магазин Брюханова в комплексе усадьбы по ул. Царской (совр. ул. Республики, 42) – располагался в каменном здании в два этажа постройки 1907 г. (рис. 3). Отражая влияние типологии, фасад состоит из крупных почти квадратных оконных проемов, яркими элементами являются плавные линии с накладными элементами облицовочной штукатурки, фигурные ризалиты флангов и средний аттик [4, с. 311].



Рис. 3. Усадебный комплекс М.А. Брюханова по ул. Царской (совр. ул. Республики, 42), фотография конца XX в. и фотография автора 2020 г.

Отдельного внимания заслуживают здания деревянного модерна как яркие проявления в архитектуре сибирских городов. Здания, строившиеся из дерева, представлены в большей степени жилыми постройками, чаще с совмещением функции жилой и торговой в одном здании. В декоративном убранстве фасадов использовались различные приемы не только интернационального модерна, но и национальные мотивы. В начале XX в. объемно-планировочные и композиционные решения традиционных деревянных зданий сибирских городов значительно усложняются, например, эркерами, «башнями», «башнями-вышками», мезонинами, куполами, шатрами, крыльцами.

Выразительным примером деревянного модерна являются постройки усадьбы купца, владельца пеньково-канатного завода Н.О. Сергеева. Комплекс усадьбы по ул. Садовой (совр. ул. Дзержинского, 12–14) представлен жилым домом, флигелем и воротами. Жилой дом – одноэтажный объём с мезонином постройки 1909 г. (рис. 4). Декоративное убранство фасада представлено в виде характерных элементов модерна: округлые очертания окон, орнаментальная ажурная металлическая решётка балкона, плоский линейно-графический декор парадных дверей.



Рис. 4. Жилой дом и флигель из комплекса усадьбы Н.О. Сергеева по ул. Садовой (совр. ул. Дзержинского, 12–14), фотография 1909 г. и фотография автора 2018 г.

Акцентом жилого дома служит балкон с шатровым завершением, которому вторит завершение выступающего ризалита с главным входом [4, с. 292]. На сегодняшний день сохранились калитки из входных ворот, которые были выполнены в едином стиле с жилым домом. Уникальность деревянного модерна Тюмени подчеркивается во многих исследованиях [5].

### Неоклассицизм

На смену модерну в начале 1900-х гг. приходит новое стилистическое направление – неоклассицизм, зародившийся в Петербурге и оказавший значительное влияние на тюменскую архитектуру. Воздействие классицистических форм на практику строительства в Тюмени не прекращалось в течение всего XIX в., а с начала 1900-х гг. вспыхнуло с новой силой, но уже на основе столичных веяний [6, с.165]. Неоклассицизм возник как своего рода ответ на свободное формообразование модерна и широкое разнообразие эклектизма. Для архитектурных решений данного стилистического направления характерно использование форм и принципов классической ордерной системы, чёткой,

чаще всего строго симметричной композиции, ясно читаемого силуэта и пространства, использование элементов античного декоративного убранства.

Одно из самых впечатляющих зданий неоклассицизма было возведено в 1908–1913 гг. Это частное коммерческое училище купцов Колокольниковых по ул. Никольской (совр. ул. Луначарского, 2) [7, с. 20]. Проект столичного архитектора В.К. Олтаржевского получил золотую медаль на Парижской выставке. Объект расположен на вершине Затюменского мыса в непосредственной близости с комплексом Троицкого монастыря. Грандиозное каменное сооружение в три этажа с величественными фасадами, широко раскинутыми вдоль улиц, производит неизгладимое впечатление торжественной архитектурой (рис. 5).



Рис. 5. Коммерческое училище Колокольниковых по ул. Никольской (совр. ул. Луначарского, 2), открытка начала XX в. и фотография автора 2020 г.

Ещё одним из характерных объектов данного стилевого направления является здание операционного зала Сибирского торгового банка по ул. Царская – Иркутская (совр. ул. Республики, 30 – Челюскинцев, 38) в здании бывшего жилого дома купца Подаруева (рис. 6). Оно построено по проекту городского архитектора К.П. Чакина, главным убранством фасада служат фрагмент ордерной системы – антаблемент и дорические полуколонны на простых постаментах. Здание закрепляет угол одного из центральных городских кварталов.



Прокопий Иванович Подаруев  
(1818 – 1900)  
купец первой гильдии,  
городской голова в 1870-1873, 1877-1885 гг.



Рис. 6. Жилой дом П.И. Подаруева по ул. Царская – Иркутская (совр. ул. Республики, 30 – Челюскинцев, 38), открытка начала XX в. и фотография автора 2020 г.

Предположительно, по его же проекту на средства купца А.И. Текутьева в 1915–1917 гг. было возведено одноэтажное кирпичное здание городской хирургической больницы по ул. Даудельной, 1Б – еще один из примеров неоклассицистических построек в г. Тюмени (рис. 7). Характерными элементами данного стилистического направления являются лаконичные портики с дорическими колоннами на боковых ризалитах здания. Городская хирургическая больница по ул. Даудельной, 1Б, является частью крупного больничного комплекса. Кирпичное одноэтажное здание имеет четкое объемно-планировочное построение [1, с. 63].



Рис. 7. Городская хирургическая больница (совр. ул. Даудельная, 1Б), план 1-го этажа и фотография автора 2019 г.

Усадьба Я.И. Шайчика по ул. Спасской (совр. ул. Ленина, 47–49) представляет собой комплекс зданий, в состав которого входит дом-особняк, флигель по фронту улицы и служебный флигель, расположенный во дворе (рис. 8). Все постройки представлены в различных стилистических направлениях. Дом в два этажа датируется 1914 г., принадлежит руке мастера-архитектора Константина Павловича Чакина. Архитектура дома относится к неоклассицизму – решение фасада представлено в виде трехчастной композиции, по центру расположен эркер, а по бокам – ризалиты с двухколонными портиками. В декоративном убранстве фасада можно отметить причастность к модерну, а именно: характер карниза, облицовка наличников, розетки, венки и др. Планировочное решение дома – коридорная система. Дополняет комплекс усадьбы каменная ограда с воротами, выполненная в общей стилистике с домом-особняком.

Стилистические направления в архитектурных решениях купеческих объектов в г. Тюмени весьма обширны: от представителей «сибирского барокко» до торжественных масштабных построек неоклассицизма, что характерно для русской архитектуры рассматриваемого периода.

Несмотря на общность тенденций, в архитектурных решениях прослеживается местный региональный колорит, проявляющийся в интерпретации общих тенденций под предпочтения вкусов заказчика, в лице которого в большей степени представлено местное купечество.



Янкель Шавич Шайчик  
(1875 – 1942)  
купец второй гильдии



Рис. 8. Усадьба Я.Ш. Шайчика по ул. Спасской (совр. ул. Ленина, 47–49), панорама по ул. Спасской, открытка начала XX в. и фотография автора 2020 г.

Застройка в рассматриваемых стилистических направлениях представлена в достаточно широком разнообразии – от крупных зданий общественного назначения (школы, больницы) до объектов, построенных для личных целей (торговые дома, жилые усадьбы, совмещающие торговую и жилую функции).

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Гайдук М.Ю.* Вклад купца А.И. Текутьева в историко-культурное наследие города Тюмени // *Сибирское купечество: истоки, деятельность, наследие : материалы третьей Всероссийской научной конференции.* Томск, 2019. С. 60–66.
2. *Ситникова Е.В., Гайдук М.Ю.* Вклад купечества в формирование архитектурного облика образовательных заведений г. Тюмени в конце XIX – начале XX в. // *Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета.* 2015. С. 18–25.
3. *Государственный архив Тюменской области в г. Тобольске.* Ф. 353 Оп. 1. Д. 132, 135; Ф. 353. Оп. 1. Д. 793.
4. *Козлова-Афанасьева Е.М.* Архитектурное наследие Тюменской области : научный каталог. Тюмень : ООО «Издательство искусство», 2008. 488 с.
5. *Вольская Л.Н.* Архитектурно-градостроительное наследие Сибири. Новосибирск : НГАХА, 2008. 240 с.
6. *Гутнов А.Э., Глазьев В.Л.* Мир архитектуры: лицо города. Москва : Молодая гвардия, 1990. 350 с.
7. *Ситникова Е.В.* Историко-архитектурное наследие купцов Колокольниковых в г. Тюмени // *Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета.* 2015. № 4. С. 36–48.

## REFERENCES

1. *Gaiduk M.Yu.* Vklad kuptsa A.I. Tekut'eva v istoriko-kul'turnoe nasledie goroda Tyumeni [Contribution of merchant Tekutev to Tyumen architecture]. Tomsk: TSUAB, 2019. Pp. 60–67. (rus)
2. *Sitnikova E.V., Gaiduk M.Yu.* Vklad kupechestva v formirovanie arkhitekturnogo oblika obrazovatel'nykh zavedeniĭ g. Tyumeni v kontse XIX – nachale XX v [Merchants' contribution to the architectural appearance of Tyumen educational institutions late in the 19th and early 20th centuries]. *Vestnik of Tomsk State University of Architecture and Building*. 2015. Pp. 18–25. (rus)
3. Gosudarstvennii arhiv Tyuemenskoi oblasti v Tobolske [Tobolsk State Archive]. Form 353. List 1. Proc. 132. 135; Form 353. List 1 Proc. 793. (rus)
4. *Kozlova-Afanas'eva E.M.* Arkhitekturnoe nasledie Tyumenskoy oblasti [Architectural heritage of the Tyumen Region]. Tyumen: Iskusstvo, 2008. 488 p. (rus)
5. *Volskaya L.N.* Arkhitekturno-gradostroitel'noe nasledie Sibiri [Architectural and urban planning of Siberian heritage]. Novosibirsk: NGAHA, 2008. 240 p. (rus)
6. *Gumov A.E.* Mir arkhitektury: litso goroda [The world of architecture: City]. Moscow: Molodaya gvardiya, 1990. 350 p. (rus)
7. *Sitnikova E.V.* Istoriko-arkhitekturnoe nasledie kuptsov Kolokolnikovykh v Tyumeni [Merchants Kolokolnikov's historical and architectural heritage in Tyumen]. *Vestnik of Tomsk State University of Architecture and Building*. 2015. No. 4. Pp. 36–48. (rus)

**Сведения об авторе**

*Гайдук Мария Юрьевна*, ассистент, Тюменский индустриальный университет, 625000, г. Тюмень, ул. Володарского, 38, mary.gaydouk@mail.ru

**Author Details**

*Mariya Yu. Gaiduk*, Assistant Lecturer, Industrial University of Tyumen, 38, Volodarskii Str., 625000, Tyumen, Russia, mary.gaydouk@mail.ru

УДК 72.035

DOI: 10.31675/1607-1859-2021-23-6-65-76

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

## **ФОРМИРОВАНИЕ АРХИТЕКТУРНОГО ОБЛИКА Г. МИНУСИНСКА И ВЛИЯНИЕ НА НЕГО МЕСТНОГО КУПЕЧЕСТВА В XIX – НАЧАЛЕ XX ВЕКА\***

Статья посвящена формированию архитектурного облика малого сибирского города Минусинска в русле отражения интересов местного купечества. Актуальность исследования обусловлена недостаточной изученностью историко-культурного наследия малых городов Сибирского региона и проблемами сохранения их культурного наследия.

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

Научная новизна заключается в изучении историко-культурного наследия Минусинска, где были сосредоточены крупные купеческие капиталы и велось монументальное строительство особняков и промышленно-торговых зданий. Методологической и теоретической основой исследования являются теоретические труды ученых историков и архитекторов, касающиеся данного вопроса и приведенные в библиографическом списке настоящей статьи, а также материалы натурного исследования, проведенные автором в 2019 г. в рамках работы над грантом.

В результате исследования установлено, что Минусинск представляет несомненный интерес как исторический купеческий город. В старой части города сохранились многочисленные деревянные и каменные здания, относящиеся ко второй половине XIX – началу XX в. Они располагаются на центральных улицах и площадях старого города и формируют его индивидуальный облик. Сохранение и эффективное использование купеческих зданий будет способствовать повышению статуса города и развитию его туристической привлекательности.

**Ключевые слова:** малые города Сибири; Красноярский край; г. Минусинск; историко-культурное наследие; сибирское купечество.

**Для цитирования:** Ситникова Е.В. Формирование архитектурного облика г. Минусинска и влияние на него местного купечества в XIX – начале XX века // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2021. Т. 23. № 6. С. 65–76.

DOI: 10.31675/1607-1859-2021-23-6-65-76

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

## **MINUSINSK ARCHITECTURE FORMATION AFFECTED BY LOCAL MERCHANTS IN THE 19–20TH CENTURIES**

**Purpose:** The aim of this work is to describe the architecture of Minusinsk, a small Siberian town, in line with the interests of the local merchants. The paper is relevant because of the

---

\* Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Администрации Томской области в рамках научного проекта № 19-49-700003 «Формирование архитектурного облика сибирских городов и местное купечество в XVII – начале XX в.».

low level of knowledge of the historical and cultural heritage of small towns in Siberia and the problems of preserving their cultural heritage. **Methodology/approach:** The related literature review, comparative analysis of the architecture and systems structural analysis of information. Theoretical works of scholars, historians and architects and the author's literature and materials. **Practical implications:** The obtained results can be used for preparation of lectures and reports on the history of Siberian architecture. Preservation and efficient use of merchant buildings will contribute to the improvement of the city status and the development of its tourist attractiveness. **Originality/value:** The study of historical and cultural heritage of Minusinsk, a large merchant capital with mansion construction and industrial and commercial buildings. **Findings:** Minusinsk is of great interest as a historical merchant city. In the old city, there are numerous wooden and brick buildings of the late 19th and early 20th centuries. They locate in central streets and squares of the old city and have specific appearance.

**Keywords:** small towns of Siberia; Krasnoyarsk territory; Minusinsk; historical and cultural heritage; Siberian merchants.

**For citation:** Sitnikova E.V. Formirovanie arkhitekturnogo oblika Minusinska i vliyanie na nego mestnogo kupchestva v 19 – nachale 20 veka [Minusinsk architecture formation affected by local merchants in the 19–20th centuries]. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture. 2021. V. 23. No. 6. Pp. 65–76.  
DOI: 10.31675/1607-1859-2021-23-6-65-76

Настоящая статья является частью комплексной работы по изучению историко-культурного наследия Сибирского региона – становления и развития крупных и малых городов, а также социокультурного облика местного населения, оказавшего непосредственное влияние на эти процессы. Данной тематике исследования посвящены 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]. Ряд научных статей посвящен 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] и др.

Большой интерес для нашего исследования представляет город Минусинск, где были сосредоточены крупные купеческие капиталы и велось масштабное строительство особняков и промышленно-торговых зданий.

Как отмечает В.А. Ватин (Быстрянский) в своем монументальном труде «Минусинский край в XVIII веке: Эюд по истории Сибири» (Минусинск, 1913), территория в верховьях Енисея вплоть до XVIII века была занята воинственными киргизами, набеги которых доходили до Красноярска и даже Томска, поэтому продвижение русских в этом направлении было начато со строительства острогов. Первым здесь был заложен Верхний Караульный острог, который обозначен на чертежной книге Ремезова 1701 года. Позднее в Минусинском крае были заложены Абаканский (1707) и Саянский остроги (1709) [6]. С постройкой двух новых острогов в крае стало значительно спокойнее, набеги киргизов прекратились, и кочевавшие под Красноярском инородцы

стали продвигаться к югу в пределы будущего Минусинского уезда. Так писал есаул Косченской земли Буечек Кулчаков в своей челобитной: «В прошлом и в нынешнем 1720 году, в разных месяцах и числах, уехали из Красноярска без отпуску подгородные Коченские, Арепские и Ястынские служилые и ясашные татары со своих урочищ с женами и с детьми и со скотом вверх Енисея реки и живут в разных местах, где прежде сего жили киргизы» [7, с. 33].

Следующий этап в освоении Минусинского округа связан с развитием горного дела на Енисее. Правительство приступило к разработке рудных богатств края, и к 1740 г. здесь были построены два завода: Луказский медеплавильный завод на р. Луказе (ныне Лугавка) в 9 верстах от Енисея (район нынешней Знаменки) и железоделательный – на р. Ирбе, притоке Тубы (ныне рудник и посёлок городского типа Ирба в Курагинском районе) [6]. Руду на эти заводы доставляли с расположенных в округе рудников.

Сначала рабочие жили при заводах, однако из-за отсутствия доброкачественных руд производительность труда была низкой, а привозной хлеб и другие продукты обходились слишком дорого, в связи с чем горное начальство в Красноярске разработало план расселения заводских рабочих, которым предстояло стать крестьянами, приписанными к заводам. Заводские власти были также заинтересованы в притоке вольных переселенцев и разрешали им селиться в запланированных деревнях [6]. Так, согласно распоряжению главного управителя Красноярских заводов бергмейстера Н. Клеопина, в 1739 г. появились первые казённые деревни, связывающие Ирбинский завод с рудниками с Луказским заводом и Абаканским острогом.

В 1747 г. на юге Красноярского уезда было уже семь деревень, в которых проживали заводские ссыльные, самой крупной из них была деревня Минусинская (16 дворов с 26 душами мужского пола), что обусловлено выгодным географическим положением – на границе степи и лесостепи, на судоходной реке, среди земель, пригодных для пастбищ, хлебопашества и огородничества, кроме того, она располагалась на стыке дорог, ведущих к Луказскому и Ирбинскому заводам и к Абаканскому острогу.

Заводы, ставшие основанием деревень, просуществовали только до 1744 г., так деревня Минусинская стала обычным крестьянским поселением. Со строительством в 1780 г. деревянной церкви во имя Христа Спасителя она получила статус села. В 1801 г. прихожане подали в Тобольскую епархию ходатайство о постройке в селе каменной церкви вместо деревянной. Согласие было получено, и в 1803 г. началось строительство. В 1813 г. церковь была освящена во имя Христа Спасителя с приделом во имя Покрова Пресвятой Богородицы. Тогда это была первая каменная постройка.

В 1823 г., с образованием Енисейской губернии, село Минусинское становится центром округа и получает статус города. В рапорте Минусинского волостного правления от 17 января 1823 г. даётся такое описание города Минусинска и сословный состав жителей: «...4 улицы, 3 общественных деревянных дома, 116 домов обывательских, 1 церковь (каменная), 1 богадельня, 1 питейный дом, 2 мельницы на речке Минусинке, 2 моста, 6 кузниц, 3 хлебных магазина; жителей – 787, в том числе военных – 4, дворян – 2, духовного звания – 18, мещан и цеховых – 4, крестьян – 603, ссыльных – 156» [8].

В 1830–1840 гг. Минусинск получил импульс в социально-экономическом развитии благодаря развернувшейся в округе «золотой лихорадке», т. к. открытие золотых месторождений в Минусинской тайге вызвало активное переселение сюда рабочей силы и предпринимателей. Однако вскоре запасы золота и его интенсивная добыча сократились, и прииски переместились на северо-восток на пески с более богатым содержанием золота. Поэтому и в начале XX в. основным занятием жителей города оставалось земледелие и скотоводство, торговля и обрабатывающая промышленность, где главным отраслями было винокурение, переработка зерна, кожевенное, овчинное, свечное, мыловаренное производства и др.

Во второй половине XIX в. Минусинск становится крупным торговым центром на юге Сибири. Первый базар в городе был учреждён в 1834 г., к концу XIX в. их стало три – Средовой, Пятницкий, Субботний. Из числа купцов большая часть торговала по свидетельствам 2-й гильдии, т. е. вели внутренний оптовый и розничный торг, открывали фабрики и заводы, имели право на внешнюю торговлю [9]. В 1899 г. в Минусинске было 176 торговых заведений. Самые крупные торговые точки в 1904 г. держали: купец 1-й гильдии И.И. Занин, купец 1-й гильдии Г.М. Вильнер, купчиха 2-й гильдии М.П. Борисова. Минусинские купцы Г.П. Сафьянов, В.М. Сватиков, М.Ф. Веселков, М.И. Бяков вели торговлю с Урянхайским краем (Тува), Китаем, Монголией и даже проникали на японский рынок. Из Сибири они везли хлеб, железо, мануфактуру, рыбу, кедровый орех, пушнину, изделия сибирских промыслов.

Традиционно для сибирских городов значительная часть капиталов города была сосредоточена в руках местного купечества. Они также являлись и видными общественными деятелями. Например, первым городским головой Минусинска в 1875 г. был избран купец 1-й гильдии, потомственный почётный гражданин Иван Гаврилович Гусев. Все последующие руководители города были также из купеческого сословия. Лишь в 1908 г. избран городским головой мещанин Павел Александрович Бахов. Такая система городского управления сохранялась до 1917 г. [10].

Проследить вклад местного купечества в архитектуру города можно на примере Ивана Гавриловича Гусева (1833–1892), который был видной фигурой Минусинска в XIX в.: первый городской голова с 1875 по 1879 г., почётный гражданин, купец первой гильдии, промышленник, меценат, просветитель..., в общем, преуспел во всех областях. Как отмечали современники, всё, что строил И.Г. Гусев, было первым и лучшим в округе: вальцевая мельница по производству крупчатой муки (1869), стекольный завод (1871), сахарный завод (1889). Он наладил производство соли, соды, сахара, стекла с использованием местного сырья. На собственном конезаводе выводил лучшие породы лошадей.

В 1877 г. Иван Гаврилович с энтузиазмом поддержал идею малоизвестного тогда аптекаря Н.М. Мартыанова о создании местного публичного музея, первого в Енисейской губернии, а позднее и открытии при нем библиотеки. Содержание и обеспечение всем необходимым этих общественных заведений находилось под его постоянным контролем.

В 1887–1890 гг. для музея было построено специальное здание на Соборной площади. Проект здания разработан иркутским архитектором В.А. Рассушиным при содействии политического ссыльного, сотрудника музея А.О. Лукашевича. Средства на строительство корпусов музея пожертвовали минусинские купцы: винозаводчики братья В.А. и Е.О. Даниловы и иркутский золотопромышленник и меценат И.М. Сибиряков.

Двухэтажное краснокирпичное здание выполнено в лучших традициях функциональной классицизирующей эклектики, присущей большинству общественных зданий этого периода (рис. 1 и 2). Узнаваемый исторический облик здания музея сохранился до настоящего времени (рис. 1).

В 1901 г. на территории соседней усадьбы по проекту городского архитектора г. Красноярска Е.Н. Александрова был построен второй корпус музея, в котором разместилась библиотека, а на втором этаже – женское приходское училище. Новый корпус, как и предыдущий, построен в традициях эклектики с элементами классицизма. Здания объединяют общие архитектурные приемы: симметричные композиции главных фасадов, применение рустовки в оформлении нижнего этажа, карнизы, украшенные аркатурными поясами, ризалиты, завершающиеся аттиками (рис. 2).



Рис. 1. Вид на Минусинский краеведческий музей им. Н.М. Мартянова и Научную библиотеку. Фото Е.В. Ситниковой, 2019 г.



Рис. 2. Вид на библиотеку и Минусинский краеведческий музей им. Н.М. Мартянова. Фото начала XX в. из фондов музея

Основатель музея Н.М. Мартянов высоко оценил научно-просветительские функции этих учреждений: «Такое отрадное явление в жизни небольшого сибирского городка, как Минусинск, возникновение в несколько лет двух очень ценных учреждений – музея и библиотеки. Это дает нам право предполагать, что основание музеев, как учреждений крайне полезных в деле популяризации науки путем наглядного изучения и в деле подробного изучения данной местности, вполне осуществимо не только в богатых губернских городах, но и в маленьких уездных» [11].

В 1950-е гг. здание библиотеки было значительно реконструировано по проекту архитектора В.П. Петрусева. Центральная композиционная ось акцентирована ризалитом с возвышающимся над ним куполом со шпилем на невысоком световом барабане. Здание приобрело черты советского классицизма, стало архитектурным акцентом в окружающей застройке, однако целостность

ансамбля музея была утрачена. Во второй половине XX в. цветовое решение здания библиотеки было серо-голубым (поле стены) с белыми элементами. В настоящее время постройка перекрашена в цвета, более гармонично дополняющие целостный облик ансамбля (рис. 1). Это решение вполне целесообразно с учетом того, что главный корпус музея им. Н.М. Мартьянова имеет статус объекта культурного наследия федерального значения. Такой высокий статус здание получило в советский период благодаря тому, что главный корпус музея неоднократно посещал В.И. Ульянов (Ленин) во время отбывания ссылки в 1897–1900 гг. в с. Шушенском для работы с фондами библиотеки.

Будучи председателем Минусинского городского общества попечения о начальном образовании, И.Г. Гусев в 1877 г. приобрел на собственные средства дом по ул. Староприсутственной (ныне ул. Красных партизан, 1) для приходского училища. В 1887 г. в здании был проведен капитальный ремонт на сумму более 4 тыс. руб., после которого в нем разместилась женская прогимназия. Архитектура постройки отвечает принципам классицизма – симметричная композиция главного фасада с выделением центральной части в три оси окон, выделяющихся как формой оконных проемов с арочным завершением, так и объемными полуколоннами квадратного сечения, поддерживающими массивный аттик. Небольшого выступа карниз украшен мелкими сухариками, а полуколонны и угловые пилястры – каннелюрами. Такой не вполне сомасштабный декор постройки объясняется тем, что здание хоть и выглядит каменным, но на самом деле деревянное, оштукатуренное по дранке и окрашенное (рис. 3). Здание сохранилось до настоящего времени, сейчас в нем размещается библиотека музейного комплекса им. Н.М. Мартьянова.



Рис. 3. Женская прогимназия г. Минусинска. Фото начала XX в.

И.Г. Гусев также внес основной вклад (80 % средств) на строительство церкви во имя Святой Троицы (архитектор А.А. Ашемур), возведенной в 1877–1885 гг. на Новособорной площади, а впоследствии выполнял в ней обязанности церковного старосты. Также значительный вклад в строительство храма внёс минусинский купец Г. Чернышов. Архитектура церкви эклектична, с элементами русского стиля (рис. 4, 5).



Рис. 4. Троицкая церковь в панораме Минусинска. Фото начала XX в. из фондов Минусинского краеведческого музея им. Мартянова



Рис. 5. Церковь во имя Святой Троицы (1877–1885) на Новособорной площади, архитектор А.А. Ашемур. Фото начала XX в. из фондов Минусинского краеведческого музея им. Мартянова

Храм выглядел как драгоценная шкатулка с округлыми формами. Крупный цилиндрической формы алтарь перекрыт конхой, дополнительно освещен в верхней части люкарной и украшен объемным кокошником с иконой. Храмовая часть перекрыта сводом с массивным куполом луковичной формы, боковые стены храма завершаются общей, на всю ширину храмовой части, закомарой. Пятиглавие дополняют изящные, словно точеные, высокие барабаны с «луковками». Небольшая, в одно окно, трапезная перекрыта цилиндрическим куполом. Доминантой объемно-пространственной композиции является круглая в плане верхнего яруса колокольня с люкарнами в основании, завершающаяся конусообразным куполом. Карнизы по всему периметру храма украшают кокошники. Церковь была яркой архитектурной доминантой в застройке Минусинска, до настоящего времени не сохранилась.

Вкладывая значительные средства в строительство крупных каменных общественных зданий, сам меценат И.Г. Гусев со своей семьей проживал в деревянном одноэтажном на каменном цокольном этаже доме с мезонином. Дом построен в традициях позднего провинциального классицизма. Деревянный объем сруба обшит горизонтально профильной доской. Карниз первого этажа декорирован изящными кронштейнами, довольно массивный мезонин расчленен лопатками и украшен пропиленной резьбой. Несмотря на то, что многие архитектурно-художественные элементы утрачены (резной балкон на кронштейнах, ворота, аттик над главным входом на пристройке), в целом здание сохранилось достаточно хорошо (рис. 6 и 7).



Рис. 6. Дом И.Г. Гусева на ул. Обороны, 43б, в г. Минусинске. Фото начала XX в. и современное (URL: <http://naov.ru/objects/dom-ig-guseva-po-ul-oboroni-43b-v-minusinske.html>)



Рис. 7. Декоративные элементы дома И.Г. Гусева на ул. Обороны, 43б, в г. Минусинске. Фото Р. Петрушина, 2015 г.

Надо отметить, что купцы первыми начали строить каменные дома для личного пользования. Так первый каменный жилой дом был построен на северной стороне Спасско-Соборной площади (ныне ул. Ленина, 75) в 1850-х гг. купцом Беловым. В 1866 г. в городе числилось 675 зданий, из которых только семь были каменными [12, с. 352].

В 1881 г. минусинский купец 2-й гильдии Петр Иванович Лыткин построил на ул. Лекарской (позже Барнаульской, ныне угол Гоголя и Кравченко) двухэтажный с подвалом краснокирпичный торговый дом. Угловое со скошенным углом здание выполнено в формах эклектики. Нижний этаж выделяется чередой арочных проемов окон и более крупных, также с арочным завершением, входов в магазины. Карниз украшен кирпичным декором, в верхней части разбит фигурными аттиками и парапетными столбиками.

В 1897 г. на ул. Новоприсутственной (в настоящее время ул. Октябрьская, 62) минусинским купцом Н.П. Пашенных была построена целая кирпичная усадьба, включающая угловое двухэтажное кирпичное здание, одноэтажный флигель (в советское время надстроен второй этаж), ворота и надворные постройки. Основное здание ещё неоднократно достраивалось и перестраивалось до 1911 г. На первом этаже располагался магазин Пашенных, второй этаж был жилым. Во дворе усадьбы был установлен паровой котел и динамомашинка для обеспечения электричеством дома и магазина.

Пашенных вел в Минусинске торговлю галантерейными и мануфактурными товарами, золотыми и серебряными изделиями, чаем и сахаром, являлся владельцем мельницы и мукомольни, имел 8 торговых мануфактурных лавок по уезду, хлебную торговлю, заводы и прииски с общим оборотом более 150 тыс. руб. [13].

В начале XX в. Н.П. Пашенных построил на ул. Новоприсутственной (в настоящее время ул. Октябрьская, 36) еще одно выразительное кирпичное здание в формах рационального модерна, которое во второй половине XX в. было надстроено и во многом утратило свою выразительность.

В 1907 г. минусинский золотопромышленник, купец 2-й гильдии, а также известный как основатель первой в городе типографии Василий Васильевич Фёдоров построил на углу ул. Большой и Михайловской (современные ул. Комсомольская и Ленина, 71) в широко распространённом в начале XX в. «кирпичном» стиле двухэтажный торговый дом. Дом получил широкую известность благодаря тому, что здесь был открыт первый в Минусинске электротئاتр «Метеор».

Однако самой масштабной частной постройкой Минусинска начала XX в. стал дом минусинского купца еврейского происхождения Герша Мордоховича Вильнера. Возведенное в 1914 г. по проекту архитектора В.А. Соколовского первое трехэтажное значительного масштаба здание получило впоследствии прозвище «Сибирский Зимний дворец». Здание было собрано из четырех частей – два двухэтажных кирпичных дома были объединены вставкой и надстроены третьим этажом.

Строительство культовых зданий в Минусинске нередко осуществлялось на средства местного купечества. В 1864–1867 гг. на средства купца

И.Т. Масленникова была построена на минусинском кладбище каменная церковь во имя Сретения Господня (архитектор П. Дорофеевский).

В конце столетия в минусинском обществе возникла потребность в устройстве ещё одной православной церкви, которая была возведена на средства купца Н.М. Зайцева в 1906–1911 гг. на Новоцерковной площади, образовавшейся на восточной окраине города к началу XX в. Четвертая каменная церковь была возведена в Минусинске во имя Вознесения Господня по проекту архитектора А.А. Фольбаума [11].

В настоящее время Минусинск представляет собой исторический купеческий город. Здесь сохранились многочисленные деревянные и каменные здания, относящиеся ко второй половине XIX – началу XX в. Среди них выделяются: Спасский собор (1803–1813), Сретенская церковь (1864–1865), Вознесенская церковь (1908–1911), Минусинский региональный краеведческий музей им. Н.М. Мартыанова (1890), дом купчихи М.С. Беловой (1854), дом купца Г.М. Вильнера (1897–1912) и другие купеческие особняки XIX – начала XX в. Они располагаются на центральных улицах и площадях старого города и формируют его индивидуальный облик. Сохранение и эффективное использование купеческих зданий будет способствовать повышению статуса города и развитию его туристической привлекательности.

#### 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, Кольвань, Камень-на-Оби, Нарым, Мариинск, Новониколаевск / под ред. В.П. Бойко. Томск : Изд-во Том. гос. архит.-строит. ун-та, 2011. 480 с.
3. *Бойко В.П., Ситникова Е.В., Богданова О.В., Шагов Н.В.* Формирование архитектурного облика городов Западной Сибири в XVII – начале XX в. и местное купечество (Тобольск, Тюмень, Томск, Тара, Омск, Каинск). Томск : Изд-во Том. гос. архит.-строит. ун-та, 2017. 324 с.
4. *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 культурного зодчества г. Тюмени // *Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета*. 2016. № 3 (56). С. 70–81.
6. *Ватин В.А. [Быстрянский В.А.]* Минусинский край в XVIII веке: Этюды по истории Сибири / Минус. гор. Мартыан. музей. Минусинск : Тип. А.Ф. Метелкина, 1913.
7. *Историческая энциклопедия Сибири*. В 3 томах / рук. проекта А.П. Деревянко. Новосибирск : Изд. дом «Истор. наследие Сибири», 2009.
8. *Ковалев В.А., Ермолаева Л.Н., Шадрин И.Е.* Минусинск. Красноярск, 1986. С. 19.
9. *Ермолаева Л.Н.* Роль купечества в развитии сибирских городов: на примере города Минусинска // *Сибирское купечество: истоки, деятельность, наследие : материалы Второй Всероссийской научной конференции*. Томск, 2017. С. 158–166.
10. *Ситникова Е.В.* Купеческое наследие г. Минусинска на примере дома купца Г.М. Вильнера // *Сибирское купечество: истоки, деятельность, наследие : материалы Четвертой Всероссийской научной конференции*. Томск, 2021. С. 209–215.

11. Петров Д.Г., Царёв В.И. Проекты нового города Сибири XIX в. (на примере Минусинска) // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2012. № 3 (36). С. 91–102.
12. Горбачёв В.Т., Крадин Н.Н., Крадин Н.П. и др. Градостроительство Сибири / Рос. акад. архит. и строит. наук, НИИ теории и истории архит. и градостроит. НИИТИАГ РААСН. Санкт-Петербург : Коло, 2011. С. 347–354.
13. Кискидосова Т.А. Роль минусинского предпринимателя Н.П. Пашенных в хозяйственном развитии минусинского края в конце XIX – начале XX века // Сибирское купечество: истоки, деятельность, наследие : материалы Второй Всероссийской научной конференции. Томск, 2017. С. 152–157.

## REFERENCES

1. Boiko V.P., Sitnikova E.V. Sibirskoye kupechestvo i formirovaniye arkhitekturnogo oblika g. Tomsk v XIX – nachale XX v [Siberian merchants and architecture of Tomsk in the 19th and early 20th centuries]. Tomsk: TSUAB. 2008. 180 p. (rus)
2. Boiko 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 [Architecture of Tomsk and Siberian merchants in the 17–20th centuries. Tomsk, Biysk, Barnaul, Kuznetsk, Kolyvan, Kamen-on-Ob, Narym, Mariinsk, Novonikolaevsk]. Tomsk: TSUAB, 2011. 480 p. (rus)
3. Boyko V.P., Sitnikova E.V., Bogdanova O.V., Shagov N.V. 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 of 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. Bystryansky V.A., Vatin V.A. Minusinskiy kray v XVIII veke: Etyud po istorii Sibiri [Minusinsk territory in the 18th century: A study on the history of Siberia]. Minusinsk, 1913. (rus)
7. Derevianko A.P. Istoricheskaya entsiklopediya Sibiri: v 3-kh t [Historical Encyclopedia of Siberia]. In 3 vol., Novosibirsk, 2009. (rus)
8. Kovalev V.A., Ermolaeva L.N., Shadrina I.E. Minusinsk, Krasnoyarsk [Minusinsk, Krasnoyarsk]. 1986. 19 p. (rus)
9. Ermolaeva L.N. Rol' kupechestva v razvitii sibirskikh gorodov: na primere goroda Minusinska [The role of merchants in the development of Siberian cities: the Minusinsk case studies]. In: Sibirskoe kupechestvo: istoki, deyatel'nost', nasledie: materialy chetvertoi Vserossiiskoi nauchnoi konferentsii (Proc. 2nd All-Russ. Sci. Conf. 'Siberian Merchants: Origins, Activities, Heritage'). 2017. Pp. 158–166. (rus)
10. Sitnikova E.V. Kupecheskoye nasledie g. Minusinska na primere doma kuptsa G.M. Vil'nera [Merchant heritage of Minusinsk on the example of G.M. Vilner's house]. In: Sibirskoe kupechestvo: istoki, deyatel'nost', nasledie: materialy chetvertoi Vserossiiskoi nauchnoi konferentsii (Proc. 4th All-Russ. Sci. Conf. 'Siberian Merchants: Origins, Activities, Heritage'). Tomsk, 2021. Pp. 209–215. (rus)
11. Petrov D.G., Tsarev V.I. Proyeekty novogo goroda Sibiri XIX v. (na primere Minusinska) [Projects of the new city of Minusinsk in Siberia in the 19th century]. *Vestnik of Tomsk State University of Architecture and Building*. 2012. No. 3 (36). Pp. 91–102. (rus)
12. Gorbachev V.T., Kradin N.N., Kradin N.P., et al. Gradostroitel'stvo Sibiri [Urban planning in Siberia]. Saint-Petersburg: Kolo, 2011. Pp. 347–354. (rus)

13. *Kiskidosova T.A.* Rol' minusinskogo predprinimatelya N.P. Pashennykh v khozyaystvennom razvitii minusinskogo kraya v kontse XIX – nachale XX veka [The role of N.P. Pashennykh, entrepreneur in economic development of the Minusinsk region in the 19–20th centuries]. In: *Sibirskoe kupechestvo: istoki, deyatel'nost', nasledie: materialy Vtoroi Vserossiiskoi nauchnoi konferentsii (Proc. 2nd All-Russ. Sci. Conf. 'Siberian Merchants: Origins, Activities, Heritage')*. 2017. Pp. 152–157. (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 7.71.712.7

DOI: 10.31675/1607-1859-2021-23-6-77-85

О.О. СМОЛИНА,  
Новосибирский государственный  
архитектурно-строительного университет (Сибстрин)

## КАТАЛОГИ АРБОРСКУЛЬПТУРЫ: ПРОГНОСТИЧЕСКИЕ ВАРИАНТЫ ПО ФОРМИРОВАНИЮ И ХАРАКТЕРУ ПРИМЕНЕНИЯ (САДОВЫЕ СТУЛЬЯ)

Актуальность исследования связана с более глубоким изучением процесса формирования природно-художественных объектов архитектурного пространства – арборскульптуры.

Цель научного исследования: сформировать каталоги объектов арборскульптуры в категории практического использования «садовые стулья», изучить эргономические аспекты их проектирования, рассчитать сроки формирования арборскульптурных объектов с учетом вида растения.

Новизна исследования: 1) предложены каталоги арборскульптуры в категории практического использования «садовые стулья». Данные каталоги не имеют аналогов в России; 2) подобраны наиболее приспособленные к гуманной коррекции роста древесные растения Западно-Сибирского региона с уточнением их экологических паспортов по следующим характеристикам: газоустойчивость, темпы роста, жизненный цикл древесного растения; 3) составлены диаграммы зависимости основных размеров садового стула (высоты спинки стула, ширины сиденья стула, высоты ножек стула) от вида древесного растения (ива пятитычинковая, клен татарский, черемуха обыкновенная).

Методы исследования: эргономический анализ, анализ использования ассортимента древесных растений в фитокомпозиционном составе объектов арборскульптуры, визуально-антропометрический анализ, моделирование, компаративный метод.

Выявлены некоторые аспекты, которые необходимо учитывать при формировании арборскульптуры: композиционная сложность произведения арборскульптуры, вид древесного растения, особенности его роста, условий произрастания. Новые научные результаты, полученные автором, имеют существенное значение для науки с позиций более глубокого изучения новых креативных подходов к формированию открытых архитектурных пространств с использованием растительных материалов.

**Ключевые слова:** искусство арборскульптуры; каталоги; садовые стулья; компоненты природы; элементы благоустройства.

**Для цитирования:** Смолина О.О. Каталоги арборскульптуры: прогностические варианты по формированию и характеру применения (садовые стулья) // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2021. Т. 23. № 6. С. 77–85.

DOI: 10.31675/1607-1859-2021-23-6-77-85

О.О. SMOLINA,  
Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering

## TREE SHAPING CATALOGS: FORMATION AND NATURE OF GARDEN CHAIR APPLICATIONS

**Purpose:** Tree shaping catalog development of practical use: garden chair category; study of the ergonomic aspects of their design, calculation of the time for the formation of tree shaping objects with regard to the plant types. A deeper study of the formation of natural and artistic objects of architectural space, i.e., tree shaping. **Design/methodology/approach:** Ergonom-

ic analysis, analysis of woody plants compositions in tree shaping, visual-anthropometric analysis, modeling, comparative analysis. **Originality/value:** 1. Proposed tree shaping catalogs in the category of garden chairs. These catalogs have no analogues in are Russia. 2. The selected woody plants of the West Siberian region, most adapted to humane correction of growth, with the ecological specification in accordance with the following parameters: gas resistance, growth rate, life cycle of a woody plant. 3. Diagrams are suggested for the garden chair dimensions (chair back height, seat width, chair leg height) depending on the woody plant (willow, Tatar maple, bird cherry). **Findings:** Many identified aspects are can be used in tree shaping: compositional complexity of tree shaping, woody plant type, growth characteristics, and the growing conditions. **Practical implications:** The obtained results can be used as in a deeper study of new approaches to the formation of open architectural spaces with plant materials.

**Keywords:** tree shaping; catalog; garden chairs; nature components; landscaping.

**For citation:** Smolina O.O. Katalogi arborskul'ptury: prognosticheskie varianty po formirovaniyu i kharakteru primeneniya (sadvoye stul'ya) [Tree shaping catalogs: formation and nature of garden chair applications]. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture. 2021. V. 23. No. 6. Pp. 77–85.

DOI: 10.31675/1607-1859-2021-23-6-77-85

### Введение

Актуальность исследования связана с более глубоким изучением процесса формирования природно-художественных объектов архитектурного пространства – арборскультуры. Целью научного исследования является формирование каталогов объектов арборскультуры в категории практического использования «садовые стулья», изучение эргонометрических аспектов их проектирования, расчет сроков формирования объектов арборскультуры с учетом вида растения. Задачи исследования: 1) рассмотреть эргономические требования формообразования объекта арборскультуры; 2) проанализировать существующие формы арборскультуры в категории практического использования «садовые стулья», определить специфику их «выращивания». Новизна исследования заключается в следующем: 1) предложены каталоги арборскультуры в категории практического использования: «садовые стулья», не имеющие аналогов в России; 2) подобраны наиболее приспособленные к гуманной коррекции роста древесные растения Западно-Сибирского региона с уточнением их экологических паспортов по следующим характеристикам: газоустойчивость, темпы роста, жизненный цикл древесного растения; 3) составлены диаграммы зависимости основных размеров садового стула (высоты спинки стула, ширины сиденья стула, высоты ножек стула) от вида древесного растения (ива пятитычинковая, клен татарский, черемуха обыкновенная). Были применены такие методы исследования, как эргономический анализ, анализ использования ассортимента древесных растений в фитокомпозиционном составе объектов арборскультуры, визуально-антропометрический анализ, моделирование, компаративный метод.

### Результаты исследования

На основании проведенного сравнительного анализа объектов арборскультуры в категории практического использования «садовые стулья» были

определены их типы. Тип садовой форме назначался исходя из года формирования объекта арборскультуры автором:

Тип № 1: садовый стул сформирован из ясеня, 1914 г., J. Krubsack, США [1, 2].

Тип № 2: садовый стул из гуавы и тика, N. Boonnetr, сформирован в 1983–1998 гг., Таиланд [3].

Тип № 3: арборскультура из алычи и миробалана серого, 1998 г., П. Cook и Б. Northey, Австралия [4].

Тип № 4: садовый стул сформирован из гималайской березы в 2000 г., Н. Block, Германия [5].

Тип № 5: автор G. Munro, Великобритания, 2015 г. [6]. По мере произрастания древесных растений (ива, орешник, ясень, клен, платан, яблоня, дуб) осуществляют их гуманную коррекцию роста с помощью шпалер [7].

### Эргономический анализ

Основная задача заключалась в определении степени комфорта садового стула из растущих деревьев при его эксплуатации после формирования.

Рассмотрим основные параметры садового стула из растущих деревьев:  $B$  – высота спинки стула (см),  $L$  – ширина сиденья стула (см),  $H$  – высота ножек стула (см). Значение данных величин будет зависеть от вида древесного растения и его скорости роста, от условий произрастания (насколько они благоприятны и соответствуют требованиям растения к микроклиматическим условиям территории), от метода и техник формообразования объекта [8, 9] (в том числе его композиционной сложности), от ухода, аллелопатии, возможной фитопатологии растений.

Согласно эргономике стула [10, 11], высота ножек стула ( $H$ ) варьируется в диапазоне 39–45 см; высота спинка стула ( $B$ ) – 30–51 см; максимально удобной является ширина сиденья стула ( $L$ ) в 38–43 см (рис. 1).

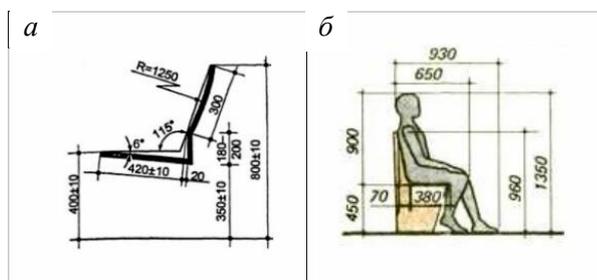


Рис. 1. Схема профиля стула, по Б. Акерблону, 1948 г. (а) и эргономика стула, по Le Corbusier, 1950 г. (б)

Главной причиной создания формы садового стула из растущих деревьев являются особенности антропометрии и физиологии человека.

«При проектировании необходим совокупный учет всех физиологических, антропометрических принципов решения стула, которые должны обеспечивать функциональность и удобство предметов» [12].

### Анализ использования ассортимента древесных растений в фитокомпозиционном составе объектов арборскультуры

На основании исследований А.И. Ковешниковой, Н.А. Ширяевой, М.А. Ставцевой [13] предложены следующие виды древесно-кустарниковых пород для арборскультуры: ясень обыкновенный, клен ясенелистный и остролистный, черемуха обыкновенная. Однако ясень ясенелистный по показателям газоустойчивости «неустойчив», и поэтому целесообразно отказаться от его использования в качестве арборскультуры для городского формирования в зонах высокого антропогенного воздействия на растения (вблизи улиц различной категории, в санитарно-защитных зонах промышленных территорий и др.). Ясень обыкновенный и клен остролистный крайне редко используются в озеленении Западно-Сибирского региона, поэтому данные виды древесно-кустарниковых пород не рассматриваются в качестве возможных для арборскультуры в г. Новосибирске. Согласно исследованиям G. Munro [6], ива и клен обладают высокой гибкостью, поэтому иву пятичичиновую и клен татарский можно предложить как наиболее предпочтительные виды растений для «выращивания» арборскультурных объектов, данные растения зимостойки и газоустойчивы.

На основании изучения особенностей произрастания предложенных видов древесных растений для арборскультуры [14], а также научных исследований М.Р. Колпаковой, А.А. Гончар, Л.Н. Чиндяевой, Е.А. Березиной [15] был составлен экологический паспорт наиболее приспособленных к гуманной коррекции роста растений для формирования объектов арборскультуры в Западно-Сибирском регионе России (табл. 1).

Таблица 1

#### Наиболее предпочтительные виды древесно-кустарниковых пород для формирования объектов арборскультуры в Западно-Сибирском регионе

Название	Высота в 10 лет, м	D ствола в 10 лет, см	Мах высо- та, м	Мах D ствола, см	Мах D кроны, м	Отно- шение к свету, к влаге	Газоустой- чивость, балл
							Жизненный цикл, лет
1. Ива пяти- чичиновая	6	12	9–16	75	5	Св Мф	2
							80
2. Клен татарский	3	4	6–10	12	5	Тв Мкф	3
							80
3. Черемуха обыкновенная	5	7	9–15	12	6	Тв Мф	2
							60

Условные обозначения: *Отношение к свету*: Св – светолюбивый вид, Тв – теневыносливый. *Отношение к влажности почвы*: Мф – мезофиты – приспособленные к условиям средней влажности, Мкф – мезоксерофиты – среднетребовательные к условиям влажности растения, способные переносить засушливые условия. *Газоустойчивость растений приведена по 5-балльной системе (Антипов, 1979 г)*: 2 балла – устойчивые, 3 – относительно устойчивые виды.

### Визуально-антропометрический анализ

Для определения сроков формирования объектов арборскультиры в категории практического использования («садовые стулья») необходимо рассмотреть процесс формирования, который можно разделить на три этапа: во-первых, «выращивание» ножек стула, во-вторых, формирование сиденья стула, в-третьих, этап оформления спинки стула.

Наиболее комфортной для человека будет высота ножек стула ( $H$ ) в диапазоне 39–45 см (рис. 1), данной высоты можно будет достигнуть при жизненном цикле саженца до 1 года – если гуманной коррекции роста подвергается ива пятитычинковая и черемуха обыкновенная, клен татарский – в 1 год (рис. 2).

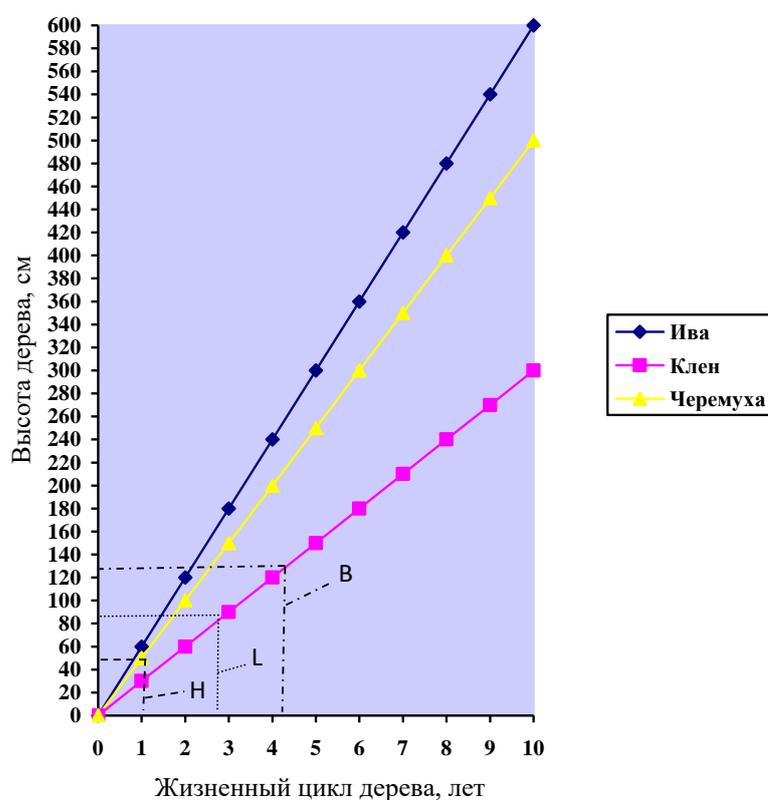


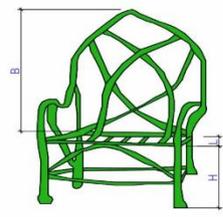
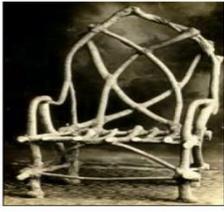
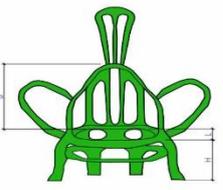
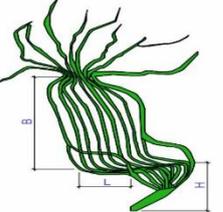
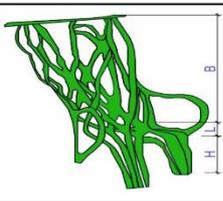
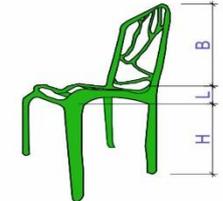
Рис. 2. Определение сроков «выращивания» объекта арборскультиры в категории практического использования «садовые стулья» в зависимости от вида древесно-кустарниковых пород:

$H$  – высота ножек стула – 39–45 см;  $L$  – ширина сиденья стула, оптимальное значение – 38–43 см;  $B$  – высота спинки стула, эргономичный показатель – 39–45 см

Для типов № 1, 2, 5 садового стула из каталога (табл. 2) характерна посадка 4 растений по одному – в местах предполагаемых ножек стула, для типа № 3 – 1 растение из-за нестандартной формы стула, для типа № 4 – по 4 саженца в каждое место предполагаемой ножки стула.

Таблица 2

## Каталоги арборскульптуры в категории практического использования «садовые стулья»

Тип	Модель	Реалистичное фото	Автор, страна
1			J. Krubsack, США
2			N.Boonnetr, Таиланд
3			П.Сook Б. Northey, Австралия
4			Н.Block, Германия
5			G. Munro, Великобритания

Примечание. *B* – высота спинки стула, эргономичный показатель – 39–45 см, *L* – ширина сиденья стула, оптимальное значение – 38–43 см, *H* – высота ножек стула – 39–45 см.

Садовый стул из растущих деревьев может выдерживать вес человека не более 100 кг, при 4 ножках стула, как в типах № 1, 2, 5 (табл. 2) арборскульптуры, вес человека будет распределяться пропорционально по 25 кг на каждое дерево в местах предполагаемых ножек стула, а в типе № 4 – по

6,25 кг (вес 25 кг делится на 4 саженца), в случае же типа № 3 при одном дереве, участвующем в формировании стула, необходимо использовать только древесное растение с диаметром ствола не менее 60 см, чтобы выдержать вес человека не более 100 кг, следовательно, из рассмотренных выше древесных растений, согласно табл. 1, подойдет только ива пятитычинковая.

После сформированных ножек стула приступаем к «выращиванию» сиденья стула. В зависимости от типа арборскультуры в категории практического использования «садовые стулья» сиденье садового стула может быть сформировано по-разному: типы № 1, 2, 5 – за счет основных ветвей первого порядка; тип № 3 – за счет основных ветвей первого и второго порядка; тип № 4 – за счет нескольких стволов деревьев. Оптимальное значение  $L$  – ширины сиденья стула (см) – варьируются в диапазоне 38–43 см (рис. 1), формирование данной части стула начинается сразу после сформированных ножек стула, следовательно, необходимых параметров растущего стула при использовании в формировании ивы пятитычинковой и черемухи обыкновенной мы сможем достигнуть при их возрасте в 1,5 и 1,7 года соответственно, клена татарского – в 2,8 года.

Далее приступаем к формированию  $B$  – высоты спинки стула (см), эргономичный показатель – 39–45 см (рис. 1). Ива пятитычинковая и черемуха обыкновенная достигнут оптимальных показателей эргономики стула в возрасте 2 и 2,5 года соответственно, клен татарский – в 4,2 года при благоприятных условиях роста, при неблагоприятных условиях – к 3,5 года и 6 годам соответственно.

Спинку стула в типах № 1, 2, 4, 5 (табл. 2) возможно сформировать за счет ствола дерева, а также основных ветвей первого и второго порядка, в типе № 3 – основных ветвей первого и второго порядка.

Рекомендуется для выполнения эргономических показателей стула (рис. 1), после заключительного этапа формирования, подсыпать грунт в место произрастания арборскультуры в объеме, необходимом для того, чтобы выйти на нужную высоту (39–45 см) ножек стула для его эксплуатации.

Каталоги арборскультуры в категории практического использования «садовые стулья» представлены в табл. 2.

*«И пусть стул, “выращенный” человеком, будет жить...» [16].*

### Заключение

В настоящей работе проведено эргономическое исследование основных параметров объекта арборскультуры, получены следующие результаты:

1. Определено, что максимально удобной является высота ножек стула ( $H$ ) в диапазоне 39–45 см, высота спинки стула ( $B$ ) – 30–51 см, ширина сиденья ( $L$ ) – в 38–43 см.

2. Наиболее предпочтительными видами древесно-кустарниковых пород для формирования объектов арборскультуры в Западно-Сибирском регионе являются: ива пятитычинковая, клен татарский, черемуха обыкновенная. Приведены их экологические паспорта с уточнением следующих характеристик растений: газоустойчивость, темпы роста, жизненный цикл древесного растения.

3. Арборскультура в категории практического использования «садовые стулья» представлена пятью наиболее распространенными типами. При создании формы арборскультуры нужно учитывать композицию, масштаб, пропорции, вид древесного растения, участвующего в формировании, его особенности и условия произрастания. Необходимо проектировать форму, чтобы она зрительно была устойчивой, уравновешенной и эстетичной.

4. Рассчитаны сроки формирования основных параметров растущего садового стула в зависимости от вида древесного растения: ива пятитычинковая, клен татарский, черемуха обыкновенная.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Krubsack J.* URL: <https://www.treeshapers.net/john-krubsack> Accessed: July 21, 2021.
2. *Мурашко О.О.* Исторический анализ тенденций ландшафтного дизайна – арборскультура // Приволжский научный журнал. 2015. № 3 (35). С. 178–183.
3. *Life Art by Nirandr Boonmetr.* URL: <http://treeshapers.net/life-furniturelife-art-by-nirandr-boonmetr> Accessed: July 21, 2021.
4. *Cook P., Northey B.* 3 Methods of Tree Shaping every aspiring tree shaper should be aware of – 1 st edition. Yangan : SharBrin, 2010. 14 p. URL: <http://www.pooktre.com/extra/3/methods.html> Accessed: July 22, 2021.
5. *Block H.F.* Wir pflanzen eine Laube: bauen mit lebenden Geholzen // Staufenberg Freiburg: Auflage, 2008. 101 p.
6. *Redefining luxury with trees patiently grown into art and furniture.* URL: <http://fullgrown.co.uk> (Accessed: July 21, 2021).
7. *Смолина О.О.* Интегрирование бионических малых архитектурных форм в городской ландшафт // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2018. Т. 20. № 6. С. 87–97.
8. *Зинченко В.П.* Основы эргономики. Москва : Архитектура-С, 2005. С. 57–60.
9. *Мурашко О.О.* Технические приемы формирования объектов арборскультуры // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2015. № 3 (50). С. 34–45.
10. *Ле Корбюзье «Le Modulor I», «Le Corbusier»* / пер. с фр. Ж.С. Розенбаума. Москва : Стройиздат, 1976. URL: [http://corbusier.totalarch.com/mod\\_1](http://corbusier.totalarch.com/mod_1) (дата обращения: 23.07.2021).
11. *Обедина С.В., Быстрова Т.Ю.* Форма как основной и специфический продукт дизайна // Труды Академии технической эстетики и дизайна. 2015. № 2. С. 7–10.
12. *Кухта М.С., Соколов А.П., Сокур К.С.* Художественно-проектные решения и современные технологии арт-объектов средового дизайна // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2011. Т. 319. № 6. С. 177–181.
13. *Ковешников А.И.* Арборскультура: новая технология в ландшафтном дизайне (из опыта кафедры ландшафтной архитектуры Орловского государственного аграрного университета) // Актуальные проблемы лесного комплекса. 2016. № 46. С. 125–129.
14. *Gale B.* The potential of living willow structures in the landscape // Title of dissertation. Master's thesis. State University of New York College of Environmental. Science and Forestry Syracuse, 2011. 54 p.
15. *Колпакова М.Р., Гончар А.А., Чиндяева Л.Н., Березина Е.А.* Ландшафтная архитектура Сибири / под общ. ред. М.Р. Колпаковой. 2-е изд., доп. и перераб. Новосибирск : НГАХА, 2013. 150 с.
16. *Ask J.* Tailored Trees – Tree Shaping in a Public Environment, 2012 (15): 23 p. URL: [http://stud.epsilon.slu.se/4755/1/ask\\_j\\_120903.pdf](http://stud.epsilon.slu.se/4755/1/ask_j_120903.pdf) (Accessed: July 23, 2021).

#### REFERENCES

1. *Krubsack J.* Available: [www.treeshapers.net/john-krubsack](http://www.treeshapers.net/john-krubsack) (accessed July 21, 2021).

2. *Murashko O.O.* Istoricheskii analiz tendentsii landshaftnogo dizaina – arborskul'ptura [Tree shaping as a historical trend of landscaping]. *Privolzhskii nauchnyi zhurnal*. 2015. No. 3 (35). Pp. 178–183. (rus)
3. Life Art by Nirandr Boonetr. Available: <http://treeshapers.net/life-furniturelife-art-by-nirandr-boonetr> (accessed July 21, 2021).
4. *Cook P., Northey B.* 3 Methods of tree shaping every aspiring tree shaper should be aware of. 1st ed. Yangan: SharBrin, 2010. 14 p. Available: [www.pooktre.com/extra/3/methods.html](http://www.pooktre.com/extra/3/methods.html) (accessed: July 22, 2021).
5. *Block H.F.* Wir pflanzen eine Laube: bauen mit lebenden Geholzen. Staufenbei Freiburg: Auflage, 2008. 101 p.
6. Redefining luxury with trees patiently grown into art and furniture. Available: <http://fullgrown.co.uk> (accessed July 21, 2021).
7. *Smolina O.O.* Integrirovaniye bionicheskikh malykh arkhitekturnykh form v gorodskoi landschaft [Hardscaping integration in townscape]. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture*. 2018. V. 20. No. 6. Pp. 87–97. (rus)
8. *Zinchenko V.P.* Osnovy ergonomiki [Fundamentals of ergonomics]. Moscow: Architecture-S, 2005. Pp.57–60. (rus)
9. *Murashko O.O.* Tekhnicheskie priemy formirovaniya ob'ektov arborskul'ptury [Tree shaping techniques]. *Vestnik of Tomsk State University of Architecture and Building*. 2015. No. 3 (50). Pp. 34–45. (rus)
10. *Le Corbusier*. “Le Modulor I”, “Le Corbusier”. Moscow: Stroyizdat, 1976. Available: [http://corbusier.totalarch.com/mod\\_1](http://corbusier.totalarch.com/mod_1) (accessed July 23, 2021).
11. *Obed'nina S.V., Bystrova T.Yu.* Forma kak osnovnoy i spetsificheskoy produkt dizayna [Shape as the main and specific product of design]. *Trudy Akademii tekhnicheskoy estetiki i dizayna*. 2015. No. 2. Pp. 7–10. (rus)
12. *Kukhta M.S., Sokolov A.P., Sokur K.S.* Khudozhestvenno-proyektnyye resheniya i sovremennyye tekhnologii art-obyektov sredovogo dizayna [Artistic design solutions and modern art objects of environmental design]. *Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta. Inzhiniring georesursov*. 2011. V. 319. No. 6. Pp. 177–181. (rus)
13. *Koveshnikov A.I.* Arborskul'ptura: novaya tekhnologiya v landshaftnom dizaine (iz opyta kafedry landshaftnoi arkhitektury Orlovskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta) [Tree shaping: New landscape technology (experience of the Department of Landscape Architecture of Orel State Agrarian University)]. *Aktual'nye problemy lesnogo kompleksa*. 2016. No. 46. Pp. 125–129. (rus)
14. *Gale B.* The potential of living willow structures in the landscape. MSc Thesis. State University of New York College of Environmental. *Science and Forestry Syracuse*. 2011. 54 p.
15. *Kolpakova M.R. (Ed.), Gonchar A.A., Chindyaeva L.N., Berezina E.A.* Landshaftnaya arkhitektura Sibiri [Landscape architecture of Siberia]. 2nd ed., Novosibirsk, 2013. 150 p. (rus)
16. *Ask J.* Tailored trees – tree shaping in a public environment, 2012. 23 p. Available: [http://stud.epsilon.slu.se/4755/1/ask\\_j\\_120903.pdf](http://stud.epsilon.slu.se/4755/1/ask_j_120903.pdf) (accessed July 23, 2021).

#### Сведения об авторе

*Смолина Олеся Олеговна*, канд. архитектуры, доцент, Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин), 630008, г. Новосибирск, ул. Ленинградская, 113, [ZelenoeSt-vo@mail.ru](mailto:ZelenoeSt-vo@mail.ru)

#### Author Details

*Olesya O. Smolina*, PhD, A/Professor, Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering, 113, Leningradskaya Str., 630008, Novosibirsk, Russia, [ZelenoeSt-vo@mail.ru](mailto:ZelenoeSt-vo@mail.ru)

УДК 332.8

DOI: 10.31675/1607-1859-2021-23-6-86-97

*Н.В. ГУСАКОВА,**Томский государственный архитектурно-строительный университет*

## **ФОРМИРОВАНИЕ ОРГАНИЗАЦИОННО-ЭКОНОМИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ РАЗВИТИЯ МАЛОЭТАЖНОГО ЖИЛИЩНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА**

Исследование посвящено проблемам формирования рынка доступного жилья, повышения качества строительства с внедрением берегающих технологий, современных материалов, обеспечивающих комфортные условия проживания граждан через формирование государственной жилищной политики с целью решения важных социально-экономических задач.

Целью исследования является разработка новых региональных программ развития малоэтажного жилищного строительства, которые будут способствовать увеличению объемов вводимого малоэтажного жилья, повышению его качества и комфорта проживания, соответствию требованиям энергоэффективности и доступности на удаленных территориях особых климатических режимов для отдельных категорий граждан, занятых в социально значимых отраслях.

Разработанный подход к формированию региональных программ развития малоэтажного жилищного строительства позволит повысить эффективность регионального стратегического планирования процессов развития малоэтажного жилищного строительства за счет упорядочивания системы взаимодействий между субъектами реализации программ, в основу которого заложено формирование базовой и вариативных моделей организационно-экономического механизма развития малоэтажного жилищного строительства. С помощью этого подхода отдельные категории граждан, занятые в социально значимых отраслях, будут обеспечены недорогим, комфортным и энергоэффективным жильем на удаленных территориях особых климатических режимов.

**Ключевые слова:** организационно-экономическая модель; малоэтажное жилищное строительство; региональные программы развития жилищного строительства; формирование региональных программ; организационно-экономический механизм.

**Для цитирования:** Гусакова Н.В. Формирование организационно-экономической модели развития малоэтажного жилищного строительства // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2021. Т. 23. № 6. С. 86–97.

DOI: 10.31675/1607-1859-2021-23-6-86-97

*N. V. GUSAKOVA,**Tomsk State University of Architecture and Building*

## **BUSINESS MODEL OF LOW-RISE CONSTRUCTION DEVELOPMENT**

The paper considers the problems of affordable housing market, construction quality improvement with the introduction of saving technologies, modern materials for comfortable living conditions for citizens through the housing policy to solve important socio-economic problems.

The aim of this work is to develop new regional programs for low-rise construction, which will contribute to an increase in the volume of low-rise construction under commission, improvement of quality and living conditions, compliance with the requirements for energy effi-

ciency and accessibility in remote areas of specific climatic conditions for certain categories of citizens employed in socially significant industries.

The proposed approach to the regional program development of low-rise construction will increase its efficiency of regional strategic planning through the interaction between the subjects of the program implementation based on the formation of base and variable models of the business mechanism of low-rise construction. Using this approach, certain categories of citizens employed in socially significant industries will be provided with inexpensive, comfortable and energy-efficient houses in remote regions with specific climatic conditions.

**Keywords:** business model; low-rise construction; regional programs; business mechanism.

**For citation:** Gusakova N.V. Formirovanie organizatsionno-ekonomicheskoi modeli razvitiya maloetazhnogo zhilishchnogo stroitel'stva [Business model of low-rise construction development]. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture. 2021. V. 23. No. 6. Pp. 86–97.

DOI: 10.31675/1607-1859-2021-23-6-86-97

### Введение

В соответствии с методическими рекомендациями по разработке региональных программ развития малоэтажного жилищного строительства (МЖС), региональные программы рекомендуется разрабатывать как комплекс взаимосвязанных мероприятий, направленных на повышение доступности жилья для населения путем массового строительства стандартного жилья, в частности малоэтажного [1]. Особое внимание необходимо уделить разработке документов территориального планирования, направленных на развитие МЖС на удаленных территориях особых климатических режимов.

Однако в настоящее время нет единого порядка для разработки региональных программ развития МЖС, существуют методические рекомендации, которые содержат перечень основных мероприятий и положений, но нет конкретного правила взаимодействия для документов такого характера. В связи с отсутствием государственной системной политики в этой области целесообразным является разработка нового подхода к формированию современных региональных программ развития МЖС.

Разработка эффективной региональной программы развития МЖС для решения важной социально-экономической задачи в регионах – обеспечение жильем граждан – должна иметь комплексный подход. Наиболее массовый отток населения страны происходит именно в малых городах и поселениях, которые формируют каркас практически каждого субъекта Российской Федерации. Вместе с тем удаленные поселения особых климатических режимов представляют собой наиболее слабые, отстающие по основным социальным, демографическим и экономическим показателям территории, нуждаются не только в системной государственной политике по обеспечению жильем квалифицированных кадров, но и в четкой организации процесса застройки этих территорий. Без привлечения заемных средств жители данных территорий самостоятельно жилье построить не могут [2].

Учет вышеизложенных факторов позволяет сделать вывод о том, что для удаленных поселений особых климатических режимов необходима разра-

ботка региональных программ развития МЖС, включающих в себя новые организационно-экономические механизмы, при реализации которых будет осуществлена комплексная малоэтажная застройка, которая соответствует комфорту, безопасности, энергоэффективности, экономичности и будет соответствовать самому высокому уровню и качеству жизни.

### Методология

Предлагается следующим образом сформировать порядок по разработке региональных программ развития МЖС (рис. 1):

1. Выделение субъектов базовой модели организационно-экономического механизма.

Для разработки региональной программы развития МЖС на удаленных территориях особых климатических режимов требуется эффективное взаимодействие между всеми субъектами, которыми являются:

- а) отдельные и прочие категории граждан:
  - категории граждан, работающих в области здравоохранения, образования, спорта, работники социальных служб, категории граждан, прошедших переквалификацию;
  - категории граждан по решению местной администрации;
  - прочие граждане с возможностью приобретения жилья за собственные средства;
- б) органы государственной и муниципальной власти:
  - федеральные;
  - региональные;
  - местные;
  - региональный оператор;
- в) организации, осуществляющие весь цикл строительства и эксплуатации:
  - проектные организации;
  - строительные компании;
  - энергоснабжающие организации (производители оборудования, эксплуатирующие организации).

Рассмотрим более подробно ключевые субъекты модели организационно-экономического механизма.

В последние годы наблюдается проблема, связанная с отсутствием кадрового потенциала для социально значимых отраслей, особенно остро нехватка кадров ощущается на удаленных территориях особых климатических режимов в малых городах и поселениях. К отдельным категориям относятся граждане, работающие в области медицины, образования, культуры, спорта, проживающие в данной местности или переехавшие на данную территорию для работы по специальности и постоянного проживания. Еще одним критерием отнесения к отдельной категории являются граждане, проживающие в данной местности, прошедшие переквалификацию и устроившиеся на работу в области медицины, образования, культуры, спорта, которые решают личную задачу и нуждаются в комфортном и качественном малоэтажном жилье [3].

По решению местной администрации в эту категорию могут входить граждане, специальность которых очень востребована на данной территории,

это могут быть IT-специалисты, агрономы, ветеринары, работники социальных служб и т. д.



Рис. 1. Порядок формирования региональных программ развития МЖС

К прочим категориям относятся граждане, готовые самостоятельно приобрести жилье за счет собственных средств.

К органам государственной власти относятся органы власти всех уровней: федеральные, региональные, местные (муниципальные), которые решают социальную задачу и призваны обеспечить слаборазвитые территории необходимым жильем и специалистами отдельных отраслей.

На федеральном уровне формируются основные положения государственной политики по отношению к удаленным территориям в малых городах и поселениях, разрабатывается и реализуется долгосрочная федеральная целевая программа по модернизации и развитию МЖС для отдельных категорий граждан.

На региональном уровне формируется план действий по развитию МЖС на удаленных территориях особых климатических режимов данного субъекта РФ с целью привлечения специалистов отдельных категорий на работу; разрабатывается план реализации по обустройству территорий необходимой инженерной инфраструктурой того или иного региона.

На местном (муниципальном) уровне формируется необходимое количество специалистов отдельных категорий, нуждающихся в комфортном, энергоэффективном, соответствующего качества жилье, выбираются необходимые земельные участки под комплексную малоэтажную застройку, разрабатываются возможности по развитию и поддержке малого и среднего предпринимательства и его инфраструктуры.

Региональный оператор обеспечивает координацию деятельности государственных заказчиков по подготовке и реализации программных мероприятий, по анализу и рациональному использованию средств федерального и регионального бюджетов, а также является связующим звеном между всеми субъектами.

В последнюю группу субъектов входят все организации, осуществляющие весь цикл строительства малоэтажного дома, начиная от согласования условий проекта и заканчивая эксплуатацией объекта. Это проектные организации, строительные компании, энергоснабжающие организации (производители оборудования, эксплуатирующие организации) и т. д. Эти субъекты параллельно решают две задачи: первая задача направлена на получение прибыли от строительства домов, вторая задача является государственной и направлена на обеспечение необходимого качества и количества жилья. Субъекты этой группы должны быть максимально вовлечены в этот процесс, строить качественно и эффективно, использовать местные строительные материалы и обладать всеми необходимыми передовыми технологиями строительства [4].

2. Разработка подходов к формированию базовой модели организационно-экономического механизма (методология).

Методологический аппарат исследований процессов МЖС требует дополнения и расширения к состоянию, когда каждому этапу научного исследования будет присущ свой метод или подход, благодаря которому проведенное исследование будет более корректно и достоверно, а результаты исследования будут нацелены на выявление закономерностей развития строительной отрасли в целом и МЖС в частности [5].

В процессе исследования осуществлен анализ и оптимальный выбор методов и подходов, возможных для проведения исследования, посвященного

развитию МЖС. Для определения содержания методов и подходов в МЖС предложена их следующая классификация:

– общенаучные методы (наблюдение, сравнение, счет, измерение, эксперимент, анализ, синтез, индукция, аналогия, дедукция, моделирование, процессный (процессуальный), нормативный, количественный, административный, поведенческий, ситуационный, программно-целевой, оптимизационный, директивный, структурный);

– методы планирования и прогнозирования (экстраполяционные, сценарный, балансовый, вариантный, систематизации; экономико-математические модели и методы; оптимальная или оптимизационная модель; эвристическое моделирование);

– экономико-математические методы (математическая статистика; математическая экономия и эконометрия; методы принятия оптимальных решений, включая исследование операций; методы экономико-математического моделирования; экономическая кибернетика; методы экспериментального изучения экономических явлений – экспериментальная экономика);

– методы проектирования (эвристические; экспериментальные; формальные);

– методы экономического анализа (количественные; качественные (эвристические)).

Из выявленных методов и подходов была проведена их дальнейшая оценка для возможности использования на каждом этапе разработки региональных программ развития МЖС, отобранные методы и подходы представлены на рис. 2 [6].



Рис. 2. Методологический аппарат при разработке вариативных моделей организационно-экономического механизма развития МЖС

Для разработки нового организационно-экономического механизма развития МЖС применяются следующие методы и подходы, а именно: для разработки мероприятий по интенсификации процессов малоэтажного строительства используются методы моделирования; при оценке и обосновании организационно-экономического механизма инвестиционной деятельности в МЖС – сценарный метод и комплексный подход.

Представленный рисунок с выделением основных методов и подходов позволяет провести дальнейшее исследование. Разработка методических подходов к формированию базовой модели организационно-экономического механизма основана на невозвратности бюджетных средств, т. е. жилье в рамках региональной программы развития МЖС предоставляется бесплатно. Учитывая сложность программы и ее многоаспектность, а также в связи с применением программно-целевого метода в рамках системного подхода финансирование программы должно осуществляться в полном объеме.

3. Определение принципов формирования базовой модели организационно-экономического механизма (проектное управление).

В основе определения принципов формирования базовой модели организационно-экономического механизма развития МЖС лежит проектное управление. Проектное управление – это метод управления масштабными задачами в условиях временных и ресурсных ограничений для достижения заявленных результатов и поставленных целей.

В основе предлагаемых организационно-экономических моделей лежит принцип централизации или децентрализации в большей или меньшей степени. При централизации решения принимаются только на верхних уровнях иерархии, при этом оперативность принятия решений низкая из-за протяженных линий коммуникации. Лица, принимающие решения, хорошо представляет себе работу всей организации, но хуже информированы о ситуации в низовых подразделениях. Также обеспечена высокая согласованность принимаемых решений, устраняется дублирование, что снижает затраты, проще вводить единые правила.

При децентрализации решения принимаются только на нижестоящих уровнях, оперативность принятия решений выше, т. к. линии коммуникации короче. Лица, принимающие решения, располагают неполной информацией об организации в целом, но хорошо информированы о ситуации в низовых подразделениях [7].

Таким образом, при формировании одних моделей организационно-экономического механизма развития МЖС уместна централизация, требующая тесной координации всех подразделений и стандартизированного подхода к работе, например, когда органы власти достаточно жестко следят и контролируют процесс строительства и реализацию выделенных денежных средств. Децентрализация, напротив, относится к отношениям второго уровня и может наблюдаться между собственниками жилого помещения и различного рода компаниями.

При формировании базовой и вариативных моделей организационно-экономического механизма используются следующие принципы:

– Принцип единоначалия. Данный принцип означает предоставление руководителям организации и ее подразделений власти в объеме, необходи-

мом и достаточном для принятия управленческого решения в пределах своих полномочий.

– Принцип коллегиальности. Данный принцип основан на выработке коллективных мнений и совместного принятия решений. Ответственность и окончательное решение сохраняется за руководителем.

– Принцип экономической целесообразности. Данный принцип означает четкий объем привлеченных ресурсов, находящийся под четким контролем. Результатом деятельности является экономическая целесообразность.

– Принцип плановости. Согласно ему определяются основные направления и задачи развития организации с ее ориентацией на долгосрочные цели.

– Принцип научной обоснованности. В соответствии с ним все решения и действия должны осуществляться на базе применения научных методов и подходов, основываться на принципах науки и отвечать требованиям науки.

– Принцип сочетания прав, обязанностей и ответственности. Принцип, где каждый субъект наделяется конкретными задачами и несет за это полную ответственность.

При формировании базовой модели организационно-экономического механизма закреплены вышеизложенные принципы, время решения принимается коллегиально, взаимодействие происходит между всеми уровнями бюджетной системы (федеральной, региональной, местной). В принятии решений также принимает участие региональный оператор.

В предлагаемой базовой модели соблюдается решение крупной социально-экономической задачи – обеспечение жильем льготных и прочих категорий граждан, увязаны временные и ресурсные ограничения, таким образом, проектное управление подходит для решения поставленной задачи [8].

4. Разработка системы результатов эффективности базовой модели организационно-экономического механизма (система показателей/индикаторов).

Для оценки социально-экономического обоснования реализации вариативных моделей организационно-экономического механизма развития МЖС подразумевается разработка системы показателей/индикаторов оценки успешности реализации инвестиционно-строительных проектов.

При разработке системы индикаторов/показателей были определены названия показателей, которые имеют количественное выражение и пороговое значение. При реализации программ развития МЖС по достижению или недостижению показателя можно судить об эффективности предлагаемых программных мероприятий и они могут служить для достижения современного стандарта жилья [9].

Предлагаемая система обеспечивает учет особенностей и специфики социально-экономического развития, природно-ресурсного потенциала и климатических условий поселений, а также включает использование дифференцированного подхода в процессе выбора оптимальных объемно-планировочных и конструктивных решений малоэтажных зданий блокированного типа [10].

5. Разработка этапов практической реализации вариативных моделей от базовой модели.

Разработка базовой и вариативных моделей организационно-экономического механизма МЖС включает в себя субъектно-объектные связи, обеспечива-

ющие его сбалансированное развитие и учитывающие социально-экономические интересы участников инвестиционно-строительных проектов. Вариативные модели классифицированы на 4 типа: рыночная, децентрализованная, централизованная, социальная, различающиеся между собой степенью использования инструментов и методов государственного регулирования [11].

Также на этапе разработки вариативных моделей должна осуществляться разработка и совершенствование нормативно-правовой базы и актуализация порядка действующих нормативно-технических документов на предмет внедрения передовых технологий и установления ограничения на использование устаревших технологий в проектировании малоэтажного жилищного строительства. Наличие современных нормативных требований в строительстве позволит обеспечить структурные изменения на предприятиях промышленности строительных материалов, включая автоматизацию технологических процессов, создание конкурентных преимуществ для развития рынка с возможностью использования при строительстве малоэтажных домов местных строительных материалов [12].

Договорные отношения, возникающие между субъектами (участниками) инвестиционной деятельности, являются неотъемлемой составляющей. Субъекты обязаны выполнять прописанные в договоре поставленные обязательства (правила).

Предпроектный этап включает научно-исследовательские работы, в ходе которых получается вся информация для оценки функциональных параметров, способных повлиять на строительный процесс и эксплуатацию будущего объекта. Проектирование малоэтажных зданий включает в себя разработку проектно-сметной документации для проведения строительно-монтажных работ, обеспечивает безопасную и надежную эксплуатацию будущего объекта.

Следующим этапом является тендер, где определяется подрядчик для строительства малоэтажного здания. Далее определяется застройщик и поставщики оборудования, выполняются все СМР по проекту и производится ввод здания в эксплуатацию. Заключительный этап – эксплуатация объекта.

6. Апробационные социально-экономические и технико-экономические расчеты эффективности реализации вариативных от базовой моделей.

Заключительным этапом являются апробационные социально-экономические и технико-экономические расчеты, которые включают в себя разработанную двухуровневую методику оценки эффективности реализации проектов малоэтажного жилищного строительства, основанную на вариативных моделях организационно-экономического механизма.

1-й уровень «Социально-экономическое обоснование программных решений» включает в себя показатели обеспеченности граждан жильем; уровень обеспеченности специалистами социальной сферы; обеспеченность жильем льготных категорий граждан; коэффициент семьи; доля ветхого и аварийного жилья в структуре общего жилищного фонда; производство строительных материалов из местной природно-ресурсной базы; уровень благоустройства поселения [13].

2-й уровень «Технико-экономическое обоснование проектных решений» включает в себя расчет стоимости 1 м<sup>2</sup> построенного жилья; расчет сто-

имости содержания жилья в периоде эксплуатации здания; определение класса энергетической энергоэффективности построенных зданий; сравнение стоимости строительных материалов; разработка оптимального выбора объемно-планировочных и конструктивных решений малоэтажного дома блокированного типа [14].

Разработанная двухуровневая методика эффективности реализации проектов МЖС, основанная на вариативных моделях организационно-экономического механизма, позволяет комплексно оценивать результаты программных мероприятий.

Таким образом, в результате проведенных исследований разработан порядок формирования региональных программ развития МЖС, который является основой для разработки эффективных региональных программ развития МЖС. Он включает в себя последовательно реализуемые этапы и позволяет повысить эффективность регионального стратегического планирования процессов развития МЖС за счет упорядочивания системы взаимодействий между субъектами реализации программ, в основу которого заложено формирование базовой и вариативных моделей организационно-экономического механизма развития МЖС.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Российская Федерация. Приказы.* Об утверждении Методических рекомендаций по разработке региональных программ развития жилищного строительства : Приказ от 22 мая 2013 года № 180/ГС. URL: <https://docs.cntd.ru/document/499027553>
2. *Есина Ю.Л., Степаненкова Н.М.* Совершенствование региональной инвестиционной политики на основе комплексной программы развития сельских территорий // Экономика региона. 2021. № 1. С. 262–275.
3. *Кужлин А.А., Коробков И.В.* Выбор эффективной траектории социально-экономического развития региона // Экономика региона. 2018. № 4. С. 1145–1155.
4. *Филюшина К.Э., Гусакова Н.В., Добрынина О.И., Ярлакабов А.А., Минаев Н.Н.* О развитии малоэтажного строительства на основе фазового анализа и методов прогнозирования // Экономика строительства. 2017. № 5 (47). С. 67–78.
5. *Иванов В.А.* Особенности и направления развития села и экономики сельской территории северного региона // Проблемы развития территории. 2019. № 4 (102). С. 55–71.
6. *Filyushina K., Guskova N., Dobrynina O., Yarlakabov A., Astafyev S.* Management of investment and construction projects of low-rise building construction with account of requirements of energy efficiency // *Advances in Intelligent Systems and Computing*. 2019. V. 983. P. 174–184.
7. *Хабидуллин А.Р.* Сочетание централизации и децентрализации как принцип местного самоуправления // ВЭПС. 2007. № 3. С. 75–79.
8. *Boons F. et al.* Sustainable innovation, business models and economic performance: an overview // *Journal of Cleaner Production*. 2013. V. 45. P. 1–8.
9. *Кулов З.В.* Индикативное планирование в системе управления // Экономический анализ: теория и практика. 2010. № 16. С. 53–57.
10. *Волчкова И.В.* Индикативное планирование как инструмент прогнозирования развития городских агломераций // ПСЭ. 2013. № 4 (48). С. 287–290.
11. *Гусакова Н.В., Минаев Н.Н., Прокофьева Г.И., Ярлакабов А.А.* Разработка базовой и вариативных моделей управления развитием малоэтажного жилищного строительства в России // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2021. Т. 23. № 5. С. 37–49.

12. Шеховцева Л.С. Теоретические основы стратегического целеполагания региона // Вестник Балтийского федерального университета им. И. Канта. Серия: Гуманитарные и общественные науки. 2009. № 3. С. 20–25.
13. Бондаренко Н.Ю. К вопросу об индикативном планировании инвестиционного процесса на региональном уровне // Вестник ТИУиЭ. 2009. № 1. С. 53–58.
14. Gusakova N., Filushina K., Gusakov A., Minaev N. Approaches to optimum selection of space-planning and structural solutions of low-rise buildings // AIP Conference Proceedings. 2017. P. 050008.

## REFERENCES

1. Prikaz ot 22 maya 2013 goda N 180/GS ob utverzhdenii Metodicheskikh rekomendatsiy po razrabotke regional'nykh programm razvitiya zhilishchnogo stroitel'stva. [Order N 180/GS of May 22, 2013 "Approval of Methodological recommendations for the development of regional programs on construction]. Available: <https://docs.cntd.ru/document/499027553> (rus)
2. Yesina Yu.L., Stepanenkova N.M. Sovershenstvovaniye regional'noy investitsionnoy politiki na osnove kompleksnoy programmy razvitiya sel'skikh territoriy [Improvement of regional investment policy based on integrated program for rural area development]. *Ekonomika regiona*. 2021. No. 1. Pp. 262–275. (rus)
3. Kuklin A.A., Korobkov I.V. Vybor effektivnoy trayektorii sotsial'no-ekonomicheskogo razvitiya regiona. *Ekonomika regiona* [Effective trajectory of socio-economic development of the region]. 2018. No. 4. Pp. 1145–1155. (rus)
4. Filyushina K.E., Gusakova N.V., Dobrynina O.I., Yarlakvbov A.A., Minayev N.N. O razvitiy maloetazhnogo stroitel'stva na osnove fazovogo analiza i metodov prognozirovaniya [Low-rise construction development based on phase analysis and forecasting methods]. *Ekonomika stroitel'stva*. 2017. No. 5 (47). Pp. 67–78. (rus)
5. Ivanov V.A. Osobennosti i napravleniya razvitiya sela i ekonomiki sel'skoy territorii severnogo regiona [Directions of rural development and rural economy in northern region]. *Problemy razvitiya territorii*. 2019. No. 4 (102). Pp. 55–71. (rus)
6. Filyushina K., Gusakova N., Dobrynina O., Yarlakabov A., Astafyev S. Management of investment and construction projects of low-rise building construction with account of requirements of energy efficiency. *Advances in Intelligent Systems and Computing*. 2019. V. 983. Pp. 174–184.
7. Khabibullin A.R. Sochetaniye tsentralizatsii i detsentralizatsii kak printsip mestnogo samoupravleniya [Combination of centralization and decentralization as a principle of local self-government]. *VEPS*. 2007. No. 3. Pp. 75–79. (rus)
8. Boons F., et al. Sustainable innovation, business models and economic performance: An overview. *Journal of Cleaner Production*. 2013. V. 45. Pp. 1–8.
9. Kulov Z.V. Indikativnoye planirovaniye v sisteme upravleniya [Indicative planning in management system]. *Ekonomicheskii analiz: teoriya i praktika*. 2010. No. 16. Pp. 53–57. (rus)
10. Volchkova I.V. Indikativnoye planirovaniye kak instrument prognozirovaniya razvitiya gorodskikh aglomeratsiy [Indicative planning as a tool for forecasting of urban agglomeration development]. *PSE*. 2013. No. 4 (48). Pp. 287–290. (rus)
11. Gusakova N.V., Minaev N.N., Prokof'eva G.I., Yarlakabov A.A. Razrabotka bazovoi i variativnykh modelei upravleniya razvitiem maloetazhnogo zhilishchnogo stroitel'stva v rossii [Development of basic and variable models for development control for low-rise housing in Russia]. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture*. 2021. V. 23. No. 5. Pp. 37–49. (rus)
12. Shekhovtseva L.S. Teoreticheskiye osnovy strategicheskogo tselepolaganiya regiona [Theoretical foundations of regional strategic goal-setting]. *Vestnik Baltiyskogo federal'nogo universiteta im. I. Kanta. Seriya: Gumanitarnyye i obshchestvennyye nauki*. 2009. No. 3. Pp. 20–25. (rus)
13. Bondarenko N.Yu. K voprosu ob indikativnom planirovanii investitsionnogo protsessa na regional'nom urovne [Towards indicative planning of the investment process at the regional level]. *Vestnik TIUie*. 2009. No. 1. Pp. 53–58. (rus)

- 
14. *Gusakova N., Filushina K., Gusakov A., Minaev N.* Approaches to optimum selection of space-planning and structural solutions of low-rise buildings. *AIP Conference Proceedings*. 2017. P. 050008.

**Сведения об авторе**

*Гусакова Наталья Васильевна*, ст. преподаватель, Томский государственный архитектурно-строительный университет, 634003, г. Томск, пл. Соляная, 2, gusakovanata@mail.ru

**Author Details**

*Natalia V. Gusakova*, Senior Lecturer, Tomsk State University of Architecture and Building, 2, Solyanaya Sq., 634003, Tomsk, Russia, gusakovanata@mail.ru

УДК 711.4.01

DOI: 10.31675/1607-1859-2021-23-6-98-116

*О.Г. ЛИТВИНОВА,**Томский государственный архитектурно-строительный университет*

### **ПРИБРЕЖНАЯ СИСТЕМА РАССЕЛЕНИЯ РЕКИ АНГАРЫ В XVII–XXI ВВ. В КОНТЕКСТЕ СТРАТЕГИЧЕСКОГО ПЛАНИРОВАНИЯ\***

Одной из современных фундаментальных градостроительных задач является изучение свойств систем расселения. В отечественной и зарубежной историко-градостроительной науке расселение исследуется согласно иерархии пространственного размещения населенных пунктов. Малые и средние населенные пункты рассматриваются как элементарные низовые единицы в контексте крупных городов, их структура и процессы формирования не исследованы. Соответственно их редко принимают во внимание при разработке стратегических программ развития регионов. В настоящей статье предложен метод градостроительной ретроспективы, который позволил выполнить глубокий и широкомасштабный анализ прибрежной системы расселения р. Ангары с учетом деревень и сел.

Материалы представленного исследования опираются на картографические источники, созданные в структурах государственных учреждений, деятельность которых зависела от статистических данных: Министерство внутренних дел, Министерство земледелия, Министерство путей сообщения. Сравнительный анализ источников позволил смоделировать и выявить систему расселения с учетом малых поселений в прибрежной зоне р. Ангары разных периодов. Значимыми результатами являются разновременные количественные данные малых поселений, т. к. они, как правило, не попадают в круг интересов современных исследователей-градостроителей.

**Ключевые слова:** история градостроительства; система расселения; Восточная Сибирь; теория архитектуры; стратегическое планирование.

**Для цитирования:** Литвинова О.Г. Прибрежная система расселения реки Ангары в XVII–XXI вв. в контексте стратегического планирования // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2021. Т. 23. № 6. С. 98–116.

DOI: 10.31675/1607-1859-2021-23-6-98-116

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

### **SETTLEMENT SYSTEM IN THE ANGARA COASTAL AREA IN THE 17th–21st CENTURIES IN TERMS OF STRATEGIC PLANNING**

One of the fundamental urban planning tasks is currently a study of the settlement system properties. In Russian and foreign historical and urban planning science, settlement is studied according to the hierarchical location of settlements. Small and medium-sized settlements are considered as elementary lower units of large cities, their structure and formation processes are not studied. Accordingly, they are rarely considered in elaborating strategic programs of the regional development. The paper proposes the urban retrospective method, which provides a deep and large-scale analysis of the settlement system in the coastal area of the Angara River.

---

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

Research is based on the cartographic sources developed by governmental institutions whose the activity depends on statistical data. Here belong Ministry of Internal Affairs, Ministry of Agriculture, Ministry of Railways. The comparative analysis of the sources provides modeling and identification of the settlement system with respect to small settlements in the coastal area of the Angara River in different periods. Significant results include the quantitative data on small settlements, since they are not interesting to urban planners of today.

**Keywords:** settlement; urban planning; historical settlements; Eastern Siberia; the Angara river.

**For citation:** Litvinova O.G. Pribrezhnaya sistema rasseleniya reki Angary v XVII–XXI vv. v kontekste strategicheskogo planirovaniya [Settlement system in the Angara coastal area in the 17th–21st centuries in terms of strategic planning]. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture. 2021. V. 23. No. 6. Pp. 98–116. DOI: 10.31675/1607-1859-2021-23-6-98-116

### **Введение**

Стратегическое планирование – это один из основных методов, на который опирается современная градостроительная наука. Особенность этого подхода, в рамках перспективного развития городских структур, заключается в применении его на базе уже существующего поселения или в результате организации ресурсодобывающего либо перерабатывающего предприятия. Поставив «фактический диагноз» населённому пункту (иногда это бывают отдельные области и регионы), участники стратегического планирования разрабатывают сценарии будущего, взвешивая и анализируя перспективы. Но на разных стадиях градостроительной деятельности с населённым пунктом происходят разнообразные метаморфозы, при этом, как правило, в результате ранее реализованных стратегий. Бессмысленно планировать потенциал региона, не понимая причин пройденных циклов градостроительного развития, этапов его экономических и территориально-административных преобразований, не учитывая социокультурную эволюцию его населения.

Системы расселения Сибири наглядно демонстрируют, что административно-территориальное деление представляет собой механически нанесенную сетку границ, которую можно изменять, никак не влияя на ее суть. Рисунок сибирской сети населённых пунктов возник и развивался на законах взаимодействия человека и природы, не обращая особого внимания на картографические приемы деления. Но при детальном ретроспективном рассмотрении наглядно выступают процессы уникальных коренных преобразований, которые проводились в рамках государственных программ. Объективная оценка потенциала поселения, без повторения прошлых ошибок, возможна только при выявлении результатов таких мероприятий. Поэтому прежде чем выстраивать сценарии будущих градостроительных преобразований, следует более детально, методом градостроительной ретроспективы, рассматривать особенности той системы расселения, в структуре которой находится предмет стратегического планирования. Наиболее интересным примером градостроительных преобразований в Сибири является Ангарская прибрежная система расселения<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> Под прибрежной системой расселения подразумевается функционально взаимосвязанная сеть населённых пунктов, которая сформировалась на рубеже XVII–XVIII вв. вдоль Обь-Енисейского

Представленное в настоящей работе исследование находится в сфере стратегической цели – создание устойчивой градостроительной и экономической среды с равными возможностями для жителей Сибирского региона. Реализация такой цели возможна, но только при преодолении дисперсной формы расселения. Причиной дисперсности традиционно называют холодный климат и отсутствие транспортных сообщений. Однако это не так! Такие явления, как климат и дорожная инфраструктура, точнее ее состояние, являются тем самым «фактическим диагнозом» и не имеют ничего общего с понятием «причина».

Анализ рисунка расселения относительно климатических изотерм показывает, что дисперсная форма развивается в зонах с низкими летними температурами: от +18 и ниже. Причиной этого является невозможность вызревания кормовых культур за короткий летний сезон. Поэтому население преимущественно ведет промысловые виды деятельности, при которых компактность расположения населенных пунктов не требуется. Охотничьи и рыбные угодья равномерно распределяются среди жителей, а сам характер этой деятельности способствует полуоседлому образу жизни: летом – в городе, зимой – на промыслах. Компактность не требуется и при добыче полезных ископаемых.

Отсутствие транспортных сообщений также не является причиной дисперсности систем расселения, поскольку транспортное сообщение подразумевает наличие какой-либо селитебной зоны. Здесь можно привести массу примеров, таких, например, как сеть лесных просек, проложенных в зонах вырубki лесных участков. Как только участок выбран, дорога перестает существовать, ею никто не пользуется. Прекрасным примером служит заброшенная сеть проселочных дорог вдоль р. Ангары, которая не попала в зону затопления, но при этом лишилась своих основных пунктов назначения.

Материалы ретроспективного анализа прибрежной системы расселения р. Ангары достаточно наглядно демонстрируют зависимость дисперсной формы расселения не только от климатических условий, но в первую очередь от градостроительной политики государства в целом.

### **Материалы исследования**

Закрепление русских поселений в прибрежной полосе р. Ангары произошло в конце XVII в. Большая часть рукописных источников содержит информацию, дающую общее описание их географического места расположения без конкретных топографических привязок. Путевые описания Г.Ф. Миллера XVIII в. представляют наиболее комплексный объем знаний о расположении и составе русских селений по всей Сибири [1]. В его записках о р. Ангаре сеть населенных пунктов представлена только частично, по описаниям местных жителей, т. к. сам он путешествовал по р. Енисею. Но при сопоставлении этих данных с картами из Чертежной книги Сибири, а также Хорографической книги Сибири С.У. Ремезова мы видим, что Г.Ф. Миллер пользовался достоверными сведениями, создавая описание Нижнего Приангарья.

Карты С.У. Ремезова являются наиболее ценным материалом в вопросах изучения эволюции системы расселения на р. Ангаре [2, 3]. Все населенные

---

водного пути от г. Тюмени до г. Кяхты. Выделение на территории Сибири отдельных систем расселения по бассейнам рек обусловлено принципиальным отличием прибрежного ландшафта.

пункты Ремезов разделил на три основные группы: города (т. е. грады), остроги и другие мелкие поселения, в которые входили слободы, деревни, заимки и монастыри. Города и остроги изображены в достаточно достоверном виде, показаны крепостные башни, церкви, дома. Малые поселения обозначены символическими домиками, а кочевья – палатками. Поскольку С.У. Ремезов пользовался разновременными данными, то в условных обозначениях нескольких острогов и городов есть небольшие расхождения от реальных хронологических рамок [4].

В конце XVII в. на р. Ангаре картограф зафиксировал главный город Иркутск, сеть острогов: Рыбинский, Братский, Яндинский, Балаганский, Индинский, Кудинский. Что касается более мелких населенных пунктов, то на Ангаре было организовано 7 средних поселений, к ним относились 4 монастыря (2 – в верхнем течении реки, 1 – в среднем и 1 – в нижнем) и 3 слободы. Деревни были основной единицей в сети расселения, всего их было 58, тунгусских и бурятских стойбищ – 29, одна заимка и часовня – в районе Кежемского монастыря, и еще одна часовня – в истоке р. Ангары. Всего к концу XVII в. в прибрежной полосе Ангары сеть русских поселений включала 104 единицы расселения, которые сформировали 29 компактных групп (рис. 1). Эти группы образовывались преимущественно в иерархической структуре на локальных участках, пригодных для земледелия. Населённые пункты организовывались на расстоянии от 4 до 8 км, а максимально удаленные друг от друга – на расстоянии 16–18 км. На основании полученных сведений была построена модель системы расселения XVII в., которая позволила исследовать радиусы доступности населенных пунктов внутри компактных групп.

Взаимосвязи были выявлены исходя из наличия межселенческих дорог, ареала расположения деревень, заимок в радиусе территориальной доступности, который основывался на существовавших тогда средствах передвижения. При этом визуальный анализ сети показал, что поселения в бассейнах рек располагались, как правило, локально и существовали во взаимосвязи с малыми центрами притяжения в виде острогов (рис. 2).

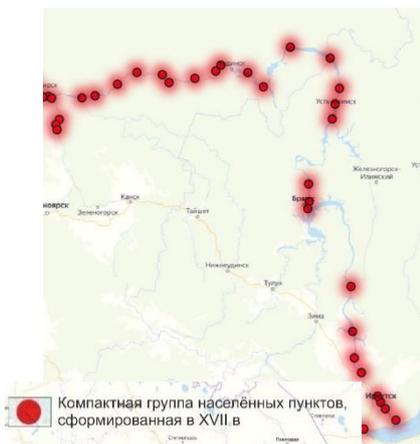


Рис. 1. Схема пространственного распределения групп населённых пунктов в прибрежной полосе р. Ангары. XVII в. Автор О.Г. Литвинова



Рис. 2. Схема расположения центральных мест притяжения XVII в. (города, остроги). Автор О.Г. Литвинова

Одинокных деревень и заимок на картах было обнаружено крайне мало, все русские поселения имели «соседа» или были расположены в структуре стойбищ коренных жителей. Подобная структура «соседства» была выявлена в Обь-Иртышской прибрежной системе расселения [5, 6].

Расположение выявленных групп поселений в русле р. Ангары первоначально было неоднородным. В нижнем течении они располагались более компактно, с центрами притяжения в районе Рыбинского и Кежемского острогов (рис. 3). В верховье центром притяжения был г. Иркутск (рис. 4). На средней Ангаре поселения располагались дисперсно, вокруг Братского острога, сеть мелких деревень обслуживала торговые караваны, шедшие через знаменитые пороги и шиверы (рис. 5).



Рис. 3. Расположение поселений в русле р. Ангары, в районе Рыбинского острога. XVII в. Автор О.Г. Литвинова

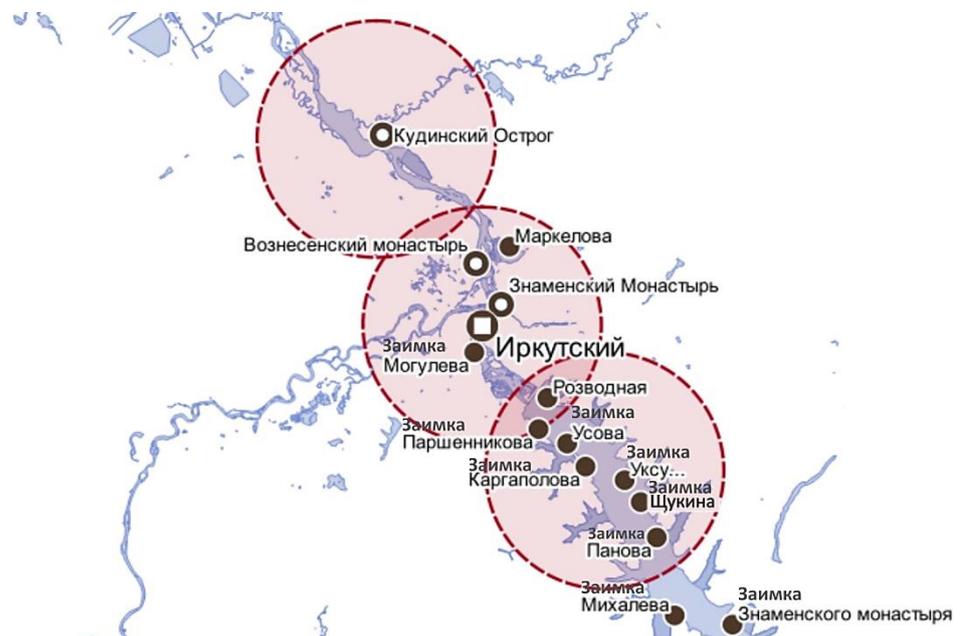


Рис. 4. Расположение поселений в русле р. Ангары, в районе г. Иркутска. XVII в. Автор О.Г. Литвинова



Рис. 5. Расположение поселений в русле р. Ангары, в районе Братского острога. XVII в.  
Автор О.Г. Литвинова

Таким образом, один из первых картографических источников Сибири показал нам не только местоположение отдельных населенных пунктов, но и природные ресурсы, которые являлись основным мотивом при организации первой русской системы расселения.

Классификация поселений XVII в. на р. Ангаре по картам С.У. Ремезова и данным Г.Ф. Миллера включала следующие виды: град, городище, острог, монастырь, погост, слобода, село, деревня, административная деревня, заимка, церковная заимка, юрты. В целом классификация была представлена по формам расселения, т. е. по 12 функциональным признакам, а не по той классической типологии, которую мы увидим на картах конца XVIII в., ориентированных на численность населения и административный статус.

Крупномасштабные административно-территориальные изменения в статусе и границах российских губерний середины XVIII в. (губернская реформа Екатерины II) в Сибири стали заметны только в начале XIX в. Благодаря этой задержке сегодня мы имеем ценнейший картографический материал для изучения системы расселения Восточной Сибири XVIII в. по картам генерального межевания. В этот период схема расположения центральных мест притяжения (городов, острогов, крепостей) изменилась в сторону их численного увеличения (рис. 6, 7). Все бывшие остроги и города сохранили свой статус и зоны влияния, но часть из них в конце XVIII в. была выделена в губернские, уездные и заштатные города. В XVIII в. система поселений дополнилась новыми группами деревень и сел, преимущественно на свободных территориях, в русле р. Ангары (рис. 8). Радиусы взаимосвязей, иерархия новых селений, несмотря на разнообразие ландшафтов, были идентичны группам, образованным в XVII в. Дисперсная форма расселения в Восточной Сибири начала приобретать черты компактной. В прибрежной полосе общее количество населенных пунктов увеличилось значительно.



Рис. 6. Схема расположения центральных мест притяжения XVII в. (города, остроги). Автор О.Г. Литвинова



Рис. 7. Схема расположения центральных мест притяжения XVIII в. (города, остроги, крепости). Автор О.Г. Литвинова

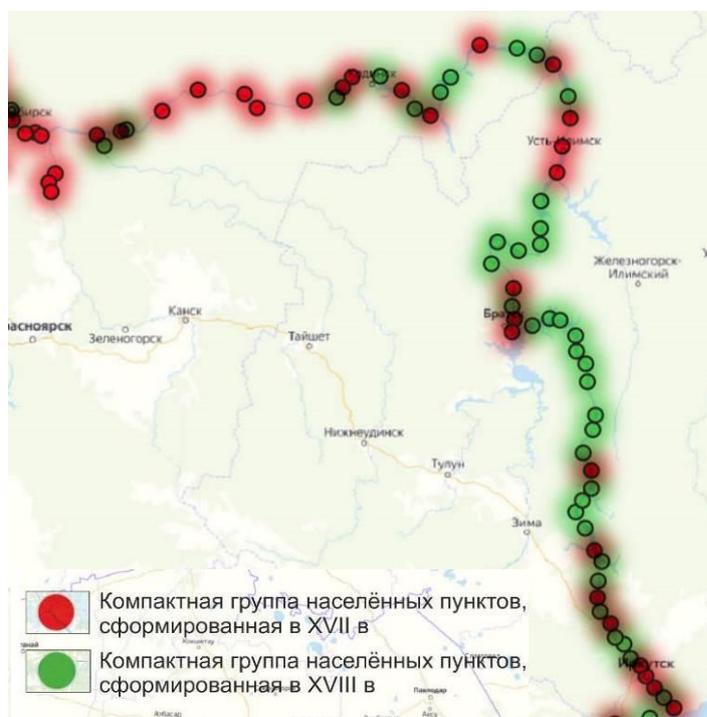


Рис. 8. Схема пространственного распределения групп населённых пунктов в прибрежной полосе р. Ангары. Автор О.Г. Литвинова

Природный ландшафт определил рисунок новой сети населенных пунктов в XVIII в. Пойменные террасы р. Ангары и её притоков в высоту составляют от 5 до 8 м. Именно в этих высотах сформированы почвы, пригодные для земледелия, а значит, и для жизнедеятельности человека.

В нижнем течении поселения расположились в самой пойме реки, на узких каменистых уступах с достаточно выразительным рельефом. В среднем течении новое поселение освоило уникальный речной ландшафт, который включал большое количество выступающих скульптурных островов, по ширине они равнялись и даже превышали само русло реки. Новые поселения в XVIII в., так же как в XVII в., организовывались вблизи наиболее доступных природных ресурсов: охотничьих угодий, богатых рыбных промыслов, пастбищ, земель, пригодных для земледелия и добычи природных ископаемых.

В целом прибрежная система расселения развивалась двумя путями. Первый путь – это уплотнение компактных групп, сформировавшихся в XVII в., а второй – это создание новых селитебных участков. Значительная часть новых населенных пунктов была построена в русле р. Ангары, но из этого числа выделяются деревни, расположенные на островах в среднем течении, от Братского до Индинского острога (рис. 9, 10).

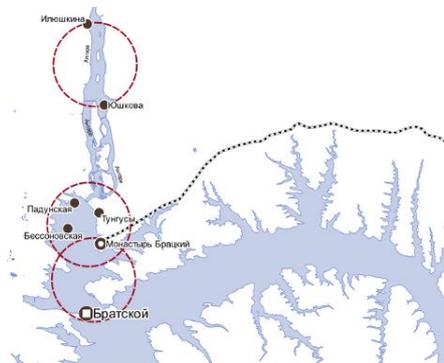


Рис. 9. Схема расположения населенных пунктов вокруг Братского острога в XVII в. Автор О.Г. Литвинова

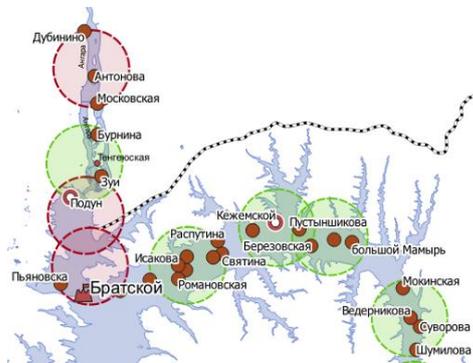


Рис. 10. Схема расположения населенных пунктов вокруг Братского острога в XVIII в. Автор О.Г. Литвинова

Классификация поселений р. Ангары к концу XVIII в. несколько отличается от типологического набора поселений Тобольской и Томской губерний именно по причине того, что реформа только началась, поэтому здесь перемешалась функционально-иерархическая классификация с нормированной типологией. В общий перечень типологии входили: губернские города, уездные города, заштатные города, города-заводы, остроги (как опорные пункты), крепости, монастыри, слободы, села, административные села, деревни, заимки, рабочие заимки, зимовья, станции, юрты, улусы. Деревня, как самый многочисленный вид населенного пункта, оставалась без градаций и нормирования.

Восемнадцать типов поселений против двенадцати функциональных форм XVII в. демонстрируют расширение сфер жизнедеятельности населения Сибирского региона, а также переход от функциональной к нормированной типологии.

Экономический потенциал Восточной Сибири в XVIII в. значительно возрос во многом благодаря развитию аграрной и горнодобывающей отрасли, это привело к активизации речных транспортных сообщений. Сибирский

тракт на тот момент эксплуатировался в основном в зимнее время, т. к. в летний сезон его содержание осложнялось распутицами и отсутствием рабочей силы для его ремонта [7].

Ангарская система расселения в численном отношении выросла в два раза. Всего к началу XIX в. здесь сформировалась 241 единица расселения, из них: 1 город, 3 острога, 4 крепости, 18 сёл, погостов, монастырей, слобод, 185 деревень, 20 заимок и 10 станций, организованных на Сибирском тракте в прибрежной полосе реки.

Губернская реформа Екатерины II реализовывалась на основании опыта центральных губерний. Она не предполагала организации новых селитебных зон, сеть населённых пунктов должна была преобразоваться согласно направлению экономического развития государства. Определяющее значение в создании иерархии населённых пунктов имели личные качества и амбиции наместников, на которых лежала ответственность по преобразованию систем расселения. Вероятно, по этой причине решения, принятые относительно статусов населённых пунктов в Сибири, не принесли должного эффекта [8].

Результаты предпринятых действий по-прежнему явно выступают при анализе планов городов, они сохранились в виде главных принципов проектирования, заложенных 200 лет назад. Предполагался отказ от функциональной структуры поселений, чтобы добиться формирования доступной социально-бытовой среды. Были разработаны подходы для проектирования сети улиц и благоустройства населённых мест таким образом, чтобы снизить уровень преступности, обезопасить от пожаров и наводнений, обеспечить санитарно-гигиенические условия для предотвращения эпидемий оспы и холеры. Впервые были разработаны перечни обязательной инфраструктуры в зависимости от административно-территориального статуса поселения. Совершенно очевидно, что в основе современного облика населённых пунктов и их градации лежит реформа Екатерины II. Однако результат от территориального преобразования относительно всей системы расселения Обь-Енисейского водного пути наглядно демонстрирует ее некорректность в той части, каким образом определялась дифференциация городских поселений. Механичность подхода заключалась в нормировании населённых пунктов по численности жителей, без анализа общей «людности» и пространственного распределения населения по всей территории. Рыбинский, Богучанский и Чадобский остроги, которые являлись малыми функциональными центрами для ангарских поселений, были упразднены до статуса сёл, как и большинство центральных мест притяжения, где наблюдалась естественная дисперсность, свойственная промысловым видам деятельности населения.

Еще одним недостатком реформы являлось представление о том, что в деревнях и малых селах нет необходимости создавать социально-бытовую инфраструктуру. В результате финансирование на образование и медицину стало концентрироваться в городах и крупных селах, что развивало значительный контраст по условиям жизни.

Практически одновременно с началом реализации губернских реформ в Сибири начался целый век переселенческих «кампаний» (в наше время этот процесс назвали бы государственной целевой программой). Результаты каж-

дой реализованной «кампании» следует изучать отдельно, поскольку организационные решения принципиально отличались и зависели от личных качеств тех государственных деятелей, которые являлись их авторами.

В итоге прибрежная система поселений на Нижней Ангаре вступила в этап стагнации, т. к. социально-бытовая и административная инфраструктура отсутствовала на расстоянии от г. Енисейска до г. Балаганска, а это более тысячи километров. Территориальное расширение сети населенных пунктов остановилось, новые поселения создавались, но за счёт уплотнения и слияния существовавших ранее. В результате в первой половине XIX в. на р. Ангаре было упразднено 6 острогов – малых центральных мест притяжения населения (рис. 11, 12). Именно по этой причине в первой половине XIX в. в Восточной Сибири появились первые признаки урбанизации, а сеть поселений стала приобретать более компактный рисунок в верхней части р. Ангары. В середине XIX в. увеличение золотодобычи в Восточной Сибири активизировало внутреннюю миграцию населения между губерниями и, как следствие, перераспределило население относительно природных ресурсов региона. Основная часть ссыльных, назначенных на поселение в трудно осваиваемые районы Кетского водораздела, переселялась на заработки в Восточную Сибирь [6].



Рис. 11. Схема расположения центральных мест притяжения XVIII в. (города, остроги, крепости). Автор О.Г. Литвинова

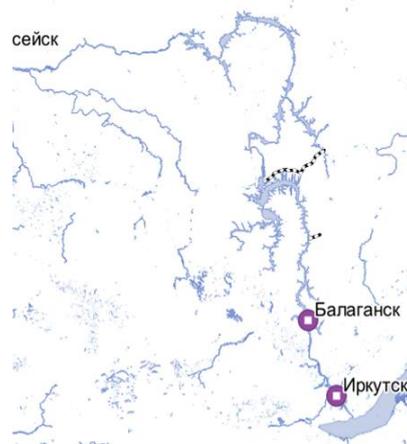


Рис. 12. Схема расположения центральных мест притяжения XIX в. (города). Автор О.Г. Литвинова

Согласно правительственным планам, аграрная реформа к началу XX в. должна была уплотнить систему расселения Сибири, в том числе и на р. Ангаре. Переселенческие участки были сформированы на трассе водного пути именно в тех местах, где к концу XIX в. располагались незаселенные земли. Однако к 1907 г. местная администрация не смогла реализовать требуемое размежевание земель. В связи с этим большое количество прибывших переселенцев предпочло селиться в более пригодных для земледелия районах Алтайского и Минусинского края [9]. Не менее важен тот факт, что прибывших переселенцев стали подселять к старожилам, урезая имеющиеся земельные наделы.

В прибрежной зоне Енисея и Ангары, где массивы каменистых холмов чередуются с низинными болотами, удобных для земледелия и скотоводства земель было немного. Свободных плодородных почв в низовьях р. Ангары практически не осталось. По этой причине выделенные переселенческие участки с неудобными землями остались невостребованными, а при подселении новых жителей к старожилам возникала серьёзная конфронтация. Крестьянские общины отказывались согласовывать межевые планы. Аграрная реформа, несомненно, увеличила общую численность населения Сибири, но существенно не повлияла на развитие системы расселения вдоль р. Ангары (рис. 13).

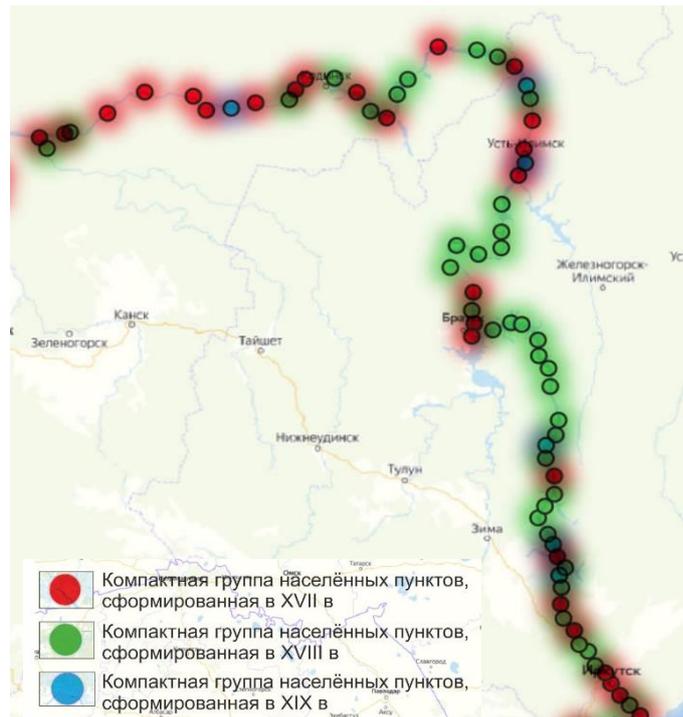


Рис. 13. Схема пространственного распределения групп населённых пунктов в прибрежной полосе р. Ангары. Автор О.Г. Литвинова

В конце XIX в. правительство осознавало, что экономическое развитие Сибири, помимо увеличения числа ее жителей, зависит и от транспортного сообщения между регионами. Поэтому в 1882 г. было принято решение о создании единой судоходной речной системы, которая должна была стать связующим звеном между Северным морским путем и будущей Транссибирской железнодорожной магистралью. Экономика речных систем расселения должна была усилиться после строительства Обь-Енисейского канала. Новый торговый путь должен был изменить хозяйственный вид деятельности местного населения в сторону его обслуживания. Однако сокращение финансирования на содержание и техническое развитие гидротехнических сооружений не позволило в начале XX в. запустить запланированные торговые транзиты. Та же

ситуация была и на р. Ангаре, улучшение ее судоходных условий было полностью остановлено из-за Первой мировой войны [10].

В XIX в. на прибрежных территориях р. Ангары сформировалось всего 5 новых компактных групп поселений (рис. 13). Территориально они возникли вблизи центральных мест притяжения и имели ту же структуру с радиусами взаимодействия, которые были выявлены на основе схем расселения XVII–XVIII вв. Очевидно, что форма размещения и сама структура компактных групп как явление определялись особенностью многообразия видов деятельности, зависимых от сибирского климата в целом, ландшафта речных бассейнов, а также от национальных традиций.

По результатам составления схемы сети поселений XIX в. в прибрежной зоне р. Ангары было выявлено 230 населенных пунктов: 2 города, 28 сел, слобод и монастырей, 196 деревень (в это число вошли улусы осевших бурят), 4 выселок в районе г. Балаганска (рис. 14).

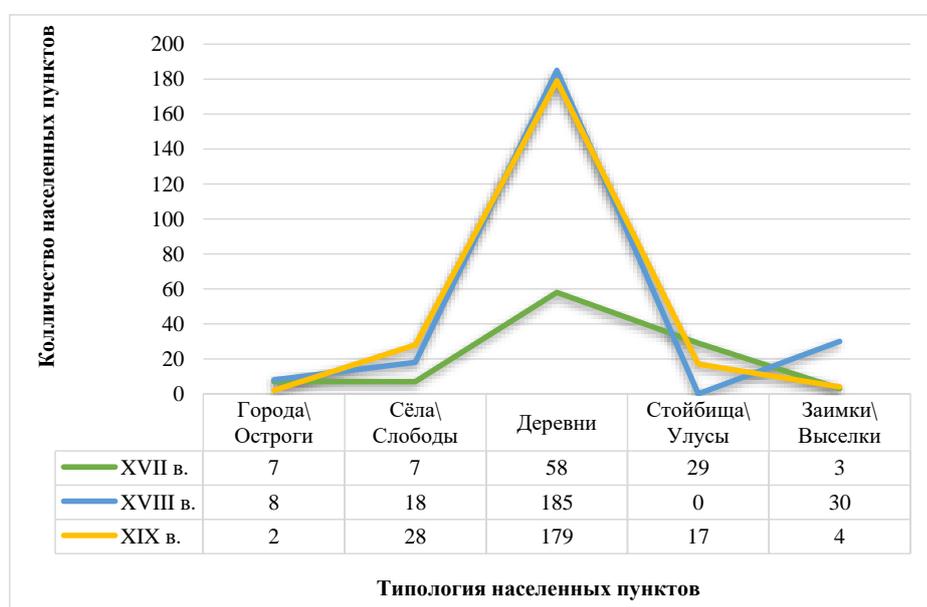


Рис. 14. Сводный график количественного распределения населенных пунктов относительно их типологии в период с конца XVII до конца XIX в.

За столетний период Ангарская система расселения утратила 11 населенных пунктов, при этом количество населения возросло. Типологический ряд сократился до 8 типов, в этот перечень были включены: губернский город Иркутск, уездный город Балаганск, монастыри, слободы, села, волостные села, деревни, улусы. Самой распространенной единицей в сети населенных пунктов по-прежнему являлась деревня. В верховьях р. Ангары бурятское население сформировало сеть оседлых улусов, за счет чего общее количество поселений коренных жителей увеличилось.

В XIX в. на территориях Верхнего, Среднего и Нижнего Приангарья система расселения развивалась неоднородно. Население перераспределялось

относительно центральных мест, концентрируясь в Иркутске и Балаганске, обладавших статусами городов, а также в селах, где частично стала создаваться социально-бытовая инфраструктура. Ретроспективный анализ тепловых карт по концентрации населенных пунктов наглядно демонстрирует влияние центров притяжения населения в виде городов (рис. 15, 16). Но при этом внутри расселенческих групп преобладали процессы перераспределения земельных ресурсов. Совсем мелкие деревни, расположенные по соседству, объединялись в более крупные, заимки формировались в деревни, а села расширялись за счет развития ремесленных видов деятельности либо строительства небольших заводов. Увеличение численности населения не оказало существенного влияния на создание новых селитебных зон, что свидетельствует о несовершенстве нормативного подхода к вопросам развития систем расселения Сибирского региона.



Рис. 15. Теплокарта концентрации населенных пунктов вокруг центров притяжения в XVIII в. Автор О.Г. Литвинова



Рис. 16. Теплокарта концентрации населенных пунктов вокруг центров притяжения в XIX в. Автор О.Г. Литвинова

Сравнение схем расселения трех веков наглядно демонстрирует неоднородность процессов изменения рисунка сети населенных пунктов. Активность в перераспределении ресурсов, прирост населения, увеличение числа жителей, создание новых селитебных зон происходили преимущественно в южных широтах водного пути. Но и в северных широтах сеть населенных пунктов существовала достаточно устойчиво, она имела иную форму и качества, но жила и развивалась в соответствии с природно-климатическими особенностями. Напомним, что нормированный подход губернской реформы XVIII в. являлся административно-управленческим решением, которое базировалось на уже сложившейся сети расселения. Этот подход был применен для всей территории Сибири без учета региональных, ландшафтных и климатических особенностей.

Анализ современного состояния населенных пунктов, проведенный во время полевых исследований, позволил зафиксировать все последующие хронологические этапы преобразования малых и средних поселений вдоль р. Ангары.

Главным изменением в первой половине XX в. было само отношение к деревне и селу как к важному элементу экономики государства. Причиной

послужила ситуация, когда сеть малых населенных пунктов (сегодня это «низкая единица расселения») перестала функционировать – это был период Гражданской войны. Именно с крахом царской власти и объявлением повсеместных свобод среди сельского населения началась массовая миграция в города. Этот процесс привел к стремительному снижению посевных площадей зерновых и кормовых культур, что практически уничтожило животноводство. В двадцатых годах с исчезновением кормов, мясной продукции и хлеба в стране начался голод. Молодой советской власти пришлось «кнутом» и исключительно жестокими мерами возвращать крестьянина «на землю» для того, чтобы предоставить пищевой промышленности первичное сырье [11].

История градостроительного развития малых поселений в XX в. связана с экономической историей Сибири. В довоенные годы в деревнях были организованы колхозы, достаточно примитивные хозяйства, позволявшие в равных долях обеспечивать население. Для этого нововведения потребовались дополнительные постройки, с совершенно новой типологией. Разумным решением было ввести разные виды коллективных хозяйств, которые соответствовали территориальным ресурсам, где размещались поселения. Поселения в северных широтах сформировали охотничьи и лесозаготавливающие колхозы, в южных широтах – земледельческие и животноводческие. Одновременно с преодолением экономического кризиса в малых и средних поселениях была организована минимальная социально-бытовая инфраструктура. Такой подход качественно изменил систему расселения. Сеть мелких поселений была включена в экономику через производственные тресты. Предприятия были обязаны самостоятельно вести капитальное строительство жилья и общественных зданий, выделяя часть средств из своих доходов. Постепенно устройство инфраструктуры остановило массовые потоки миграции, в результате чего начали формироваться новые малые центры притяжения [12].

Ангарская система расселения в первой половине XX в. дополнилась новыми посёлками, в районе нижнего Приангарья. Это были специальные (трудо-вые) поселения ГУЛАГа. Анализ их планировки и застройки показал, что на разных этапах развития архитектурного проектирования и градостроительства были приняты своеобразные решения. Например, в поселениях, датируемых по своему возникновению до середины XX в., продемонстрировано стремление минимизировать площадь селитебной зоны, а инфраструктуру создать более компактную. Большое значение имели предприятия лесозаготовительной и лесоперерабатывающей отраслей, они оказывали влияние не только на экономику поселения, но и на планировочную структуру улиц. Функциональные модели этих маленьких поселений демонстрируют теснейшую связь между экономикой и градостроительством и то, насколько неразрывны процессы их взаимодействия.

Среднее и Нижнее Приангарье необходимо рассматривать в совокупности с историей строительства крупнейшего в России каскада ГЭС. В конце 1940-х гг. было принято решение развивать на территории Восточной Сибири энергоёмкую промышленность, химическую, алюминиевую, горнорудную.

Комплекс гидроэлектростанций изначально предполагал всего 7 ступеней и водохранилищ. В настоящее время в эксплуатацию введены 4. Проектированием гидроэлектростанций занимался институт «Гидропроект». Реализацией

строительства занимались специально созданные строительные управления, они же отвечали за подготовку ложа водохранилищ и переселение жителей.

Утрата исторической системы поселений проходила в соответствии с этапами строительства и ввода в эксплуатацию ступеней гидроэлектрокомплекса. В качестве компенсации при организации водохранилищ были возведены новые поселки. Жителям деревень, попадавших в зону затопления, предлагалось несколько вариантов: переселение в город с получением квартиры, переселение в заранее построенные новые поселки, подселение в населенные пункты, не попавшие в зону затопления. Жителей из мелких деревень объединяли в новые, более укрупненные поселения.

Все населенные пункты, построенные в результате грандиозного проекта Ангарского каскада, представляют небольшие компактные поселки с изначально качественно разработанной функциональной моделью и удобной планировочной структурой.

Ландшафтная основа выбрана на равнинной местности, без резких перепадов высотных отметок. Во всех поселениях присутствует бытовая инженерная инфраструктура. Социальная сфера полностью обеспечивала потребности населения. Но, несмотря на все удобства, они явно контрастируют на фоне исторических поселений. Здесь отсутствуют градостроительные доминанты, разнообразие в художественных формах застройки, что создаёт впечатление однообразия, которое сами жители активно подчеркивают. При интервьюировании жители всегда делали акцент на том, откуда они родом, и постоянно упоминали те места. Очевидно, что за последние 50 лет люди до сих пор не могут назвать эти поселки своим родным домом. Хотя, казалось бы, переехали они всего лишь за 5–6 км от своего места рождения.

В конце XX в. Ангарская прибрежная система расселения насчитывала 172 населённых пункта (рис. 17, 18). Из них 100 возвели в XX в.: 16 – в низовье Ангары; 94 поселения построили в качестве компенсации. Затоплено было 200 исторических поселений, в это число вошло 176 деревень, 23 села и город, включая населенные пункты в районе Богучанской ГЭС, они исчезли в конце XX в. Всего в начале XXI в. в прибрежной полосе Ангары размещено 172 поселения: 7 городов, 33 села, 35 деревень, 84 поселка и 13 заимок.

Деревни и поселки по-прежнему являются преобладающей единицей расселения в Сибири. Их процентное соотношение стабильно относительно других типов поселений. Но стоит обратить внимание на то, что средние по величине населенные пункты, такие как села, неизменно растут в количественном отношении, тогда как деревни стабильно уменьшаются в своем числе, а типология города в каждом столетии зависит от личных представлений реформаторов. Таким образом, в структуре Ангарской системы устойчивое развитие в настоящее время демонстрируют только села, которые потенциально могут стать малыми центрами притяжения (рис. 19).

На рубеже XX–XXI вв. Ангарский бассейн развивается по урбанистическим закономерностям. Территориальные масштабы с низкой плотностью населения, даже при оптимистичных прогнозах, не позволят создать полноценную структуру центральных мест или агломераций, если не учесть тот факт, что прибрежная система расселения р. Ангары теперь разделена на са-

мостоятельные ландшафтные районы, в которых необходимо восстанавливать или создавать заново расселенческую структуру.

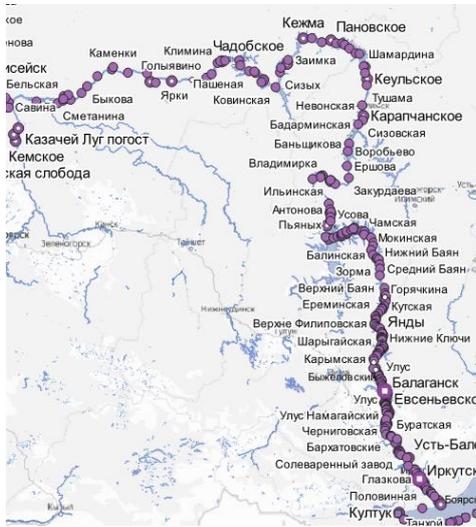


Рис. 17. Реконструированная схема расположения населенных пунктов в прибрежной полосе Ангары в XIX в. Автор О.Г. Литвинова

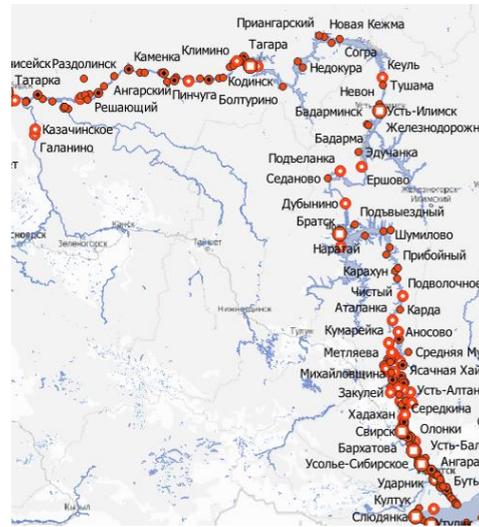


Рис. 18. Реконструированная схема расположения населенных пунктов в прибрежной полосе Ангары в XX в. Автор О.Г. Литвинова

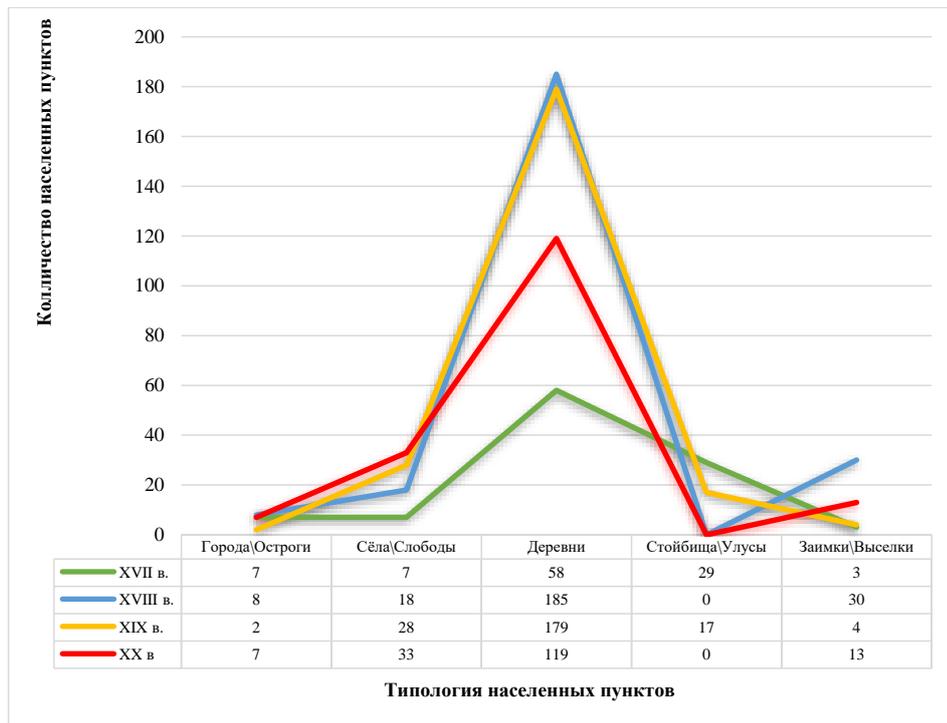


Рис. 19. Сводный график количественного распределения населенных пунктов относительно их типологии в период с конца XVII до начала XXI в.

Согласно современным представлениям о том, как создавать новую систему расселения, возможны два варианта. Первый – это стратегия агломерации, и тогда развитие идет по пути экономического уплотнения существующих поселений. Второй – это строительство новых городов. Практика XX в. в прибрежной зоне р. Ангары показала, что возведение отдельных единиц расселения, без учета их взаимосвязей и иерархии, не дает полной гарантии, что появится устойчивая система поселений. Необходимо учесть традиционный способ ее формирования, ландшафтные и социокультурные особенности региона. Для Сибири характерно расселение компактными группами, которые включают как совсем небольшие поселения, так и более крупные, т. е. по принципу «соседства» и иерархии. Строительство нового отдельного города может быть сопряжено с крупными инфраструктурными рисками. Целесообразнее организовывать традиционную компактную группу, которая в дальнейшем, при благоприятных факторах, сможет развиваться в агломерацию. Такой подход может стать удобным для дальнейшего устойчивого развития, поскольку только история места может сформировать преемственность, которая является залогом сохранения населения.

Таким образом, градостроительная ретроспектива позволила выявить причины существующей дисперсности в системе расселения на р. Ангаре, которая возникла на основе масштабных территориальных преобразований, имевших административные свойства. Стратегическое планирование в виде губернской реформы во второй половине XVIII в. привело к процессам урбанизации. Также она спровоцировала разницу в условиях жизни между малыми поселениями и городами, определила социокультурный контраст. В первой половине XX в. стратегия развития социально-бытовой, а также производственной инфраструктуры в малых поселениях остановила массовый переезд сельского населения в города, что поспособствовало выходу из стадии стагнации. Но во второй половине XX в., в рамках проекта строительства каскадов гидроэлектростанций, вопросы сохранения целостности системы расселения не рассматривались. Основной задачей являлась компенсация ущерба. Стратегическое планирование в данном случае опиралось на «фактический диагноз», не учитывая особенности расселения.

Таким образом, метод градостроительной ретроспективы позволил выявить важность наличия центральных мест притяжения с развитой социально-бытовой инфраструктурой, а также радиусов их взаимосвязей в структуре системы расселения. Современному обществу необходимо осознать, что административные решения способны регулировать расселение путем ликвидации или создания центральных мест притяжения, придавая системе дисперсную или компактную форму.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Элерт А.Х.* Сибирь XVIII века в путевых описаниях Г.Ф. Миллера // Сибирский хронограф. 1996. 310 с.
2. *Ремезов С.У.* Чертежная книга Сибири, составленная Тобольским сыном боярским Ремезовым в 1701 году Приложение. I. Текст. II. Указатель. – 1882.; Ремезов С.У. Службная чертежная книга. Тобольск : Общественный благотворительный фонд «Возрождение Тобольска. 2006. Т. 1. С. 2.

3. Ремезов С.У. Хорографическая чертежная книга Сибири Семена Ульяновича Ремезова. Тобольск : Общественный благотворительный фонд «Возрождение Тобольска», 2011. 696 с.; Ремезов С.У. Приложение к чертежной книге Сибири. Санкт-Петербург : Типография (бывшая) А.М. Котомина, 1882. 60 с.
4. Серебрянников И.И. Иркутская губерния в изображении «Чертежной книги Сибири» Семена Ремезова. Иркутск : Эл.-тип. «Т-ва М. П. Окунев и К», 1913. 22 с.
5. Литвинова О.Г. Формирование антропогенного ландшафта в прибрежной зоне Обь-Енисейского водного пути XVIII–XIX вв. (Обской бассейн) // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2019. Т. 21. № 5. С. 53–61. DOI: 10.31675/1607-1859-2019-21-5-53-61
6. Litvinova O. Retrospective of Settlement Scheme Formation in Coastal Zone of Ob-Yenisei Waterway in 18th and 19th Centuries // The 2nd International Conference on Architecture: Heritage, Traditions and Innovations (АНТИ 2020). 2020. DOI: 10.2991/ASSEHR.K.200923.062
7. Литвинова О.Г. Ретроспектива формирования Обь-Енисейского водного пути // Возможности развития краеведения и туризма Сибирского региона и сопредельных территорий : сборник материалов XVIII Международной научно-практической конференции, посвященной 415-летию города Томска, Томск, 31 октября 2019 года. Томск : [Б. и.], 2019. С. 105–112.
8. Белов А.В. Реформа города Екатерины II: замысел, процесс реализации и результаты (по материалам губерний Центральной России) // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2018. Т. 20. №. 3-1.
9. Колесников А.Д. Состав переселенцев в Сибирь // Вопросы формирования русского населения Сибири в XVII – начале XIX вв. Томск, 1978. С. 9–10.
10. Литвинова О.Г. Инженерно-технологические аспекты строительства водных коммуникаций России в XVIII – первой четверти XX в. (на примере Обь-Енисейской соединительной водной системы) : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата исторических наук : специальность 07.00.10 «История науки и техники» / Литвинова Ольга Геннадьевна. Томск, 2016. 22 с.
11. Мезит Л.Э., Катцына Т.А., Долидович О.М. и др. Иллюстрированная история Красноярья (1917–1991 годы). Красноярск : РАСТР, 2014. 264 с. ISBN 978-5-901926-09-3.
12. Хан-Магомедов С.О. Михаил Охитович. Русский авангард, 2009.

## REFERENCES

1. Elert A.H. Sibir' XVIII veka v putevyh opisaniyah GF Millera [The 18th century in Siberia in G.F. Miller's travel descriptions]. Sibirskij hronograf, 1996. 310 p. (rus)
2. Remezov S.U. Chertezhnaya kniga Sibiri, sostavlennaya Tobol'skim synom boyarskim Remezovym v 1701 godu Prilozhenie [Drawing book of Siberia compiled in 1701 by Remezov, Tobolsk boyar son]. 1882; Remezov S.U. Sluzhebnyaya chertezhnaya kniga [Service drawing book]. Tobolsk, 2006. V. 1. P. 2. (rus)
3. Remezov S.U. Horograficheskaya chertezhnaya kniga Sibiri Semena Ul'yanovicha Remezova [Semyon Ulyanovich Remezov's chorographic drawing book of Siberia]. Tobolsk, 2011. 696 p.; Remezov S.U. Prilozhenie k chertezhnoj knige Sibiri [Appendix to the drawing book of Siberia]. Saint-Petersburg: Tipografiya A.M. Kotomina, 1882. 60 p. (rus)
4. Serebryannikov I.I. Irkutskaya guberniya v izobrazhenii "Chertezhnoj knigi Sibiri" Semena Remezova [Irkutsk Province as depicted in Remezov's "Drawing Book of Siberia"]. Irkutsk, 1913. 22 p. (rus)
5. Litvinova O.G. Formirovanie antropogennogo landshafta v pribrezhnoi zone Ob'-Eniseiskogo vodnogo puti XVIII–XIX vv. (Obskoi bassein) [Anthropogenic landscape in Ob-Yenisei waterway in the 18–19th centuries]. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture. 2019. V. 21. No. 5. Pp. 53–61. DOI: 10.31675/1607-1859-2019-21-5-53-61 (rus)
6. Litvinova O. Retrospective of settlement scheme formation in coastal zone of Ob-Yenisei waterway in 18th and 19th centuries. Proc. 2nd Int. Conf. on Architecture: Heritage, Traditions and Innovations. 2020. DOI: 10.2991/ASSEHR.K.200923.062

7. *Litvinova O.G.* Retrospektiva formirovaniya Ob'-Enisejskogo vodnogo puti [Retrospective the Ob-Yenisei waterway formation]. In: *Vozmozhnosti razvitiya kraevedeniya i turizma Sibirskogo regiona i sopredel'nyh territorij: Sbornik materialov XVIII Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii, posvyashchennoj 415-letiyu goroda Tomsk (Proc. 18th Int. Sci. Conf. devoted to 415th Anniversary of Tomsk)*. 2019. Pp. 105–112. (rus)
8. *Belov A.V.* Reforma goroda Ekateriny II: zamysel, process realizacii i rezul'taty (po materialam gubernij Central'noj Rossii) [Catherine the Great's city reform: Conception, implementation, and results (the Central Russian provinces)]. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo centra Rossijskoj akademii nauk*. 2018. V. 20. No. 3-1. (rus)
9. *Kolesnikov A.D.* Sostav pereselencev v Sibiri' [Immigrants to Siberia]. In: *Voprosy formirovaniya russkogo naseleniya Sibiri v XVII – nachale XIX vv.* Tomsk, 1978. Pp. 9–10. (rus)
10. *Litvinova O.G.* Inzhenerno-tehnologicheskie aspekty stroitel'stva vodnyh kommunikacij Rossii v XVIII – pervoj chetverti XX v. (na primere Ob'-Enisejskoj soedinitel'noj vodnoj sistemy), avtoreferat dissertacii na soiskanie uchenoj stepeni kandidata istoricheskikh nauk [Engineering and technological aspects of water communication construction in Russia in the 18–20th centuries (the Ob-Yenisei water system case studies). PhD Abstract]. Tomsk, 2016. 22 p. (rus)
11. *Mezit L.E., Katcyna T.A., Dolidovich O.M., et al.* Ilyustrirovannaya istoriya Krasnoyarska (1917–1991 gody) [Illustrated history of Krasnoyarsk in 1917–1991]. Krasnoyarsk, 2014. 264 p. (rus)
12. *Han-Magomedov S.O.* Mihail Ohitovich [Mikhail Okhitovich]. Moscow: Russkii avangard, 2009. (rus)

#### Сведения об авторе

*Литвинова Ольга Геннадьевна*, канд. ист. наук, доцент, Томский государственный архитектурно-строительный университет, 634003, г. Томск, пл. Соляная, 2, litvinovaolga1982@gmail.com

#### Author Details

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

# СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ, ЗДАНИЯ И СООРУЖЕНИЯ

УДК 534.2

DOI: 10.31675/1607-1859-2021-23-6-117-128

*А.И. АНТОНОВ<sup>1,2</sup>, В.И. ЛЕДЕНЕВ<sup>1,2</sup>,  
И.В. МАТВЕЕВА<sup>1</sup>, М.А. ПОРОЖЕНКО<sup>2</sup>,*

*<sup>1</sup>Тамбовский государственный технический университет,*

*<sup>2</sup>Научно-исследовательский институт строительной физики РААСН*

## **РАСЧЕТ НЕПОСТОЯННОГО ШУМА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ФУНКЦИИ ОТКЛИКА ПОМЕЩЕНИЯ, ОПРЕДЕЛЯЕМОЙ ПО ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫМ ДАННЫМ**

Шумы непостоянного действия оказывают негативное влияние на здоровье людей. Проектирование эффективных методов снижения шума определяется полнотой и точностью расчета его энергетических параметров. Актуальность исследования заключается в том, что существующая оценка непостоянного шума на основе эквивалентных уровней не отвечает современным требованиям, особенно при действии импульсных источников шума.

Цель работы – исследование возможности экспериментального определения функции отклика помещения и ее использования для оценки акустического режима помещений с непостоянными во времени источниками шума.

В работе предлагается выполнить подробный расчет параметров непостоянных звуковых полей на основе функции отклика помещения, которая представляет реакцию помещения на импульсное возбуждение. Функция может быть получена расчетом аналитическими или численными методами, а для сложных условий действующих производств – на основе экспериментальных измерений процессов затухания энергии при отключении источника постоянного шума.

В результате исследования предложена экспериментальная методика определения функции отклика и показаны возможности ее использования для оценки шумового режима в помещениях с непостоянными источниками шума.

Методика экспериментального определения функции отклика помещения на импульсное возбуждение дает возможность исследовать акустические процессы в помещениях со сложными условиями формирования шумового режима, для которых невозможно выполнить анализ аналитическими методами. Функция отклика, полученная экспериментально, позволяет целенаправленно решать задачи по изменению шумового режима в помещениях с источниками непостоянной звуковой мощности.

**Ключевые слова:** непостоянный шум; функция отклика помещения; метод расчета шума; строительно-акустические меры шумозащиты; производственные здания.

**Для цитирования:** Антонов А.И., Леденев В.И., Матвеева И.В., Пороженко М.А. Расчет непостоянного шума с использованием функции отклика помещения, определяемой по экспериментальным данным // Вестник Томского гос-

ударственного архитектурно-строительного университета. 2021. Т. 23. № 6. С. 117–128.

DOI: 10.31675/1607-1859-2021-23-6-117-128

A.I. ANTONOV<sup>1,2</sup>, V.I. LEDENEV<sup>1,2</sup>,  
I.V. MATVEEVA<sup>1</sup>, M.A. POROZHENKO<sup>2</sup>,

<sup>1</sup>Tambov State Technical University,

<sup>2</sup>Research Institute of Building Physics RAASN

## NONCONTINUOUS NOISE CALCULATED BY ROOM RESPONSE FUNCTION DETERMINED BY EXPERIMENTAL DATA

**Purpose:** Experimental determination of the response room function and its use to estimate the acoustic conditions in rooms with noncontinuous noise sources. **Methodology/approach:** The detailed parameter calculation of noncontinuous sound fields using the response room function, which is the room response to pulse excitation. The response function can be calculated by analytical or numerical methods and by experimental measurements in production conditions the energy attenuation when a constant noise source is switched off. **Findings:** Noncontinuous noise has a negative impact on health. The effective noise reduction is determined by the complete and accurate analysis of its energy parameters. The noncontinuous noise estimation based on equivalent levels does not meet the requirements, especially when pulsed noise sources are active. The experimental technique is proposed for the response function calculation and its use in evaluating the noise conditions in rooms with noncontinuous noise sources. **Practical implications:** The experimental determination of the response function to pulse excitation allows studying the acoustic processes in rooms for the formation of noise conditions when analytical methods cannot be used. The experimentally obtained response function makes it possible to solve problems of changing the noise conditions in rooms with noncontinuous noise sources.

**Keywords:** noncontinuous noise; response function; noise calculation method; acoustic noise protection; industrial buildings.

**For citation:** Antonov A.I., Ledenev V.I., Matveeva I.V., Porozhenko M.A. Raschet nepostoyannogo shuma s ispol'zovaniem funktsii otklika pomeshcheniya, opredelyaemoi po eksperimental'nym dannym [Noncontinuous noise calculated by room response function determined by experimental data]. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture. 2021. V. 23. No. 6. Pp. 117–128.  
DOI: 10.31675/1607-1859-2021-23-6-117-128

### Введение

Шумовой режим большинства производственных помещений имеет непостоянный характер. Эти шумы, и особенно импульсные, оказывают негативное влияние на работоспособность и здоровье людей [1]. Для снижения неблагоприятного воздействия непостоянного шума на организм работников используется широкий спектр конструктивных, планировочных, технологических и организационных средств шумозащиты [2, 3]. Их эффективность во многом определяется точностью оценки уровней шума в исходной ситуации без специальных шумозащитных мероприятий и после проектирования средств шумозащиты.

Существующие методы расчета непостоянного шума ориентированы на определение только усредненных во времени энергетических параметров шума, а именно эквивалентных уровней. При этом используются методики расчета, разработанные применительно к расчетам постоянного шума. В России для этой цели используются методы, основанные на статистическом энергетическом подходе [4, 5], а в зарубежной практике применяются методы прослеживания лучей [6] и методы на основе диффузионного подхода [7, 8]. Такой подход исключает из оценки акустического режима и разработки средств защиты от непостоянного шума такие важные с гигиенической точки зрения параметры, как максимальный и минимальный уровни, разделение звукового поля на фоновую и переменную во времени составляющие, дозы шума и другие энергетические и временные характеристики [9]. По этой причине в настоящее время разработка методики детального расчета перечисленных выше параметров непостоянного шума является актуальной научной и практической задачей.

Анализ методов расчетов, используемых при исследованиях непостоянных акустических процессов, происходящих в помещениях, показывает, что во многих случаях непостоянные отраженные звуковые поля помещений удобно рассчитывать при помощи импульсного представления процессов излучения и распространения звуковой энергии.

**Импульсное представление процесса формирования звукового поля.** Если известна функция, задающая изменение плотности звуковой энергии в расчетной точке от короткого импульса, то легко рассчитываются энергетические параметры в этой точке при действии источника с любыми временными характеристиками, в том числе и уровни постоянного шума.

В результате действия короткого импульса звуковой энергии в расчетной точке помещения можно зафиксировать изменение во времени плотности звуковой энергии  $d\varepsilon_{\text{им}}$ . Длительное действие источников шума представляется в виде последовательности излученных импульсов энергии, результат их совместного действия рассчитывается по выражению

$$\varepsilon = \int_{t_n}^{t_k} d\varepsilon_{\text{им}}, \quad (1)$$

где  $t_n, t_k$  – временной интервал действия источника шума.

В случае переменной акустической мощности источника звука  $W$  величина изменения плотности звуковой энергии в расчетной точке от импульса  $d\varepsilon_{\text{им}}$  должна включать множитель для учета разницы в мощностях  $W/W_{\text{им}}$ .

**Функция отклика помещения на импульсное возбуждение.** При решении практических задач пользоваться величиной  $d\varepsilon_{\text{им}}$  неудобно. В этой связи в качестве инструмента для расчета непостоянных звуковых полей в дальнейшем предлагается использовать функцию отклика или нормализованное выражение изменения энергии воздействия импульса с единичной акустической мощностью

$$f(t) = \frac{d\varepsilon_{\text{им}}}{W_{\text{им}} dt}, \quad (2)$$

где  $T = \tau - t - r/c$  – приведенное время ( $t < \tau - r/c$ );  $c$  – скорость звука в воздухе. Величина приведенного времени зависит от времени наблюдения  $\tau$ , момента излучения импульса энергии  $t$  и запаздывания  $r/c$  прихода первых отражений (рис. 1). С достаточной точностью запаздывание определяется расстоянием  $r$  между источником шума и расчетной точкой.

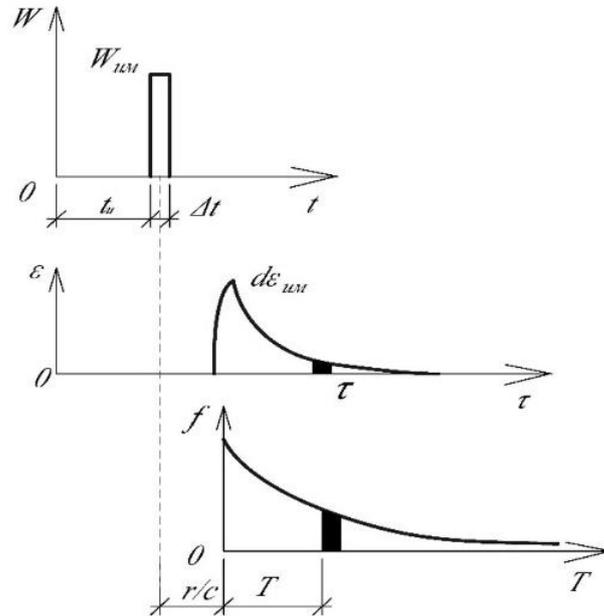


Рис. 1. Схема к расчету функции отклика пространства  $f$  на импульсное возбуждение

Метод функций отклика широко применяется в инженерных науках, например в теории автоматического регулирования, агроинженерии и т. п. Его принцип заключается в использовании информации об отклике системы на известные воздействия для получения оператора перехода на другие подобные воздействия. Отклик помещения на импульсное возбуждение используется в архитектурной акустике для анализа структуры прихода отраженных звуковых волн в расчетную точку, выявления факторов, снижающих качество восприятия сигналов [10].

Из уравнения (2) следует важное замечание, что отклик является реакцией помещения на импульсное возбуждение. Он пропорционален скорости изменения плотности звуковой энергии импульса в расчетной точке. Структура отклика зависит от взаимного положения источника шума и расчетной точки и от их размещения в помещении, а также определяется параметрами помещения: геометрическими характеристиками, акустическими параметрами ограждающих конструкций и т. д.

В случае использования функции отклика для решения практических задач по расчету параметров непостоянных звуковых полей выражение (1) можно представить в виде

$$\varepsilon = \int_{t_n}^{t_k} Wf_{(T)} dt. \quad (3)$$

Выражение (3) имеет более очевидный физический смысл.

На рис. 1 показана схема, иллюстрирующая процесс образования отклика помещения.

Функция отклика помещения может определяться расчетным путем. Для помещений в форме прямоугольных параллелепипедов нами получено выражение в виде тройного ряда для расчета звукового поля отдельного импульса методом разделения переменных [2], для помещений сложной формы с различными отражающими характеристиками ограждений функция отклика рассчитывается численным методом [11].

В случае сложных ситуаций, когда требуется выполнить анализ вариантов работы оборудования (источников непостоянного шума большой мощности) на действующем предприятии и необходимо запроектировать оптимальные параметры его функционирования, возможно экспериментальное определение функции отклика. Для сложных систем, для которых не определена математическая модель, функцию отклика находят по принципу «черного» ящика, когда регистрируют реакцию системы на изменяемые факторы внешнего воздействия без исследования процессов, происходящих внутри самой системы.

**Методика экспериментального определения функции отклика помещения на импульсное воздействие.** Очевидным методом является регистрация значения плотности звуковой энергии короткого импульса в расчетной точке (рис. 1) и получение функции отклика по выражению

$$f_{(T)} = \frac{\varepsilon}{W_{\text{им}} \Delta t}, \quad (4)$$

где  $\Delta t$  – длительность импульса.

Опыт использования методики показывает, что такой подход связан с достаточно большими погрешностями, т. к. результат зависит от точности акустической мощности импульса и величины его длительности. Для повышения точности надо уменьшать длительность излучения шума так, чтобы источник был импульсным, а это приводит к росту погрешностей.

Более точным и просто реализуемым подходом является экспериментальное определение функции отклика по регистрации затухания звуковой энергии при отключении длительно действующего источника постоянной акустической мощности. В этом случае проще определить акустическую мощность источника шума и не требуется находить длительность импульса. Графическая иллюстрация экспериментального определения функции отклика приведена на рис. 2. Из выражений (2), (3) и рис. 2 следует, что изменение скорости затухания звуковой энергии  $\Delta \varepsilon$  определяется площадью части графика функции источника  $f \Delta T$ .

Методика экспериментального определения функции отклика помещения заключается в следующем:

1. Определяется положение источников переменного шума и расчетных точек.

2. В районе шумного технологического оборудования устанавливается эталонный источник шума с известной акустической мощностью  $W$ , который создает постоянное звуковое поле в помещении. При определенных условиях в качестве эталонного источника может использоваться и действующее оборудование.

3. После отключения источника шума в одной или нескольких расчетных точках фиксируются графики затухания звуковой энергии.

4. Производится расчет функции отклика на основе обработки измеренных уровней звуковой энергии по выражению

$$f(T) = \frac{-I_0(10^{0,1L_{\tau+\Delta\tau}} - 10^{0,1L_{\tau}})}{Wc\Delta\tau}, \quad (5)$$

где  $T = \tau - t_k - r/c$  – приведенное время;  $L_{\tau}$  и  $L_{\tau+\Delta\tau}$  – уровни звукового давления в момент времени  $\tau$  и  $\tau + \Delta\tau$  после отключения источника шума;  $I_0 = 10^{-12}$  Вт/м<sup>2</sup> – пороговое значение интенсивности звука;  $c$  – скорость звука в воздухе. Функция отклика представляет одномерный массив или ограниченный ряд.

5. На основе полученной функции отклика рассчитываются уровни шума в расчетной точке при различных временных и энергетических параметрах источника шума. Расчет интеграла (3) превращается в суммирование ряда для каждого расчетного момента времени  $\tau$ , что требует минимальных расчетных ресурсов.

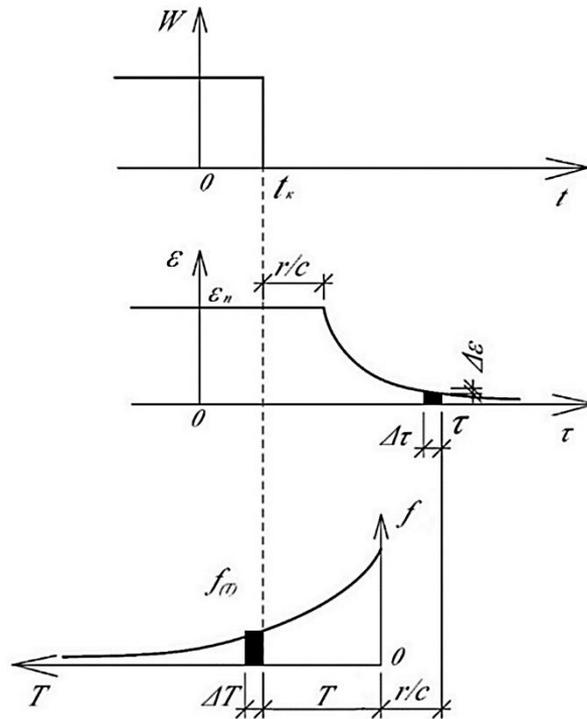


Рис. 2. Графическая иллюстрация расчета функции отклика по экспериментальным данным при отключении длительно действующего источника с постоянной акустической мощностью ( $\Delta T = \Delta\tau$ )

**Пример экспериментального определения и использования функции отклика помещения.** Определение функции отклика и исследование энергетических параметров в расчетной точке Т.3 при различных параметрах импульсного источника шума И.3 выполнено в коридоре 5-го этажа учебного корпуса Тамбовского государственного технического университета (рис. 3).

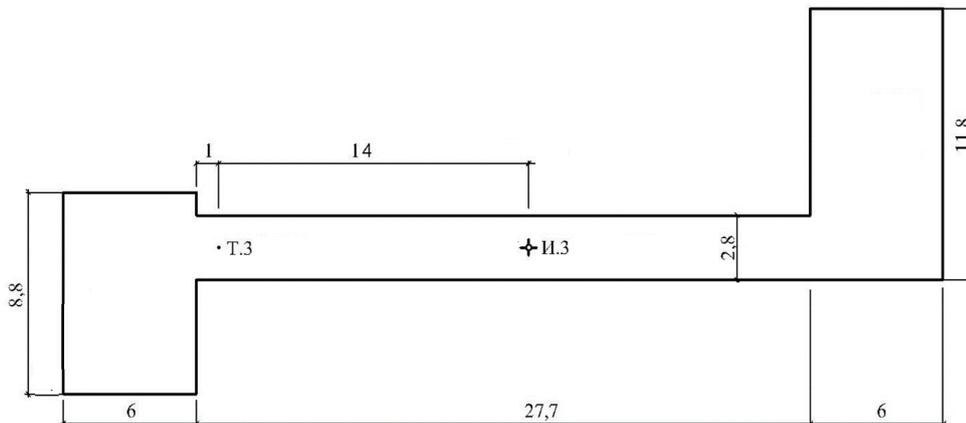


Рис. 3. Расчетная схема помещения:  
Т.3 – расчетная точка; И.3 – источник шума

Источник шума находился на расстоянии 14 м от расчетной точки. Исследования проводились в октавной полосе со среднегеометрической частотой 1000 Гц. Измеренный график реверберации в расчетной точке при отключении источника постоянного шума приведен на рис. 4. При исследованиях анализировался отраженный шум.

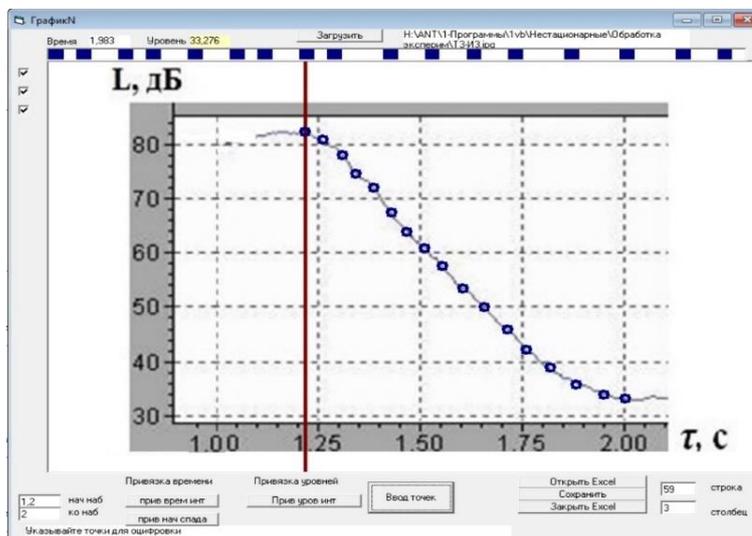


Рис. 4. Окно программы по обработке экспериментальных данных

Для обработки экспериментальных данных измеренные графики затухания звуковой энергии оцифрованы с помощью специально разработанной программы (рис. 4) и переведены в файл формата Microsoft Excel. Функция отклика помещения получена в результате применения выражения (5) к значениям уровней затухания звуковой энергии длительно действующего источника постоянного шума.

Функция отклика, полученная на основе измеренных значений затухания звуковой энергии, использована для анализа уровней шума в расчетной точке при различных параметрах источника импульсного шума.

На рис. 5 приведены графики изменения уровней звукового давления от импульсного источника шума с периодом излучения звуковой энергии  $T_n = 1$  с и с различной длительностью импульса  $\Delta t = 0,1, 0,2, 0,4$  с. Форма графика излучаемой источником энергии прямоугольная. На рисунке заметно сохранение формы графиков затухания звуковой энергии с изменением длительности импульса  $\Delta t = t_n - t_k$ . При каждом удвоении длительности импульса эквивалентный уровень возрастает на 3 дБ. Рост максимального уровня незначителен: 81,5, 82,1, 82,3 дБ. С уменьшением паузы между излучениями при одинаковом периоде снижается перепад между максимальным и минимальным уровнями на 15 дБ с  $\Delta L = 60$  до 45 дБ. При наличии фонового шума изменение перепада  $\Delta L$  будет меньше.

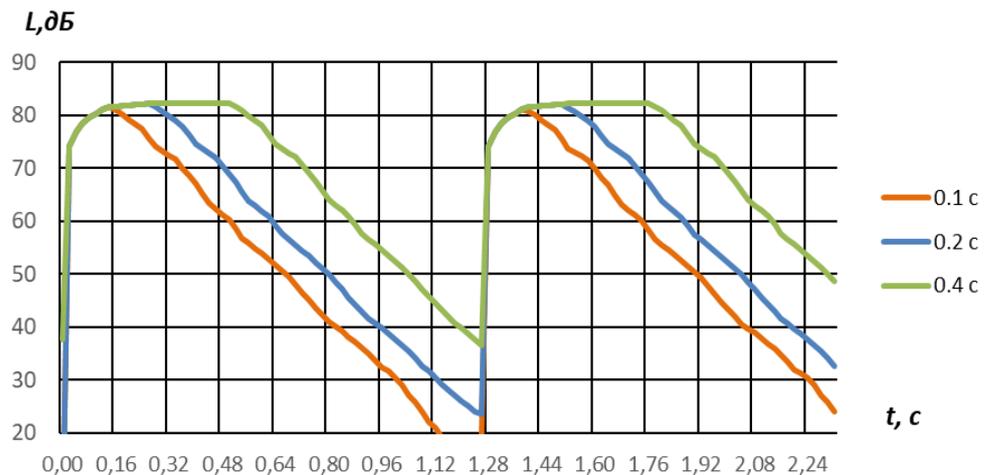


Рис. 5. Графики изменения уровней звукового давления в расчетной точке при действии прямоугольных импульсов различной длительности

В таблице приведены графики зависимости уровней импульсных источников от формы импульсов.

Период действия импульсов равен 1 с. Рассматривались прямоугольный импульс, импульсы с линейным нарастанием и снижением во времени акустической мощности. Длительность излучения этих импульсов составляла  $\Delta t = 0,4$  с. Длительность импульса с плавным изменением акустической мощности по закону косинуса равна периоду действия источника  $\Delta t = T_n = 1,0$  с.

**Результаты расчета изменения уровней звукового давления  
в расчетной точке при различных формах импульсов**

Графики изменения уровней в расчетной точке	Форма импульса

Акустическая мощность импульсных источников шума подбиралась таким образом, чтобы во всех случаях общая излучаемая энергия и эквивалентные уровни были одинаковыми. Максимальный уровень отраженного звука составляет наибольшее значение – 84,4 дБ при возрастании акустической мощности импульсного источника (см. форму № 2 таблицы). При плавном и незначительном изменении излучаемой энергии во времени (см. форму № 4 таблицы) максимальный отраженный уровень шума составляет 81,2 дБ.

### Выводы

1. Для быстрой и качественной оценки изменений шумового режима в помещениях с непостоянным во времени шумом при расчетах удобно использовать функцию отклика помещений на импульсное возбуждение. Изложена методика определения функции отклика на основе обработки графика затухания длительно действующего источника постоянного шума.

2. Функция отклика обладает полезными свойствами, позволяющими анализировать влияние различных факторов на шумовой режим помещений. Приведены примеры расчета энергетических параметров звукового поля в расчетной точке при действии непостоянного источника с различной формой излучаемых импульсов.

3. Использование функции отклика при исследованиях шумового режима в производственных помещениях с импульсными источниками позволяет оперативно определять зоны с неблагоприятным акустическим режимом и разрабатывать меры по уменьшению их размеров.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Суворов Г.А., Лихницкий А.М. Импульсный шум и его влияние на организм человека. Ленинград : Медицина, 1975. 207 с.
2. Антонов А.И., Леденев В.И., Матвеева И.В., Шубин И.Л. Расчеты импульсного шума при проектировании средств его снижения в производственных зданиях // Строительство и реконструкция. 2019. № 3 (83). С. 22–33.
3. Каньшин В.Б. Исследование воздействия и рассмотрение методов снижения шума импульсного характера на организм человека // Действие шума и вибрации на организм : материалы тезисов докладов III Всесоюзной конференции по борьбе с шумом и вибрацией. Челябинск, 1980. С. 24–27.
4. Giyasov B.I., Ledenev V.I., Matveeva I.V. Method for noise calculation under specular and diffuse reflection of sound // Magazine of Civil Engineering. 2018. № 1 (77). P. 13–22.
5. Tsukernikov I., Shubin I., Antonov A., Ledenev V., Nevenchannaya T. Noise calculation method for industrial premises with bulky equipment at mirror-diffuse sound reflection // Procedia Engineering. Proceedings of the 3rd International Conference on Dynamics and Vibroacoustics of Machines, DVM 2016. 2017. P. 218–225. DOI:10.1016/j.proeng.2017.02.291
6. Visentin C., Valeau V., Prodi N., Picaut J. A numerical investigation of the sound intensity field in rooms by using diffusion theory and particle tracing // Proceedings of the 20th International Congress on Acoustics, ICA-2010. Sydney, Australia, 2010. P. 23–27.
7. Foy C., Picaut J., Valeau V. Introduction de la diffusivité des parois au sein du modèle de diffusion acoustique // CFA/VISHNO-2016. 11–15 avril 2016.
8. Foy C., Valeau V., Picaut J., Prax C., Sakout A. Spatial variations of the mean free path in long rooms: Integration within the room-acoustic diffusion model // Proceedings of the 22 International Congress on Acoustics – 2016. Buenos Aires, 5–9 September 2016.
9. Шубин И.Л., Леденев В.И., Антонов А.И., Меркушева Н.П. Использование карт доз шума при разработке организационных мер шумозащиты в производственных помещениях с непостоянными рабочими местами // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. 2021. № 1 (16). С. 86–97.
10. Макриненко Л.И. Акустика помещений общественных зданий. Москва : Стройиздат, 1986. 173 с.
11. Antonov A.I., Ledenev V.I., Shubin I.L. Numerical Method for Impulse Noise Calculation with Diffuse Sound Reflection // IOP Conference Series Materials Science and Engineering 1079 (4):042044. DOI:10.1088/1757-899X/1079/4/042044

REFERENCES

1. *Suvorov G.A., Lihnickij A.M.* Impul'snyj шум i ego vliyanie na organizm cheloveka [Pulse noise and its effect on human body]. Leningrad: Meditsina, 1975. 207 p. (rus)
2. *Antonov A.I., Ledenev V.I., Matveeva I.V., Shubin I.L.* Raschety impul'snogo shuma pri proektirovanii sredstv ego snizheniya v proizvodstvennyh zdaniyah [Pulse noise calculations and its reduction in industrial buildings]. *Stroitel'stvo i rekonstrukciya*. 2019. No. 3(83). Pp. 22–33. (rus)
3. *Kan'shin V.B.* Issledovanie vozdejstviya i rassmotrenie metodov snizheniya шумов impul'snogo haraktera na organizm cheloveka [Impact and methods of reducing pulse noise on human body]. In: III Vsesoyuznaya konferenciya po bor'be s шумом i vibraciej: materialy tezisev dokladov sekcii "Dejstvie shuma i vibracij na organism" [*Proc. 3rd All-Union Conf. on Noise and Vibration Prevention, Section "The Effect of Noise and Vibrations on Human Body"*]. Chelyabinsk, 1980. Pp. 24–27. (rus)
4. *Giyasov B.I., Ledenev V.I., Matveeva I.V.* Method for noise calculation under specular and diffuse reflection of sound. *Magazine of Civil Engineering*. 2018. No. 1 (77). Pp. 13–22.
5. *Tsukernikov I., Shubin I., Antonov A., Ledenev V., Nevenchannaya T.* Noise calculation method for industrial premises with bulky equipment at mirror-diffuse sound reflection. *Procedia Engineering. Proc. 3rd Int. Conf. 'Dynamics and Vibroacoustics of Machines'*. 2017. Pp. 218–225. DOI: 10.1016/j.proeng.2017.02.291
6. *Visentin C., Valeau V., Prodi N., Picaut J.* A numerical investigation of the sound intensity field in rooms by using diffusion theory and particle tracing. In: *Proc. 20th Int. Congr. on Acoustics*. Sydney, Australia, 2010. Pp. 23–27.
7. *Foy C., Picaut J., Valeau V.* Introduction de la diffusivité des parois au sein du modèle de diffusion acoustique. CFA VISHNO, 2016.
8. *Foy C., Valeau V., Picaut J., Prax C., Sakout A.* Spatial variations of the mean free path in long rooms: Integration within the room-acoustic diffusion model. In: *Proc. 22nd Int. Congr. on Acoustics*. Buenos Aires, 2016.
9. *Shubin I.L., Ledenev V.I., Antonov A.I., Merkusheva N.P.* Ispol'zovanie kart doz shuma pri razrabotke organizacionnyh mer shumozashchity v proizvodstvennyh pomeshcheniyah s nepostoyannymi rabochimi mestami [Noise dose maps in the development of noise protection measures in industrial premises with non-permanent workplaces]. *Zhilishchnoe hozyajstvo i kommunal'naya infrastruktura*. 2021. No. 1 (16). Pp. 86–97. (rus)
10. *Makrinenko L.I.* Akustika pomeshchenij obshchestvennyh zdaniy [Acoustics of public buildings]. Moscow: Stroizdat, 1986. 173 p. (rus)
11. *Antonov A.I., Ledenev V.I., Shubin I.L.* Numerical method for impulse noise calculation with diffuse sound reflection. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2021. V. 1079. No. 4. DOI: 10.1088/1757-899X/1079/4/042044

**Сведения об авторах**

*Антонов Александр Иванович*, докт. техн. наук, доцент, Тамбовский государственный технический университет, 392032, г. Тамбов, ул. Мичуринская, 112, корп. Е; гл. научный сотрудник, Научно-исследовательский институт строительной физики РААСН, 127238, г. Москва, Локомотивный проезд, 21, aiant58@yandex.ru

*Леденев Владимир Иванович*, докт. техн. наук, профессор, Тамбовский государственный технический университет, 392032, г. Тамбов, ул. Мичуринская, 112, корп. Е; гл. научный сотрудник, Научно-исследовательский институт строительной физики РААСН; 127238, г. Москва, Локомотивный проезд, 21, ledvi46@yandex.ru

*Матвеева Ирина Владимировна*, канд. техн. наук, доцент, Тамбовский государственный технический университет, 392032, г. Тамбов, ул. Мичуринская, 112, корп. Е, times02@yandex.ru

*Пороженко Марианна Александровна*, вед. научный сотрудник, Научно-исследовательский институт строительной физики РААСН; 127238, г. Москва, Локомотивный проезд, 21, mporoz@mail.ru

**Authors Details**

*Aleksandr I. Antonov*, DSc, A/Professor, Tambov State Technical University, 112, Michurinskaya Str., 392032, Tambov, Russia; Leading Scientist, Research Institute of Building Physics RAACS, 21, Lokomotivnyi Ave., 127238, Moscow, Russia aiant58@yandex.ru

*Vladimir I. Ledenev*, DSc, Professor, Tambov State Technical University, 112, Michurinskaya Str., 392032, Tambov, Russia; Leading Scientist, Research Institute of Building Physics RAACS, 21, Lokomotivnyi Ave., 127238, Moscow, Russia, ledvi46@yandex.ru

*Irina V. Matveeva*, PhD, A/Professor, Tambov State Technical University, 112, Michurinskaya Str., 392032, Tambov, Russia, times02@yandex.ru

*Marianna A. Porozhenko*, Leading Scientist, Research Institute of Building Physics RAACS, 21, Lokomotivnyi Ave., 127238, Moscow, Russia, mporoz@mail.ru

УДК 697.1

DOI: 10.31675/1607-1859-2021-23-6-129-142

*А.Н. БЕЛОУС<sup>1</sup>, О.Е. БЕЛОУС<sup>1</sup>, Л.З. КУЛУМБЕГОВА<sup>2</sup>, С.В. КРАХИН<sup>1</sup>,  
<sup>1</sup>Донбасская национальная академия строительства и архитектуры,  
<sup>2</sup>Юго-Осетинский государственный университет им. А.А. Тибилова*

## **ТЕПЛОУСТОЙЧИВОСТЬ НАРУЖНЫХ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ С ТЕПЛОПРОВОДНЫМИ ВКЛЮЧЕНИЯМИ В ЛЕТНИЙ ПЕРИОД ГОДА**

Исходя из анализа существующих методов и методик решения вопроса теплоустойчивости ограждающих конструкций с теплопроводными включениями установлено, что для всех этих работ характерно решение одномерной задачи теплоустойчивости. Одним из возможных методов определения амплитуды колебания температуры на внутренней поверхности ограждающей конструкции с теплопроводными включениями является моделирование нестационарных температурных условий в программных комплексах. Однако данное решение вызывает большие затруднения, т. к. переводит указанный расчет из инженерного в научный и, следовательно, не может быть рекомендовано к непосредственному практическому применению. Вторым вариантом решения данной задачи предлагается применение коэффициента сходимости  $\alpha$ , который можно получить эмпирически. Выбором значения коэффициента  $\alpha$  можно учесть влияние теплопроводного включения на средневзвешенное значение температуры на поверхности в зависимости от конструкции ограждения.

При анализе конструктивных решений наружных ограждающих конструкций были выявлены особенности влияния теплопроводных включений на осредненную амплитуду колебания на внутренней поверхности. В схемах с расположением теплопроводного включения у наружной грани или сквозным наблюдается незначительное влияние амплитуды колебания теплопроводного включения на осредненную амплитуду по поверхности конструкции. Наибольшую степень влияния оказывает схема со сквозным расположением теплопроводного включения. На основании сравнительного анализа установлено, что при построении гармоник колебания средней температуры на внутренней поверхности предпочтение отдается методике с коэффициентом сходимости.

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

**Для цитирования:** Белоус А.Н., Белоус О.Е., Кулумбегова Л.З., Крахин С.В. Теплоустойчивость наружных ограждающих конструкций с теплопроводными включениями в летний период года // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2021. Т. 23. № 6. С. 129–142.  
DOI: 10.31675/1607-1859-2021-23-6-129-142

*A.N. BELOUS<sup>1</sup>, O.E. BELOUS<sup>1</sup>, L.Z. KULUMBEGOVA<sup>2</sup>, S.V. KRAKHIN<sup>1</sup>,  
<sup>1</sup>Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture,  
<sup>2</sup>South Ossetian State University*

## **THERMAL RESISTANCE OF BUILDING ENVELOPES WITH HEAT-CONDUCTING ELEMENTS IN SUMMER PERIOD**

The analysis of the current methods and techniques of solving the problem of heat resistance of building envelopes with heat-conducting elements shows the solution of a one-dimensional problem of heat resistance. One of the possible methods for determining the tem-

perature fluctuation amplitude on the inner surface of the building envelopes with heat-conducting elements is the modeling of non-stationary temperature conditions in the computer program. However, this solution causes great difficulties, as it transfers the specified calculation from engineering to scientific and cannot be recommended for practical application. The second method of solving this problem is the application of the convergence coefficient, which can be obtained empirically. The selection of the convergence coefficient allows for the influence of the heat-conducting elements on the weighted average surface temperature depending on the envelope configuration.

The structural analysis of the building envelopes and their impact on the averaged amplitude of oscillations on the inner surface are conducted. The arrangement of heat-conducting elements at the outer edge is characterized by a negligible influence of the vibration amplitude on the averaged amplitude over the structural surface. The arrangement of heat-conducting elements greatly affects the heat-conducting elements. According to the comparative analysis, the convergence coefficient is preferable in harmonics of the average temperature fluctuations on the inner surface.

**Ключевые слова:** thermal stability; nonstationary mode; temperature field; redistribution; amplitude; methodology.

**For citation:** Belous A.N., Belous O.E., Kulumbegova L.Z., Krakhin S.V. Teploustoichivost' naruzhnykh ograzhdayushchikh konstruksii s teploprovodnymi vklyucheniymi v letnii period goda [Thermal resistance of building envelopes with heat-conducting elements in summer period]. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture. 2021. V. 23. No. 6. Pp. 129–142.

DOI: 10.31675/1607-1859-2021-23-6-129-142

### Актуальность

Современные наружные ограждающие конструкции в большинстве случаев представляют собой многослойные системы с большим количеством теплопроводных включений. При этом основное внимание при конструировании и расчете энергетических показателей уделяется приведенному сопротивлению теплопередаче [1–7]. Для теоретического определения приведенного сопротивления теплопередаче были разработаны различные методики [8–12], которые подтверждены и апробированы в натуральных и лабораторных условиях.

Данный подход к проектированию ограждающих конструкций экономически оправдан с точки зрения сохранения энергии, но не стоит забывать, что здания в первую очередь строятся для людей и во главу угла проектирования должны быть поставлены условия комфортности. Исходя из 2-го условия комфортности [13], в нормативных документах выдвигаются ограничения по изменению амплитуды колебания температуры на внутренней поверхности наружных ограждающих конструкций в летний период. Данным вопросом детально занимался А.М. Шкловер в 60-х гг. XX в. На основе его трудов были решены многие задачи, связанные с теплоустойчивостью ограждающих конструкций и помещений. В частности, определена зависимость между конструктивным решением стен и теплоустойчивостью [14], но данные работы и задачи исследованы только для многослойных конструкций без теплопроводных включений.

Развитие методики расчета теплоустойчивости продолжили в своих трудах российские ученые [15–18], которые предложили различные подходы к данной задаче. Отдельными вопросами нестационарного режима ограждаю-

щих конструкций занимались в своих трудах иностранные ученые [19–23]. Но для всех этих работ характерно решение одномерной задачи теплоустойчивости, что для современных ограждающих конструкций с многочисленными теплопроводными включениями некорректно, т. к. для таких случаев необходимо решение задач в двумерной постановке при нестационарных условиях теплопередачи. Большинство предложенных методов требует доработки или сопоставления с результатами натурных или лабораторных исследований.

Цель исследования – разработка методики расчета теплоустойчивости наружных ограждающих конструкций с теплопроводными включениями.

### Методы

Теплоустойчивость однородных многослойных ограждающих конструкций в теплый период года нормируется показателем амплитуды колебания температуры на внутренней поверхности и определяется отношением амплитуды  $A$  колебания температуры наружного воздуха к коэффициенту затухания  $\nu$  в ограждающей конструкции. Амплитуда колебания наружного воздуха зависит от двух климатических факторов: температуры наружного воздуха и солнечной радиации [24].

Коэффициент затухания  $\nu$  зависит от теплотехнических показателей слоев ограждающей конструкции (тепловой инерции  $D$  и теплоусвоения  $s$ , Вт/(м<sup>2</sup> К)), а также от показателя теплоусвоения поверхности  $Y$ , Вт/(м<sup>2</sup> К) и находится по формуле [13]:

$$\nu = 0,9e^{\frac{D}{\sqrt{2}}} \frac{(s_1 + \alpha_{вн})(s_2 + Y_1) \dots (s_n + Y_{n-1})(\alpha_{зл} + Y_n)}{(s_1 + Y_1)(s_2 + Y_2) \dots (s_n + Y_n)\alpha_{зл}}. \quad (1)$$

Данная методика расчета справедлива только для многослойных однородных конструкций, т. к. при наличии теплопроводных включений наблюдается изменение температурного поля в толще ограждающей конструкции.

У однородной конструкции изотермы температуры параллельны, и вектор теплового потока перпендикулярен наружной и внутренней поверхностям.

При наличии теплопроводного включения для векторов теплового потока наблюдается изменение их направлений от наружной поверхности к теплопроводному включению, а в некоторых случаях распространение тепла происходит параллельно внутренней поверхности ограждающей конструкции.

Таким образом, при расчете величины затухания амплитуды колебания температуры в толще конструкции не представляется возможным выбрать расчетное сечение вдоль вектора теплового потока.

Одним из возможных методов определения амплитуды колебания температуры на внутренней поверхности ограждающей конструкции с теплопроводными включениями является моделирование нестационарных температурных условий в программных комплексах. Но данное решение вызывает большие затруднения, т. к. переводит указанный расчет из инженерного в научный и, следовательно, не может быть рекомендовано к непосредственному практическому применению.

Вторым вариантом решения данной задачи предлагается применение коэффициента сходимости  $\alpha$ , который можно получить эмпирически. Выбо-

ром значения коэффициента  $\alpha$  можно учесть влияние теплопроводного включения на средневзвешенное значение температуры на поверхности в зависимости от конструкции ограждения, используя соотношение

$$t_{\text{ср}} = \alpha \cdot t_{\text{вкл}} + (1 - \alpha)t_{\text{одн}}, \quad (2)$$

где  $t_{\text{ср}}$  – среднее взвешенное значение температуры на внутренней поверхности ограждающей конструкции с теплопроводными включениями, К;  $\alpha$  – коэффициент сходимости,  $0 \leq \alpha \leq 1$ ;  $t_{\text{вкл}}$  – температура на внутренней поверхности в зоне теплопроводного включения, К;  $t_{\text{одн}}$  – температура в однородной зоне, К.

Для определения коэффициента сходимости  $\alpha$  необходимо смоделировать расчетную схему наружной ограждающей конструкции с теплопроводными включениями при нестационарном тепловом режиме. Результатами измерений являются гармоники колебаний температуры  $t_{\text{вкл}}$  на внутренней поверхности ограждающей конструкции в точке теплопроводного включения и температуры  $t_{\text{одн}}$  однородной зоны, а также гармоники осредненной температуры  $t_{\text{ср}}$ , рассчитанные с помощью модели. При известных температурах, входящих в равенство (2), из него находится коэффициент сходимости  $\alpha$ .

Таким образом, компьютерное моделирование нестационарного температурного режима необходимо провести для определенного числа типовых ограждающих конструкций, для каждой из них получить значения коэффициента сходимости  $\alpha$ , а затем в последующих исследованиях при нахождении осредненной температуры  $t_{\text{ср}}$  по поверхности использовать готовую формулу (2), подставляя лишь входные данные  $t_{\text{вкл}}$  и  $t_{\text{одн}}$ .

Компьютерное моделирование позволяет получить массивы значений температур  $t_{\text{ср}}$ ,  $t_{\text{вкл}}$  и  $t_{\text{одн}}$ , по которым строятся графики гармоник. Процесс отыскания значений  $\alpha$  может быть основан на аппроксимации гармоник колебаний температур периодическими функциями, например, с использованием рядов Фурье, тогда уравнение (2) относительно  $\alpha$  решается аналитически, и полученное значение коэффициента сходимости является единственным для конкретных заданных параметров ограждающей конструкции. Этот подход применим даже в том случае, когда исходных значений температур  $t_{\text{ср}}$ ,  $t_{\text{вкл}}$  и  $t_{\text{одн}}$  мало (порядка 10 значений), поскольку для интерполяции периодической функции на одном интервале длины периода такого количества точек вполне достаточно. Оценка погрешности интерполяции в данной статье не производится.

Другой способ определения значения  $\alpha$  итерационный, т. е. уравнение (2) записывается в виде

$$t_{\text{ср}}^i = \alpha_i \cdot t_{\text{вкл}}^i + (1 - \alpha_i)t_{\text{одн}}^i, \quad i = 1, 2, 3 \dots n$$

и решается для каждого соответствующего  $i$ -го значения  $t_{\text{ср}}$ ,  $t_{\text{вкл}}$  и  $t_{\text{одн}}$ . Таким образом формируется массив значений  $\alpha_i$ , а сам коэффициент сходимости

определяется как среднее арифметическое по всем значениям  $\alpha^{\text{аппр}} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \alpha_i$ .

Затем строится график зависимости

$$t_{\text{ср,аппр}}^i = \alpha^{\text{аппр}} \cdot t_{\text{вкл}}^i + (1 - \alpha^{\text{аппр}}) t_{\text{одн}}^i,$$

который служит приближением графика температур  $t_{\text{ср}}$ . В статье использован итерационный подход, поскольку количество точек в массивах 864, что позволяет определить коэффициент сходимости  $\alpha$  с достаточной точностью.

### Результаты

Теплопроводные включения по своей форме и расположению условно можно разделить на шесть типов [13]. Данные типы теплопроводных включений наиболее присущи для жилых зданий малой и средней этажности (рис. 1). Для дальнейшего анализа за основной материал наружных ограждающих конструкций примем пенобетон, в качестве теплопроводных включений – тяжелый железобетон. При этом в расчетах рассмотрено несколько вариантов каждой расчетной схемы с изменением толщины ограждающей конструкции от 300 до 500 мм и плотностью 500–800 кг/м<sup>3</sup>. В качестве расчетных параметров летнего периода возьмем климатические условия для г. Донецка.

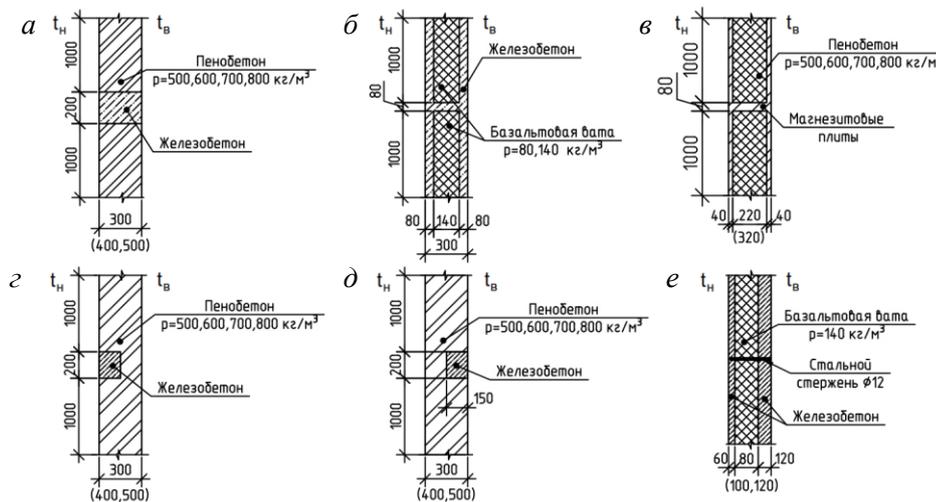


Рис. 1. Схемы расположения теплопроводных включений:

*a* – сквозного; *b* – толстостенной оболочки; *в* – тонкостенной оболочки; *г* – у внутренней грани; *д* – у наружной грани; *е* – стального сквозного стержня

В программном комплексе ELCUT6.4 произведено моделирование нестационарного температурного режима для шести конструктивных схем наружной стены с теплопроводными включениями (рис. 1).

При анализе результатов моделирования нестационарного теплового режима для схемы со сквозным теплопроводным включением (рис. 1, *a*) выявлено изменение температур в толще теплопроводного включения, которое описывается гармоникой (кривая 2 рис. 2), схожей с гармоникой изменения температур на наружной поверхности (кривая 1 рис. 3), пропорциональной коэффициенту затухания.

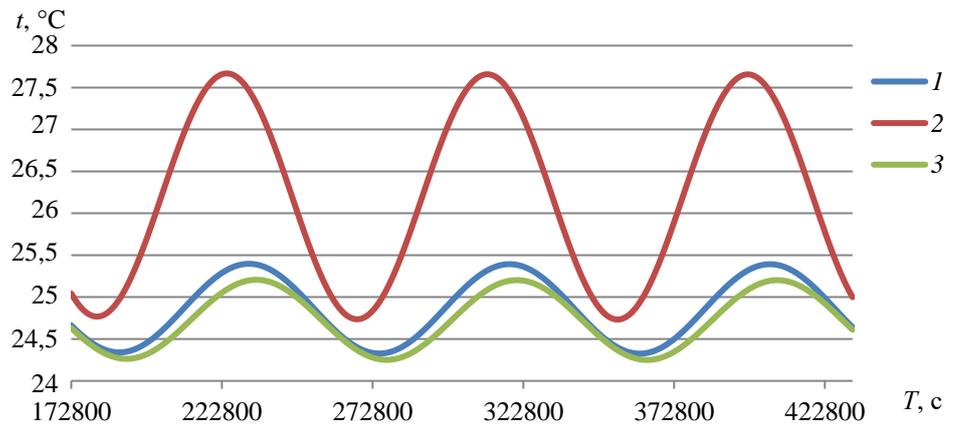


Рис. 2. Гармоники амплитуд колебания температур на внутренней поверхности в месте: 1 – осредненной по поверхности; 2 – теплопроводного включения; 3 – однородной поверхности

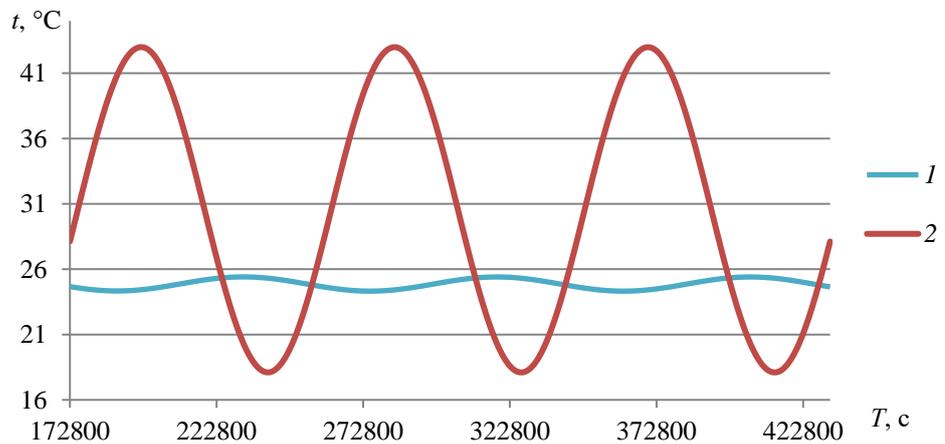


Рис. 3. Гармоники осредненных амплитуд колебания температур: 1 – на наружной поверхности; 2 – на внутренней поверхности

При сопоставлении гармоник колебания температур на внутренней поверхности в зоне теплопроводного включения и однородной зоны (кривые 2 и 3 рис. 2) установлены большие различия в амплитудах (в 3 раза) и незначительные смещения периода для схемы рис. 1, а. При анализе гармоник на внутренней поверхности однородной зоны и средневзвешенной температуры на внутренней поверхности (кривые 1 и 3 рис. 3), полученных в программном комплексе ELCUT6.4, установлены незначительные отклонения амплитуды и периода. Таким образом, появляется возможность получить температуры на внутренней поверхности с помощью предложенной методики через коэффициент  $\alpha$ .

Для схемы рис. 1, *a* были вычислены коэффициенты  $\alpha$ , которые в зависимости от плотности и толщины материала приведены в табл. 1. При сопоставлении значений коэффициента  $\alpha$  с сопротивлением теплопередаче, тепловой инерцией коэффициентом теплоусвоения не обнаружено простых зависимостей с высокой степенью сходимости.

Таблица 1

Значения коэффициента сходимости  $\alpha$  схемы рис. 1, *a*

Толщина, мм	Плотность, кг/м <sup>3</sup>			
	500	600	700	800
300	0,1911	0,0884	0,0998	0,0935
400	0,0597	0,1231	0,1640	0,1338
500	0,0696	0,1230	0,1563	0,1049

Анализ амплитуд колебаний наружной температуры (кривая 2 рис. 3) и на внутренней поверхности показывает, что для данной схемы происходит снижение амплитуды колебания для теплопроводного включения с 13 до 40 раз для осредненной поверхности.

В результате моделирования схемы рис. 1, *b* были получены коэффициенты сходимости  $\alpha$ , равные 0,1911 и  $\approx 0,000$  для толщин утеплителя 80 и 140 мм соответственно. Коэффициент сходимости для толщины 140 мм близок к нулю, но отличен от нуля, т. к. гармоника колебания температуры на внутренней поверхности в однородной зоне и осредненная по поверхности практически совпадают (кривые 1 и 3 рис. 4). В месте теплопроводного включения хоть и наблюдается большая амплитуда колебаний (кривая 2 рис. 4), но в связи с малой толщиной теплопроводного включения не оказывает влияния на осредненную величину амплитуды по всей внутренней поверхности ограждающей конструкции.

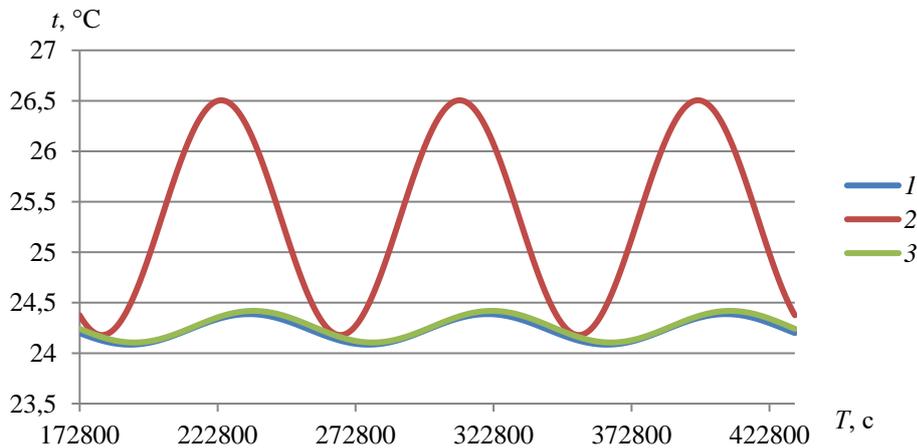


Рис. 4. Гармоники амплитуд колебания температур на внутренней поверхности в месте: 1 – осредненной по поверхности; 2 – теплопроводного включения; 3 – однородной поверхности

При анализе результатов моделирования конструкции с теплопроводным включением, согласно схеме рис. 1, в, найдены коэффициенты сходимости  $\alpha$  (табл. 2). Также установлено, что в связи с малой долей теплопроводного включения наблюдается незначительная разница в амплитудах колебаний (рис. 5) на внутренней поверхности. В данном случае теплопроводным включением можно пренебречь.

Таблица 2

Значения коэффициента сходимости  $\alpha$  схемы рис. 1, в

Толщина, мм	Плотность, кг/м <sup>3</sup>			
	500	600	700	800
300	0,4902	0,1663	0,2696	0,4174
400	0,0195	0,0195	0,6818	0,0906

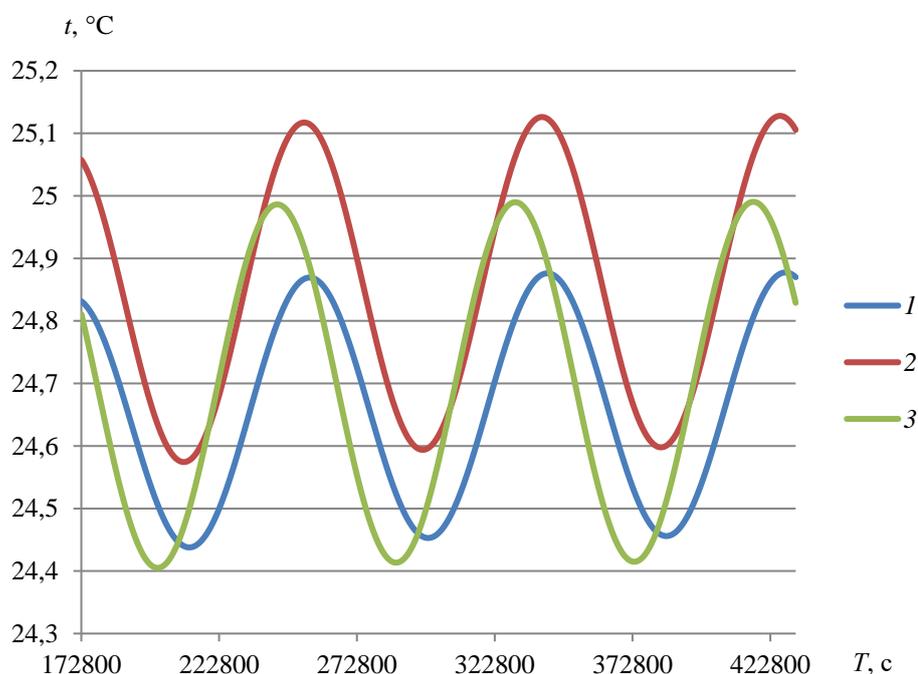


Рис. 5. Гармоники амплитуд колебания температур на внутренней поверхности в месте: 1 – осредненной по поверхности; 2 – теплопроводного включения; 3 – однородной поверхности

Результаты моделирования схемы рис. 1, в аналогичны результатам моделирования схемы рис. 1, а, но при толщине конструкции 500 мм установлено, что теплопроводное включение практически не оказывает влияния на осредненную амплитуду колебаний температуры на внутренней поверхности. В табл. 3 приведены значения коэффициента сходимости  $\alpha$ .

Таблица 3

Значения коэффициента сходимости  $\alpha$  схемы рис. 1,  $\varepsilon$ 

Толщина, мм	Плотность, кг/м <sup>3</sup>			
	500	600	700	800
300	0,1964	0,2517	0,1601	0,1787
400	0,1559	0,0718	0,2801	0,0010

При наружном несквозном расположении теплопроводного включения, как на схеме рис. 1,  $\varepsilon$ , зафиксировано изменение амплитуды колебаний только при толщине 300 мм, при больших значениях толщины гармоника температуры однородной зоны близка к осредненной (рис. 6). Полученные коэффициенты сходимости  $\alpha$  для толщины 300 мм представлены в табл. 4.

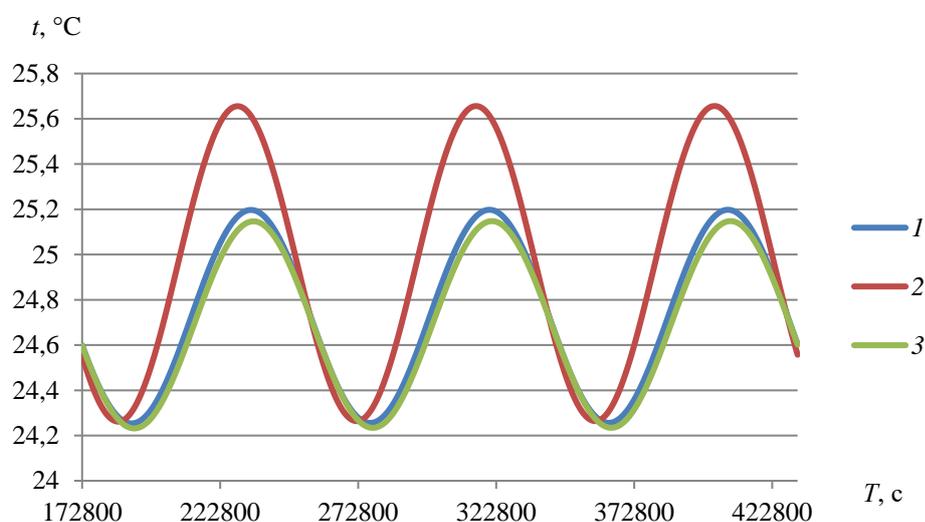


Рис. 6. Гармоники амплитуд колебания температур на внутренней поверхности в месте: 1 — осредненной по поверхности; 2 — теплопроводного включения; 3 — однородной поверхности

Таблица 4

Значения коэффициента сходимости  $\alpha$  схемы рис. 1,  $\delta$ 

Толщина, мм	Плотность, кг/м <sup>3</sup>			
	500	600	700	800
300	0,0493	0,0862	0,0141	0,0890

Кардинальное отличие имеет схема рис. 1,  $\varepsilon$  со сквозным теплопроводным включением: даже при малом диаметре стального стержня ( $\varnothing 12$  мм) он вызывает значительные возмущения амплитуды колебания температуры на внутренней поверхности. При амплитуде в однородной зоне 0,46 и 5,94 К для

теплопроводного включения (рис. 7) средняя амплитуда по поверхности равна 3,44 К, т. е. степень влияния теплопроводного включения равна 12,91.

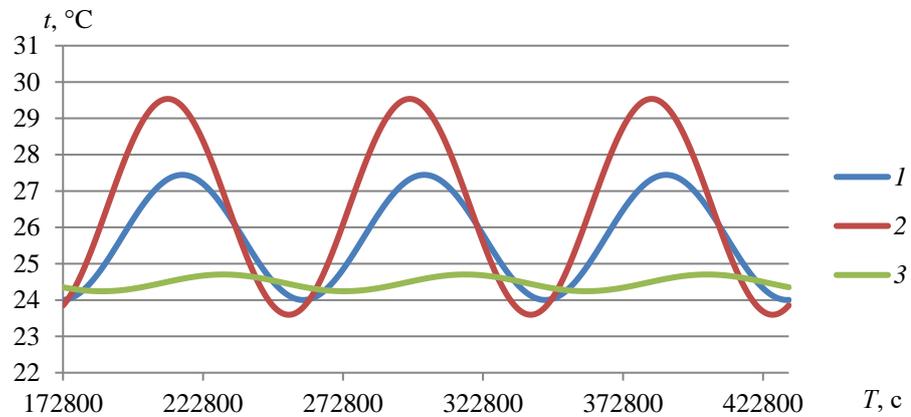


Рис. 7. Гармоники амплитуд колебания температур на внутренней поверхности в месте: 1 – осредненной по поверхности; 2 – теплопроводного включения; 3 – однородной поверхности

Для предыдущих схем данная величина колеблется в пределах от 3,0 до 5,0. Также были вычислены величины коэффициента сходимости для различной толщины ограждающей конструкции, которые составили:  $\alpha = 0,4451$  для 80 мм;  $\alpha = 0,7040$  для 100 и 120 мм.

### Выводы

При анализе конструктивных решений наружных ограждающих конструкций были выявлены особенности влияния теплопроводных включений на осредненную амплитуду колебания на внутренней поверхности. В схемах с расположением теплопроводного включения у наружной грани или сквозным наблюдается незначительное влияние амплитуды колебания теплопроводного включения на осредненную амплитуду по поверхности конструкции. В конструкциях, в которых теплопроводное включение играет роль оболочки или расположено у наружной грани, степень влияния незначительна, а при максимальных толщинах отсутствует. Наибольшую степень влияния оказывает схема со сквозным расположением теплопроводного включения в виде стального стержня  $\varnothing 12$  мм. Данное теплопроводное включение в 4 раза больше влияет на амплитуду колебания температуры внутренней поверхности, чем в схемах со сквозным теплопроводным включением в виде бетонной перемычки толщиной 200 мм. Исходя из данной схемы, можно сделать вывод, что конструкции с большим процентом армирования или наличия поперечной арматуры не будут удовлетворять нормам проектирования в летний период года.

В результате сравнения двух методов построения гармоник колебания средней температуры на внутренней поверхности предпочтение отдается методике с коэффициентом сходимости. Данная методика показала сходимость полученной гармонике с теоретической до 97 %. Метод средних квадратов

показал высокую сходимость в средней температурной зоне кривой, но в пиковой части гармоник этот метод уменьшает максимальные и минимальные значения температуры. Данное занижение значений температуры резко снижает нормируемый коэффициент – амплитуду колебаний на внутренней поверхности. Таким образом, рассчитанные значения средней амплитуды поверхности значительно снижаются относительно данных, полученных в результате моделирования нестационарного теплового потока в программном комплексе ELCUT 6.4.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Самарин О.Д., Шевченко И.С. Оценка теплотехнической неоднородности наружной стены при изменении толщины утеплителя // С.О.К. 2016. № 3. С. 42–43.
2. Самарин О.Д., Макешин Д.А. Обоснование теплозащиты неоднородных ограждений // С.О.К. 2015. № 4. С. 52–54.
3. Голубев С.С. Определение приведенного сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций на основе численного расчета распределения температурных полей // Научно-технический вестник Поволжья. 2011. № 5. С. 93–97.
4. Макаров Р.А., Муреев П.Н., Макаров А.Н. Определение поправки к термическому сопротивлению при квазистационарном режиме теплопередачи в наружных стенах, выполненных из кирпича // Современные проблемы науки и образования. 2015. № 1–1. С. 1992–1992.
5. Макаров А.Н., Муреев П.Н., Макаров Р.А. Решение задачи регулирования температуры внутренней поверхности наружных стен реконструируемых зданий постройки 60–80-х годов XX века // Фундаментальные исследования. 2016. № 6-1. С. 83–87.
6. Миков А.В., Балущкин А.Л. Влияние теплопроводных включений на расчет приведенного сопротивления теплопередаче фасада жилого здания с использованием расчетов температурных полей // Научно-технический прогресс как механизм развития современного общества : сборник статей Международной научно-практической конференции. Уфа, 2020. С. 38–45.
7. Белоус А.Н., Котов Г.А., Сапронов Д.А., Новиков Б.А. Определение сопротивления теплопередаче при нестационарном тепловом режиме // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2020. Т. 22. № 6. С. 83–93.
8. Гагарин В.Г., Неклюдов А.Ю. Учет теплотехнических неоднородностей ограждений при определении тепловой нагрузки на систему отопления здания // Жилищное строительство. 2014. № 6. С. 3–7.
9. Гагарин В.Г., Плющенко Н.Ю. Определение термического сопротивления вентилируемой прослойки НФС // Строительство: наука и образование. 2015. № 1. С. 1–1.
10. Горшков А.С. Предложения по совершенствованию нормативных требований к ограждающим конструкциям // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. 2017. № 1–2. С. 49–52.
11. Михеев Д.А. Сравнительный анализ отмененного и предложенного методов расчета приведенного сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций // Научный журнал строительства и архитектуры. 2017. № 3 (47). С. 11–20.
12. Туснина О.А. Теплотехнический расчет конструкций численными методами // Вестник МГСУ. 2013. № 11. С. 91–99.
13. Богословский В.Н. Строительная теплофизика (теплофизические основы отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха). Москва : Высшая школа, 1982. 415 с.
14. Кошлатый О.Б. Зависимость теплоустойчивости наружных стен от их конструктивного решения // Новые идеи нового века: материалы Международной научной конференции ФАД ТОГУ. 2013. Т. 2. С. 357–360.
15. Малявина Е.Г., Усманов Ш.З. Ограничение амплитуды колебаний температуры помещения в теплый период года // Вестник гражданских инженеров. 2017. № 2 (61). С. 188–194.

16. Горшков А.С., Рымкевич П.П. Диаграммный метод описания процесса нестационарной теплопередачи // Инженерно-строительный журнал. 2015. № 8 (60). С. 68–82.
17. Панферов В.И., Панферов С.Ф. Применение метода частотных передаточных функций для решения одной задачи теплоустойчивости ограждения // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2015. Т. 15. № 1. С. 48–51.
18. Кутуев М.Д., Манапбаев И.К. Использование метода интерполирования для расчета теплоустойчивости ограждающих конструкций в условиях Кыргызстана // Вестник КРСУ. 2017. Т. 17. № 5. С. 157–159.
19. Deconinck A., Roels S. The as-built thermal quality of building components: characterising non-stationary phenomena through inverse modelling // Energy Procedia. October 2017. V. 132. P. 351–356.
20. Rulik S., Wróblewski W., Majkut M., Stozik M., Rusin K. Experimental and numerical analysis of heat transfer within cavity working under highly non-stationary flow conditions // Energy. January 2020. V. 190:116303.
21. Stolarska A., Strzałkowski J. Modelling of Edge Insulation Depending on Boundary Conditions for the Ground Level. // IOP Conference Series Materials Science and Engineering. October 2017. V. 245 (4):042003.
22. Adilhodzhaev A.I., Shaumarov S.S., Shipacheva E.V., Kandahorov S.I. Complex approach at thermalization external walls of residential buildings // International Journal of Advanced Research in Science, Engineering and Technology. India, 2019. V. 6. I. 1. P. 71–77.
23. Shaumarov S.S. On the issue of increasing energetic efficiency of buildings in railway transport // Transport Problems – 2016 : VIII International Conference, Katowice, Poland. P. 522–532.
24. Белоус А.Н., Белоус О.Е., Крахин С.В. Перераспределение теплового потока в толще ограждающей конструкции при суточном цикле летнего периода // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2021. Т. 23. № 2. С. 96–104. DOI 10.31675/1607-1859-2021-23-2-96-104

#### REFERENCES

1. Samarin O.D., Shevchenkova I.S. Otsenka teplotekhnicheskoi neodnorodnosti naruzhnoi steny pri izmenenii tolshchiny uteplitelya [Thermal heterogeneity of outer wall when changing insulation thickness]. *S.O.K.* 2016. No. 3. Pp. 42–43. (rus)
2. Samarin O.D., Makeshin D.A. Obosnovanie teplozashchity neodnorodnykh ograzhdenii [Rationale for thermal protection of heterogeneous wall systems]. *S.O.K.* 2015. No. 4. Pp. 52–54. (rus)
3. Golubev S.S. Opredelenie privedennogo soprotivleniya teploperedache ograzhdayushchikh konstruktssii na osnove chislennogo rascheta raspredeleniya temperaturnykh polei [Determination of reduced heat transfer resistance of building envelopes based on numerical calculation of temperature field distribution]. *Nauchno-tekhnicheskii vestnik Povolzh'ya*. 2011. No. 5. Pp. 93–97. (rus)
4. Makarov R.A., Mureev P.N., Makarov A.N. Opredelenie popravki k termicheskomu soprotivleniyu pri kvazistatsionarnom rezhime teploperedachi v naruzhnykh stenakh, vypolnennykh iz kirpicha [Correction to thermal resistance in quasi-stationary heat transfer mode in exterior brick walls]. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya*. 2015. No.1–1. Pp. 1992–1992. (rus)
5. Makarov A.N., Mureev P.N., Makarov R.A. Reshenie zadachi regulirovaniya temperatury vnutrennei poverkhnosti naruzhnykh sten rekonstruiemykh zdaniy postroiki 60–80-kh godov XX veka [Temperature control of inner surface of wall systems of reconstructed buildings built in the 1960s and 1980s]. *Fundamental'nye issledovaniya*. 2016. No. 6-1. Pp. 83–87. (rus)
6. Mikov A.V., Balushkin A.L. Vliyaniye teploprovodnykh vkluychenii na raschet privedennogo soprotivleniya teploperedache fasada zhilogo zdaniya s ispol'zovaniem raschetov temperaturnykh polei [Influence of heat-conducting elements on heat transfer resistance of residential building facade using temperature field calculations]. In: *Nauchno-tekhnicheskii progress kak mekhanizm razvitiya sovremennogo obshchestva: sbornik statei Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii (Proc. Int. Sci. Conf. 'Scientific and Technological Progress as a Mechanism for Development of Modern Society')*. Ufa, 2020. Pp. 38–45. (rus)

7. Belous A.N., Kotov G.A., Sapronov D.A., Novikov B.A. Opredelenie soprotivleniya teploperedache pri nestatsionarnom teplovom rezhime [Heat transfer resistance in non-stationary thermal conditions]. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture*. 2020. V. 22. No. 6. Pp. 83–93. (rus)
8. Gagarin V.G., Neklyudov A.Yu. Uchet teplotekhnicheskikh neodnorodnostei ograzhdenii pri opredelenii teplovoi nagruzki na sistemu otopeniya zdaniya [Consideration of thermal heterogeneities of enclosures in determining heat load on heating system of building]. *Zhilishchnoe stroitel'stvo*. 2014. No. 6. Pp. 3–7. (rus)
9. Gagarin V.G., Plyushchenko N.Yu. Opredelenie termicheskogo soprotivleniya ventiliruemoi prosloiki NFS [Thermal resistance of ventilated NFS layer]. *Stroitel'stvo: nauka i obrazovanie*. 2015. No. 1. Pp. 1–1. (rus)
10. Gorshkov A.S. Predlozheniya po sovershenstvovaniyu normativnykh trebovaniy k ograzhdayushchim konstrukttsiyam [Improvement of regulatory requirements for building envelopes]. *Stroitel'nye materialy, oborudovanie, tekhnologii XXI veka*. 2017. No. 1–2. Pp. 49–52. (rus)
11. Mikheev D.A. Sravnitel'nyi analiz otmenennogo i predlozhennogo metodov rascheta privedennogo soprotivleniya teploperedache ograzhdayushchikh konstrukttsii [Comparative analysis of abolished and proposed methods for calculating heat transfer resistance of building envelopes]. *Nauchnyi zhurnal stroitel'stva i arkhitektury*. 2017. No. 3 (47). Pp. 11–20. (rus)
12. Tushina O.A. Teplotekhnicheskii raschet konstrukttsii chislennymi metodami [Thermal calculation of structures by numerical methods]. *Vestnik MGSU*. 2013. No. 11. Pp. 91–99. (rus)
13. Bogoslovskii V.N. Stroitel'naya teplofizika (teplofizicheskie osnovy otopeniya, ventilyatsii i konditsionirovaniya vozdukh) [Construction thermophysics (thermophysical basis of heating, ventilation, and air conditioning)]. Moscow: Vysshaya shkola, 1982. 415 p. (rus)
14. Koshlatyi O.B. Zavisimost' teploustoichivosti naruzhnykh sten ot ikh konstruktivnogo resheniya [Dependence of thermal resistance of exterior walls on their design solution]. In: *Novye idei novogo veka: materialy mezhdunarodnoi nauchnoi konferentsii (Proc. Int. Sci. Conf. 'New Ideas of New Century')*. 2013. V. 2. Pp. 357–360. (rus)
15. Malyavina E.G., Usmanov Sh.Z. Ogranichenie amplitudy kolebaniy temperatury pomeshcheniya v teplyi period goda [Limiting the amplitude of room temperature fluctuations during summer period]. *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov*. 2017. No. 2 (61). Pp. 188–194. (rus)
16. Gorshkov A.S., Rymkevich P.P. Diagrammnyi metod opisaniya protsessa nestatsionarnoi teploperedachi [Diagram method to describe nonstationary heat transfer]. *Inzhenerno-stroitel'nyi zhurnal*. 2015. No. 8 (60). Pp. 68–82. (rus)
17. Panferov V.I., Panferov S.F. Primenenie metoda chastotnykh peredatochnykh funktsii dlya resheniya odnoi zadachi teploustoichivosti ograzhdeniya [Frequency transfer function method for heat resistance of building envelopes]. *Vestnik Yuzhno-Ural'skogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arkhitektura*. 2015. V. 15. No. 1 Pp. 48–51. (rus)
18. Kutuev M.D., Manapbaev I.K. Ispol'zovanie metoda interpolirovaniya dlya rascheta teploustoichivosti ograzhdayushchikh konstrukttsii v usloviyakh Kyrgystana [Interpolation method to calculate heat resistance of fencing structures Kyrgyzstan]. *Vestnik KRSU*. 2017. V. 17. No. 5. Pp. 157–159. (rus)
19. Deconinck A., Roels S. The as-built thermal quality of building components: characterising non-stationary phenomena through inverse modelling. *Energy Procedia*. 2017. V. 132. Pp. 351–356. (rus)
20. Rulik S., Wróblewski W., Majkut M., Stozik M., Rusin K. Experimental and numerical analysis of heat transfer within cavity working under highly non-stationary flow conditions. *Energy*. 2020. V. 190. 116303. (rus)
21. Stolarska A., Strzałkowski J. Modelling of edge insulation depending on boundary conditions for the ground level. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2017. V. 245 No. 4. 042003.
22. Adilhodzhaev A.I., Shaumarov S.S., Shipacheva E.V., Kandahorov S.I. Complex approach at thermalization external walls of residential buildings. *International Journal of Advanced Research in Science, Engineering and Technology*. 2019. V. 6. I. 1. Pp. 71–77.
23. Shaumarov S.S. On the issue of increasing energetic efficiency of buildings in railway transport. In: *Proc. 8th Int. Conf. 'Transport Problems – 2016'*. Katowice, Poland. Pp. 522–532.

24. *Belous A.N., Belous O.E., Krakhin S.V.* Pereraspredelenie teplovogo potoka v tolshe ograzhdayushchei konstruktsii pri sutochnom tsikle letnego perioda [Heat flow redistribution in wall structure during diurnal cycle in summer]. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture*. 2021. V. 23. No. 2. Pp. 96-104. DOI 10.31675/1607-1859-2021-23-2-96-104 (rus)

#### **Сведения об авторах**

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

*Белоус Ольга Евгениевна*, ассистент, Донбасская национальная академия строительства и архитектуры, 286123, Донецкая Народная Республика, г. Макеевка, ул. Державина, 2, ol-0929@mail.ru

*Кулумбегова Лонда Зауровна*, ст. преподаватель, Юго-Осетинский государственный университет им. А.А. Тибилова, 100001, Республика Южная Осетия, г. Цхинвал, ул. Путина (бывшая ул. Московская), 8, londalonda1965@mail.ru

*Крахин Станислав Валерьевич*, ст. преподаватель, Донбасская национальная академия строительства и архитектуры, 286123, Донецкая Народная Республика, г. Макеевка, ул. Державина, 2, stakr@yandex.ua

#### **Authors Details**

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

*Ol'ga E. Belous*, Assistant Lecturer, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture, 2, Derzhavin Str., Donetsk Region, 86123, Makiivka, Donetsk People's Republic, ol-0929@mail.ru

*Londa Z. Kulumbegova*, Senior Lecturer, South Ossetian State University, 8, Putin Str., 100001, Tskhinvali, Republic of South Ossetia, londalonda1965@mail.ru

*Stanislav V. Krakhin*, Senior Lecturer, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture, 2, Derzhavin Str., Donetsk Region, 86123, Makiivka, Donetsk People's Republic, stakr@yandex.ua

УДК 624.012.042.8.001.2

DOI: 10.31675/1607-1859-2021-23-6-143-156

*О.Г. КУМПЯК, Д.Р. ГАЛЯУТДИНОВ,**Томский государственный архитектурно-строительный университет*

## **ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ БАЛОК С РАСПОРОМ НА ПОДАТЛИВЫХ ОПОРАХ ПРИ КРАТКОВРЕМЕННОМ ДИНАМИЧЕСКОМ НАГРУЖЕНИИ**

При проектировании железобетонных балочных конструкций с ограничением горизонтального смещения на опорах при кратковременном динамическом нагружении необходимо учитывать возникновение реакции распора. Наличие распора приводит к значительному увеличению прочности и трещиностойкости конструкций, а при использовании податливых опор к повышению их энергоемкости.

Целью экспериментального исследования является изучение целесообразности применения податливых опор в распорных динамически нагруженных конструкциях.

В работе представлены результаты экспериментальных исследований железобетонных балочных конструкций с распором на податливых опорах при кратковременном динамическом нагружении. Рассмотрено влияние податливых опор на прочность, деформативность и трещиностойкость железобетонных конструкций с распором.

Результаты экспериментальных исследований свидетельствуют о положительном эффекте применения податливых опор в динамически нагруженных конструкциях с распором.

**Ключевые слова:** железобетонная балка; податливая опора; распор; кратковременная динамическая нагрузка; опорная реакция; перемещения; ускорения.

**Для цитирования:** Кумпяк О.Г., Галяутдинов Д.Р. Экспериментальные исследования железобетонных балок с распором на податливых опорах при кратковременном динамическом нагружении // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2021. Т. 23. № 6. С. 143–156.

DOI: 10.31675/1607-1859-2021-23-6-143-156

*O.G. KUMPYAK, D.R. GALYAUDINOV,**Tomsk State University of Architecture and Building*

## **REINFORCED CONCRETE BEAMS ON YIELDING SUPPORTS WITH THRUST UNDER DYNAMIC LOAD**

Reinforced concrete beam with limited horizontal displacement on yielding supports under dynamic loading require considering the thrust response. The thrust presence significantly increases the beam strength and crack resistance. The use of yielding supports increases their energy intensity. The purpose of the paper is the experimental study of using yielding supports under the dynamic load conditions. The experimental results concern the reinforced concrete beam with yielding supports with a thrust under the dynamic load. The paper shows the effect from yielding supports on the strength, deformability, and crack resistance of reinforced concrete beams. The obtained results indicate to a positive effect from the use of yielding supports of the beam under the dynamic load.

**Keywords:** reinforced concrete beam; yielding support; thrust; dynamic load; thrust response; displacement; acceleration.

**For citation:** Kumpyak O.G., Galyautdinov D.R. Eksperimental'nye issledovaniya zhelezobetonnykh balok s rasporom na podatlivykh oporakh pri kratkovremennom

dinamicheskom nagruzhenii [Reinforced concrete beams on yielding supports with thrust under dynamic load]. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture. 2021. V. 23. No. 6. Pp. 143–156.  
DOI: 10.31675/1607-1859-2021-23-6-143-156

Вследствие непрерывного развития химической, нефтяной, газовой и других отраслей промышленности увеличивается вероятность возникновения и воздействия на конструкции зданий и сооружений случайных кратковременных динамических нагрузок большой интенсивности. Сооружения, проектируемые на особые динамические воздействия, часто возводятся из сборного и сборно-монолитного железобетона по рамной и рамно-связевой конструктивным схемам. Для стыков сборных элементов по ряду причин имеет место их горизонтальная и вертикальная податливость. При этом в изгибаемых конструкциях вследствие ограничения горизонтального смещения в опорных закреплении возникает реакция распора.

Результаты экспериментально-теоретических исследований [1–6] показывают, что явление распора приводит к повышению несущей способности изгибаемых железобетонных конструкций и достаточно хорошо изучено при статическом нагружении. При однократном кратковременном динамическом нагружении действие распора на работу конструкции неоднозначно. С одной стороны, действие распора повышает несущую способность конструкции, с другой – понижается ее деформативность. Снижение деформативности отрицательно сказывается на пластических свойствах железобетонной конструкции и часто приводит к уменьшению ее динамической прочности.

Экспериментально-теоретические исследования железобетонных конструкций при интенсивном динамическом воздействии при их вертикальной податливости на опорах отражены в работах отечественных [7–12] и зарубежных [13–16] ученых. Установлено, что одним из эффективных способов повышения сопротивления конструкций указанным воздействиям является применение податливых опор. При этом степень снижения динамической реакции определяется упругопластическими свойствами податливой опоры и соотношением жесткостей опоры и конструкции.

С целью экспериментальной оценки напряженно-деформированного состояния железобетонных балочных конструкций на податливых опорах с распором при кратковременном динамическом нагружении разработана и реализована программа исследований (таблица). Было запроектировано и изготовлено 14 опытных конструкций. Отличие между конструкциями: в характере нагружения (статическое или кратковременное динамическое), наличии или отсутствии распора и характере деформирования податливых опор (упругопластическая, упругопластическая с отвердением). В таблице приняты следующие обозначения: «Б» – железобетонная балка; «С» – статическая нагрузка; «Д» – динамическая нагрузка; «Р» – наличие распора; «П» – наличие податливых опор, деформирующихся в упругопластической стадии «у» или упругопластической с отвердением «о»; «1...14» – порядковый номер конструкции. Например, конструкция «БДРПО-6» расшифровывается как балка «Б»,

подверженная динамическому нагружению «Д» с учетом ограничения горизонтального смещения «Р» на податливых опорах «П», деформируемых в стадии отвердения «о» под номером б.

### Программа экспериментальных исследований

Характер нагрузки	Статика		Кратковременное динамическое нагружение											
	-	+	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Наличие распора	-	+	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Тип опор	Жесткие опоры					Податливые опоры								
Стадия работы податливых опор	-	-	-	-	-	Отвердение	Отвердение	Упругопластическая	Упругопластическая	Упругопластическая	Отвердение	Упругопластическая	Упругопластическая	Упругопластическая
Длина податливых опор $l$ , мм	-	-	-	-	-	20	40	60	80	100	50	100	160	180
Шифр образца	БС-1	БСР-2	БД-3	БДР-4	БДР-5	БДРПо-6	БДРПо-7	БДРПу-8	БДРПу-9	БДРПу-10	БДРПо-11	БДРПу-12	БДРПу-13	БДРПу-14
Кол-во	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Образцы приняты прямоугольного сечения размером 150×220 мм и длиной 1900 мм. Бетон тяжелый класса В35. Армирование опытных конструкций выполнялось пространственным каркасом. Армирование нижней зоны балок осуществлялось из горячекатаной стержневой арматуры класса А500с 2Ø10, верхней зоны – из арматуры класса А240 2Ø6. Поперечное армирование выполнено из вязаных хомутов холоднодеформируемой арматурной стали Ø5 Вр500, установленных с шагом 50 мм в приопорной зоне и 130 мм в середине пролета. Для усиления торцевых участков балок использованы сетки с ячейкой 50×50 мм из холоднодеформированной арматуры Ø5 мм класса Вр500 по 7 сеток с каждой стороны и установлены уголки 100×10 мм (рис. 1).

На образцах был размещен комплекс измерительных приборов (рис. 2): для определения перемещений балки и смятия податливых опор – индуктивные датчики положения Wayson серии RL150 и RL50 соответственно; для измерения ускорений – акселерометры (DHE 100023); для определения реакции системы – датчик силоизмерительный тензорезисторный ДСТ 4126 и для опреде-

ления величины опорных реакций – динамометрические опоры (патент РФ на полезную модель № 161908). Приборы были подключены к ЭВМ Mic-036R и Mic-400D. Для определения величины распора на тяжи были наклеены тензорезисторы с базой 50 мм. Визуализация картины развития трещин в процессе кратковременного динамического нагружения выполнена с применением высокоскоростной камеры с частотой съемки 2500 кад/с (Photron Fastcam SA-2).

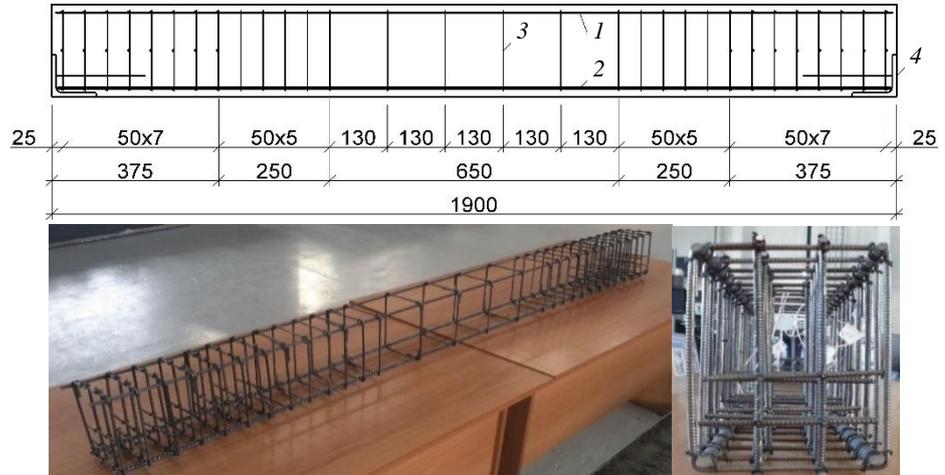


Рис. 1. Схема армирования железобетонных конструкций: арматура  $\varnothing 6$  мм класса А240 (1); арматура  $\varnothing 10$  мм класса А500с (2); арматура  $\varnothing 5$  мм класса Вр 500 (3); равнополочный уголок  $100 \times 10$  мм (4)

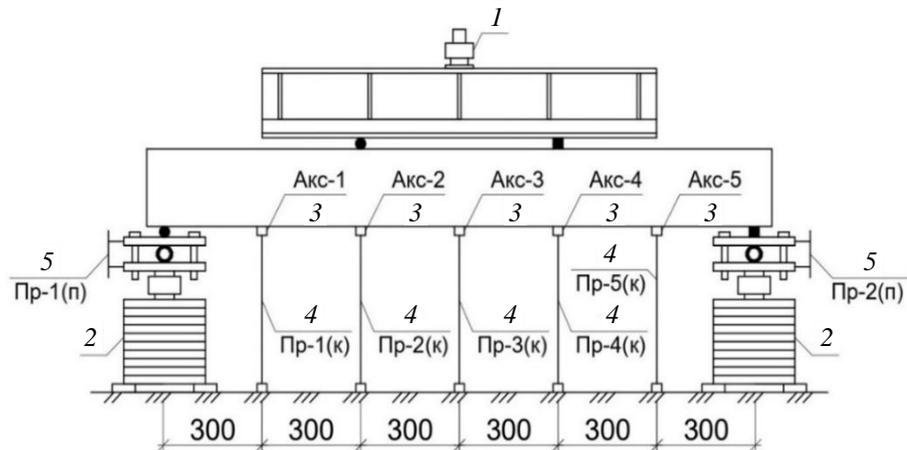


Рис. 2. Схема расположения измерительных приборов: силоизмерительная установка ДСТ-4126 (1); динамометрическая опора (патент РФ № 176603) (2); акселерометр (DHE 100023) (3); датчики перемещения Wayson серии RL150 (4); датчики перемещения Wayson серии RL50 (5)

Исследования опытных конструкций на статическую нагрузку проводились на испытательном стенде (рис. 3). Конструкции рассматривались как бал-

ки, свободно лежащие на опорах. Распор создавался при помощи ограничительного контура, состоящего из торцевых траверс, соединенных между собой двумя тяжами диаметром 60 мм. Траверсы упирались в торцы балок с возможностью поворота через две пластины и трубу сплошного сечения между ними (рис. 4). В пластинах были предусмотрены фрезерованные пазы. Перед испытанием создавалось начальное обжатие в уровне расположения растянутой арматуры при помощи установленного домкрата с торца траверсы, затем ограничительный контур фиксировался при помощи гаек, накручиваемых на тяжах. Величина предварительного обжатия принималась по результатам статических испытаний и составляла 5...10 % от  $N_{max}$ . При статическом нагружении сосредоточенная нагрузка на опытные конструкции прикладывалась поэтапно через распределительную траверсу, с величиной нагрузки на каждом этапе 4 кН. Нагрузка задавалась с помощью гидравлического домкрата ДГ-25.

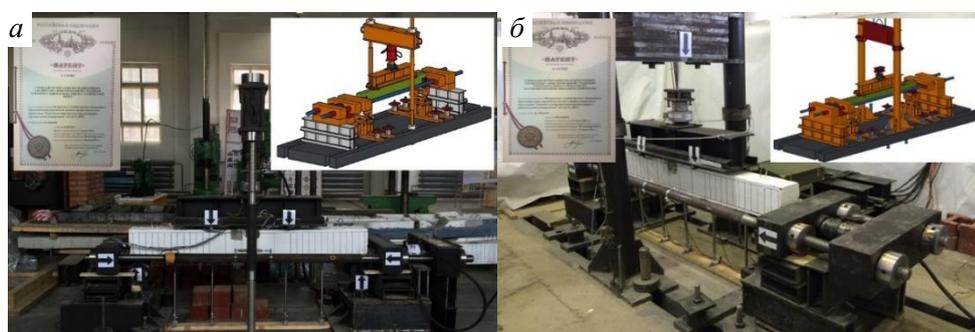


Рис. 3. Стенды для испытания балок с распором на жестких опорах при статическом нагружении (а) и при кратковременном динамическом нагружении на податливых опорах (б). Патенты на полезную модель РФ № 148401 и № 147262



Рис. 4. Узел сопряжения железобетонной балки и торцевой траверсы: траверса (1); железобетонная балка (2); металлическая пластина (3); труба сплошного сечения (4)

Кратковременная динамическая нагрузка на конструкцию прикладывалась через распределительную траверсу (рис. 3). По закрепленным направляющим сбрасывался груз массой 450 кг с высоты, определенной расчетом, составляющей 750 и 1150 мм. Высота 750 мм назначалась для шарнирно опертой конструкции БД-3 без распора и податливых опор, доводимой до полного разрушения. С целью оценки влияния распора на прочность и деформативность при высоте падения груза 750 мм также испытана конструкция БДР-4.

Для работы конструкции в упругопластической стадии при условии ограничения её горизонтального смещения на опорах высота падения груза составляла 1150 мм (БДР-5). В дальнейшем испытания проводились при варьировании жесткости податливых опор с целью сопоставления результатов с опытными данными, полученными для образцов БД-3 и БДР-5, при высотах падения 750 и 1150 мм соответственно.

**Статика.** Согласно программе экспериментальных исследований (табл. 1), при статической нагрузке было испытано два образца: без распора (БС-1) и с распором (БСР-2). Получены диаграммы деформаций арматуры, бетона и тяжей, а также перемещения конструкции в зависимости от нагрузки (рис. 5 и 6).

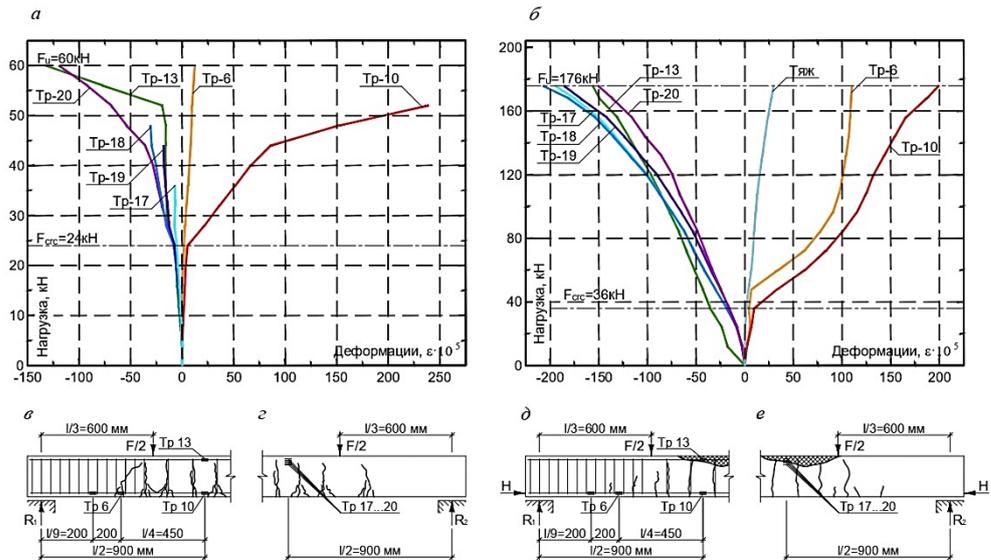


Рис. 5. Диаграммы развития деформаций арматуры и бетона: балки БС-1 при статическом нагружении (а); схема расположения тензорезисторов на арматуре и бетоне, картина трещинообразования (в, г); балки БСР-2 с распором при статическом нагружении (б); схема расположения тензорезисторов на арматуре и бетоне, картина трещинообразования (д, е)

В результате статических испытаний для шарнирно опертой балки без распора БС-1 разрушающая нагрузка составила  $F_u = 60$  кН, а для балки с распором БСР-2  $F_u = 176$  кН, увеличение несущей способности составило 2,93 раза, при этом максимальные прогибы снизились на 235 % (рис. 6). По развитию прогибов видно, что ограничение горизонтального смещения влияет на прогиб конструкции с начальных этапов нагружения. Появление первых трещин в балке без распора отмечено при нагрузке  $F_{crc} = 24$  кН, а с распором  $F_{crc} = 36$  кН (рис. 5), что свидетельствует о снижении деформаций конструкции с распором. Рассматривая деформации тяжей, можно видеть, что распор в конструкции возникает с первых этапов нагружения. Значительное увеличение распора наблюдается после раскрытия первых трещин. При этом рост распорных усилий в процессе нагружения имеет нелинейный характер. По схемам разрушения образцов и развитию трещин видно, что наличие распора

приводит к повышению трещиностойкости в балках, разрушение происходит по бетону сжатой зоны, при этом напряжения в растянутой арматуре достигли физического предела текучести (рис. 5 и 6).

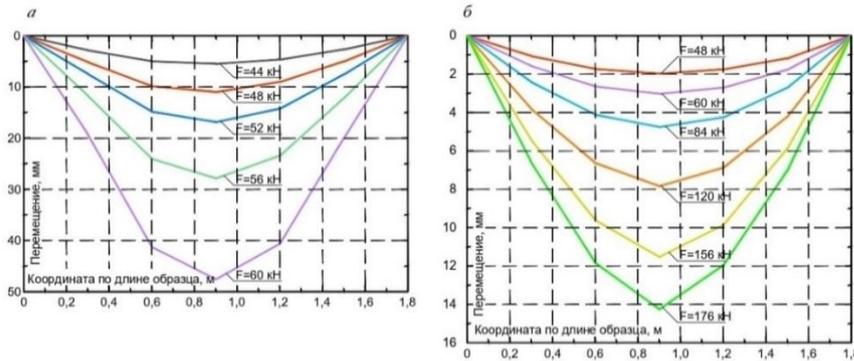


Рис. 6. Перемещения балки БС-1(а) и БСР-2(б) при статическом нагружении

**Динамика. Жесткие опоры.** Результаты испытания образцов БД-3, БДР-4, БДР-5 на жестких опорах представлены на рис. 7.

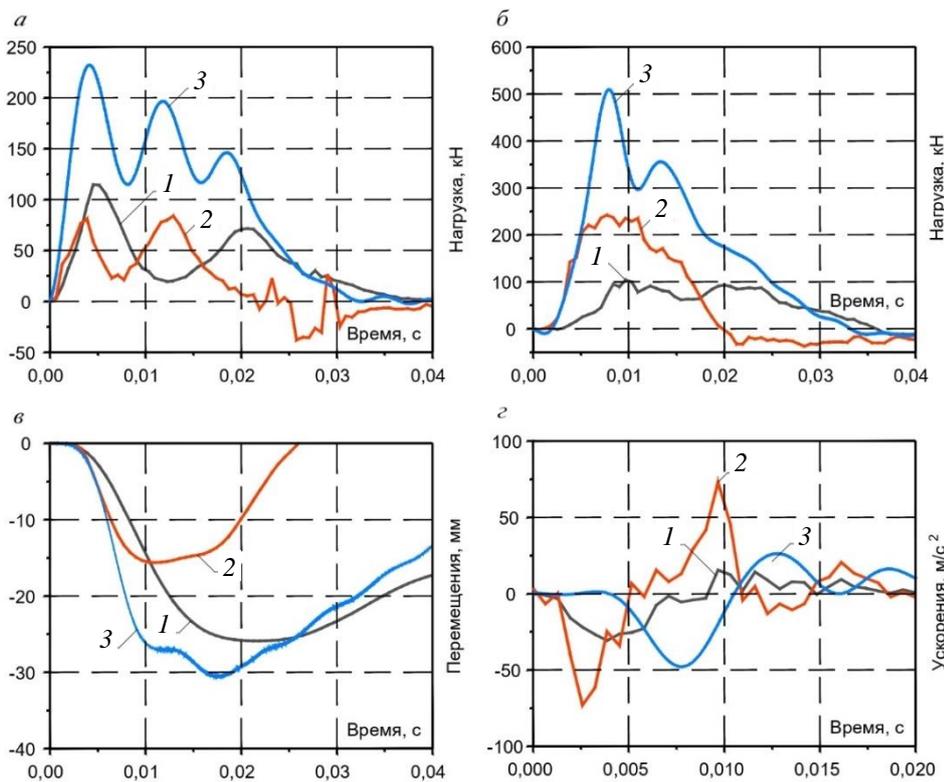


Рис. 7. Диаграммы изменения во времени реакции системы (а), опорных реакций (б), перемещений (в) и ускорений (г) по результатам испытаний железобетонных балок БД-3(1), БДР-4(2), БДР-5(3) на жестких опорах при динамическом нагружении

Наблюдается запаздывание по времени опорных реакций и включение в работу арматуры и бетона на величину 0,003 с. Конструкции БД-3 и БДР-5 доведены до пластической стадии. Силы инерции начинают развиваться на первоначальном этапе в момент нарастания реакции системы. При максимальном значении реакции системы наблюдается наибольшее значение силы инерции. Происходит снижение прогибов, количества и ширины раскрытия трещин балки БДР-4 по отношению к образцу БД-3 за счет наличия распора при одинаковом уровне нагружения. Для образца БДР-5, высота падения груза для которого составляла 1150 мм, динамическая реакция увеличилась в 2 раза по отношению к образцу БД-3 при равных перемещениях. Наличие распора приводит к более ранним пиковым значениям измеряемых параметров.

В результате испытания образца БДР-5 в предельном состоянии установлено одновременно с достижением в растянутой арматуре физического предела текучести хрупкое разрушение бетона сжатой зоны. Реакция конструкции на динамическое воздействие жестче. Реакция балки на внешнее воздействие БДР-5 в два раза больше, чем балки БДР-4. Для конструкции БДР-4 при наличии ограничения горизонтального смещения наблюдается значительное снижение трещинообразования (рис. 8).



Рис. 8. Картина развития трещин в момент достижения максимальных перемещений железобетонных балок БД-3(а), БДР-4(б), БДР-5(в) на жестких опорах при кратковременном динамическом нагружении

**Динамика. Податливые опоры. Высота падения груза 750 мм.** На упругопластических податливых опорах с отвердением выполнены испытания двух балок с распором – БДРПо-6, БДРПо-7 (рис. 9, 10). По результатам испытания конструкции БДРПо-6 установлено снижение опорной реакции относительно БДР-4 на 40 % и увеличение момента времени достижения её максимального значения с  $t = 0,009$  с до  $t = 0,0175$  с. По перемещениям податливых опор (рис. 9, в) установлено время перехода опоры в пластическую стадию  $t = 0,005$  с и отвердения  $t_{sy\_el} = 0,0125$  с. Причем при переходе опоры в стадию отвердения возникает резкий рост опорной реакции за счет снижения деформативности сминаемых вставок и увеличения инерционных сил.

Наблюдается снижение максимального перемещения конструкции (рис. 9, б). Для образца БДРПо-7 установлено снижение опорной реакции относительно БДР-4 на 50 % и увеличение момента времени достижения её максимального значения с  $t = 0,009$  с до  $t = 0,021$  с. То есть конструкция работает более пластично, а податливые опоры повышают энергоёмкость системы. По перемещениям податливых опор установлено время перехода опоры в пластическую стадию  $t = 0,005$  с и отвердения  $t_{sy\_pl} = 0,016$  с. В момент времени  $t = 0,02$  с возникает резкий рост опорной реакции за счет снижения деформативности сминаемых вставок и увеличения инерционных сил при остановке

конструкции в связи с полным смятием податливых опор. Происходит снижение максимального перемещения конструкции (рис. 9, б) на 68 % относительно образца БДР-4, на 81 % относительно образца БД-3. Таким образом, сравнивая процесс динамического деформирования образцов БДРПо-6 и БДРПо-7 с БДР-4, можем наблюдать эффект по параметрам динамического деформирования конструкций: снижение опорной реакции, время достижения максимальных значений опорных реакций увеличивается в 2 раза. Зона трещинообразования ограничена, а ширина раскрытия трещин незначительна.

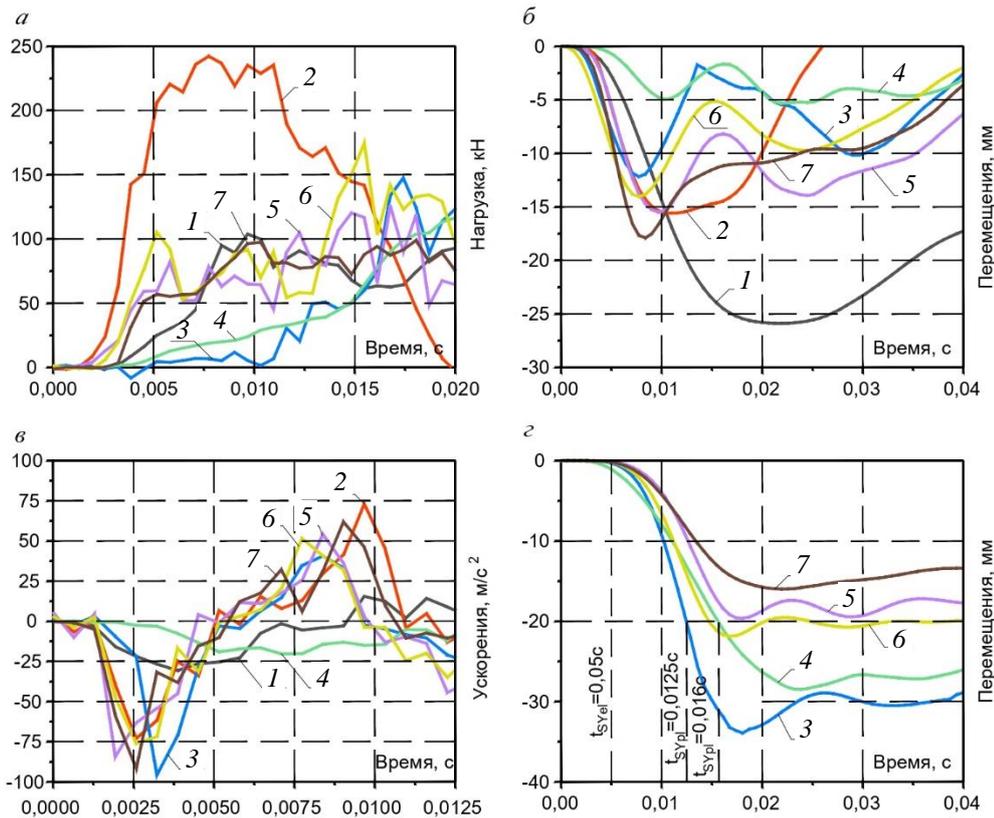


Рис. 9. Диаграммы изменения во времени опорных реакций (а), перемещений образцов (б), ускорений (в) и деформации податливых опор (г) по результатам испытаний железобетонных балок БД-3 (1), БДР-4 (2), БДРПо-6 (3), БДРПо-7 (4), БДРПу-8 (5), БДРПу-9 (6), БДРПу-10 (7) при динамическом нагружении

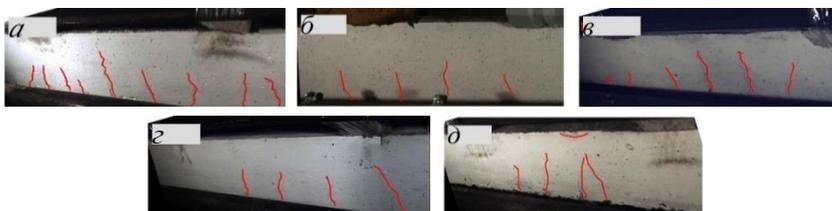


Рис. 10. Картина развития трещин в момент достижения максимальных перемещений железобетонных балок БДРПо-6 (а), БДРПо-7 (б), БДРПу-8 (в), БДРПу-9 (г), БДРПу-10 (д) при кратковременном динамическом нагружении

На упругопластических податливых опорах выполнены испытания трех балок с распором – БДРПу-8, БДРПу-9, БДРПу-10 (рис. 9 и 10). Установлено снижение опорной реакции для образца БДРПу-8 относительно БДР-4 на 40 % и увеличение момента времени достижения максимального значения с  $t = 0,009$  с до  $t = 0,017$  с. Время перехода опоры в пластическую стадию  $t_{SY_{el}} = 0,007$  с. Наблюдается снижение максимального перемещения конструкции на 38 % относительно образца БД-3. Относительно же образца БДР-4 перемещения конструкции не изменились, но время достижения максимального значения сократилось. При этом опоры остановились на границе перехода в стадию отвердения. Конструкция БДРПу-9 имеет снижение опорной реакции относительно БДР-4 на 54 % и увеличение момента времени достижения её максимального значения с  $t = 0,009$  с до  $t = 0,015$  с. По перемещениям податливых опор установлено время перехода опоры в пластическую стадию  $t_{SY_{el}} = 0,006$  с. Наблюдается снижение максимального перемещения конструкции на 40 % относительно образца БД-3. Относительно же образца БДР-4 перемещения конструкции не изменились, но время достижения максимального значения сократилось. По результатам испытания конструкции БДРПу-10 зафиксировано снижение опорной реакции относительно БДР-4 на 60 % и увеличение момента времени достижения максимального значения с  $t = 0,009$  с до  $t = 0,018$  с. Время перехода опоры в пластическую стадию  $t_{SY_{el}} = 0,0065$  с. Наблюдается снижение максимального перемещения конструкции (рис. 9, б) на 30 % относительно образца БД-3, а относительно образца БДР-4 на 13 %.

**Динамика. Податливые опоры. Высота падения груза 1150 мм.** Ниже представлены данные по испытаниям конструкций с распором на податливых опорах при высоте падения груза, равной 1150 мм. По результатам испытания конструкции БДРПо-11 (рис. 11, 12) установлено снижение опорной реакции относительно БДР-5 в 2,5 раза и увеличение момента времени достижения максимального значения с  $t = 0,008$  с до  $t = 0,0175$  с. Время перехода опоры в пластическую стадию  $t_{SY_{el}} = 0,007$  с, и отвердения  $t_{SY_{pl}} = 0,0135$  с (рис. 11, з). При переходе опоры в стадию отвердения наблюдается резкий рост опорной реакции (рис. 11, а) за счет снижения деформативности сминаемых вставок и увеличения инерционных сил при остановке конструкции в связи с полным смятием податливых опор. Происходит снижение максимального перемещения конструкции на 35 % относительно образца БДР-5.

Испытания конструкции БДРПу-12 показали снижение опорной реакции относительно БДР-5 на 80 % и уменьшение момента времени достижения максимального значения с  $t = 0,004$  с до  $t = 0,023$  с. Время перехода опоры в пластическую стадию  $t_{SY_{el}} = 0,007$  с. Наблюдается снижение максимального перемещения конструкции на 27 % относительно образца БДР-5. Активно включаются в процесс деформирования податливые опоры, снижаются деформации, а распор растёт, т. е. ограничение горизонтального смещения опорных сечений препятствует росту прогибов, увеличивается время сопротивления и пластическая стадия деформирования конструкции. Образец БДРПу-13 позволил установить снижение опорной реакции балки относительно БДР-5 на 75 % и увеличение момента времени достижения максимального значения с  $t = 0,008$  с до  $t = 0,02$  с. Время перехода опоры в пластиче-

скую стадию  $t_{SY_{el}} = 0,0087$  с. Перемещения конструкции соответствуют перемещениям образца БДР-5. Для конструкции БДРПу-14 зафиксировано снижение опорной реакции относительно БДР-5 на 72 % и увеличение момента времени достижения максимального значения с  $t = 0,008$  с до  $t = 0,013$  с. Время перехода опоры в пластическую стадию  $t_{SY_{el}} = 0,0097$  с. Перемещения конструкции соответствуют перемещениям образца БДР-5.

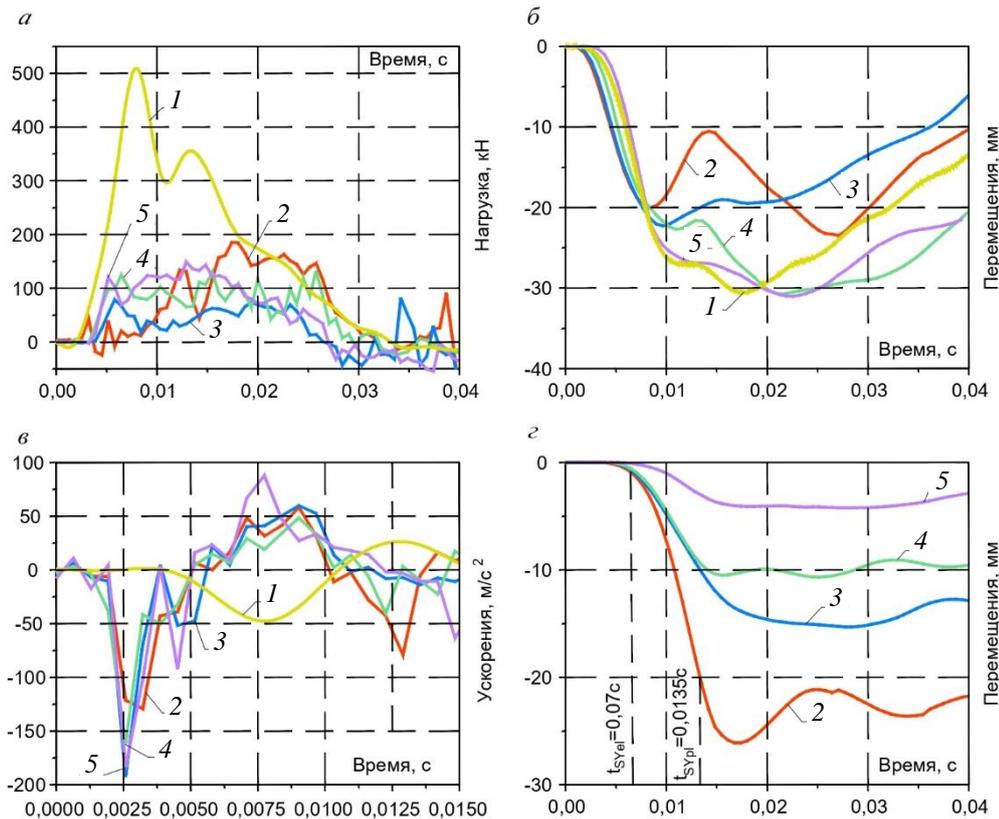


Рис. 11. Диаграммы изменения во времени опорных реакций (а), перемещений (б), ускорений (в) образцов и деформации податливых опор (г) по результатам испытаний железобетонных балок БДР-5 (1), БДРПо-11 (2), БДРПу-12 (3), БДРПу-13 (4), БДРПу-14 (5) при кратковременном динамическом нагружении

Из кадров видеосъемки конструкций БДРПу-12, БДРПу-13, БДРПу-14 (рис. 12) при работе податливых опор в упругопластической стадии видно, что с увеличением жёсткости опор происходит более сильное разрушение. При работе податливых опор в стадии отвердения для образца БДРПо-11 видно, что с уменьшением жёсткости опор происходит меньшее образование и развитие трещин относительно конструкций БДРПу-12, БДРПу-13, БДРПу-14.

Таким образом, в результате статических испытаний установлено, что наличие распора в железобетонных балках приводит к увеличению их несущей способности в 2,93 раза и снижению прогибов на 235 %.

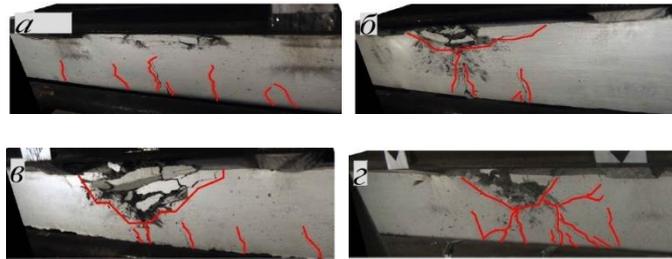


Рис. 12. Картина развития трещин в момент достижения максимальных перемещений железобетонных балок БДРПу-11 (а), БДРПу-12 (б), БДРПу-13 (в), БДРПу-14 (г) при кратковременном динамическом нагружении

При кратковременном динамическом нагружении наличие распора приводит к резкому росту опорных реакции (см. рис. 7, а и рис. 9, а) в 2,4 раза и к более раннему достижению максимального их значения. С применением податливых опор, деформирующихся в упругопластической области, происходит снижение опорных реакций до 5 раз, при этом чем выше жесткость опор, тем больше опорная реакция. Максимальное снижение опорных реакций наблюдается при работе податливых опор в стадии отвердения, причем развитие опорных реакций сглаживается, и пиковое значение наблюдается значительно позже, в момент времени  $t = 0,02$  с. Время достижения максимальных значений реакций конструкции на податливых опорах по сравнению с конструкцией на жестких опорах увеличивается в три раза. Максимальное снижение перемещений конструкции до 5 раз наблюдается при работе податливых опор в начальной стадии отвердения, в случае дальнейшего деформирования происходит резкий рост ускорения (см. рис. 9, в и рис. 11, в), существенно увеличиваются силы инерции.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Абдуль-Рахман А.С.* Повышение несущей способности железобетонных конструкций при взрывных воздействиях : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. Москва, 1995. 207 с.
2. *Виноградова Т.Н.* Влияние распора на работу железобетонных балочных конструкций при кратковременных динамических воздействиях : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. Москва, 1977. 155 с.
3. *Гвоздев А.А., Дмитриев С.А., Крылов С.М.* Новое о прочности железобетона. Москва : Стройиздат, 1976. 272 с.
4. *Кумпяк О.Г., Галяутдинов З.Р.* Экспериментальные исследования опертых по контуру железобетонных плит с распором // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2015. № 3. С. 113–120.
5. *Попов Н.Н., Расторгуев Б.С.* Расчет железобетонных конструкций на действие кратковременных динамических нагрузок. Москва : Стройиздат, 1964. 151 с.
6. *Тихонов И.Н.* Принципы расчета прочности и конструирования армирования балок перекрытий зданий из монолитного железобетона для предотвращения прогрессирующего разрушения // Жилищное строительство. 2013. № 2. С. 40–45.
7. *Кумпяк О.Г., Галяутдинов З.Р., Кокорин Д.Н.* Прочность и деформативность железобетонных конструкций на податливых опорах при кратковременном динамическом нагружении. Томск : Изд-во ТГАСУ, 2016. 270 с.

8. Кумпяк О.Г., Мецеулов Н.В., Люлевич Я.С. Динамическая прочность и деформативность наклонных сечений сжато-изгибаемых железобетонных конструкций на податливых опорах // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2016. № 6. С. 150–159.
9. Kumpyak O.G., Galyautdinov Z.R., Galyautdinov D.R. Experimental study of beams on yielding supports with thrust // MATEC Web of Conferences. 2018. V. 143. DOI: 10.1051/1.4973016
10. Chiaia B., Kumpyak O., Placidi L., Maksimov V. Experimental analysis and modeling of two-way reinforced concrete slabs over different kinds of yielding supports under short-term dynamic loading // Engineering Structures. 2015. № 96. P. 88–99.
11. Кумпяк О.Г., Мецеулов Н.В. Численное моделирование податливых опор в виде труб кольцевого сечения при статическом и кратковременном динамическом нагружении // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2017. № 5. С. 121–134.
12. Kumpyak O.G., Mesheulov N.V. Numerical simulation of yielding supports the shape of annular tubes under static and short-term dynamic loadings // International Journal for computational Civil and Structural Engineering. 2017. V. 13. № 4. P. 103–113.
13. Elfetori F.A. Experimental Testing of Composite Tubes with Different Corrugation Profile Subjected to Lateral Compression Load // World Academy of Science, Engineering and Technology International Journal of Mechanical, Industrial Science and Engineering. 2013. V. 7. № 2.
14. Fan Z., Shen J., Lu G. Investigation of Lateral Crushing of Sandwich Tubes // The Twelfth East Asia-Pacific Conference on Structural Engineering and Construction Procedia Engineering. 2011. V. 14. P. 442–449.
15. Lion K. H., Amir R. A. G., Prasetyo E., Khairi Y. Impact Energy Absorption of Concentric Circular Tubes // Wseas transactions on applied and theoretical mechanics. 2009. V. 4. № 3.
16. Lipa S., Kotelko M. Lateral impact of tubular structure – theoretical and experimental analysis. Part 1 – Investigation of single tube // Journal of theoretical and applied mechanics. 2013. V. 51. № 4. P. 873–882.

## REFERENCES

1. Abdul'-Rakhman A.S. Povysheniye nesushchey sposobnosti zhelezobetonnykh konstruksiy pri vzryvnykh vozdeystviyakh: Dissertatsiya na soiskaniye uchenoy stepeni kandidata tekhnicheskikh nauk [Bearing capacity improvement of reinforced concrete structures under explosive impacts. PhD Thesis]. Moscow, 1995. 207 p. (rus)
2. Vinogradova T.N. Vliyaniye raspora na rabotu zhelezobetonnykh balochnykh konstruksiy pri kratkovremennykh dinamicheskikh vozdeystviyakh: Dissertatsiya na soiskaniye uchenoy stepeni kandidata tekhnicheskikh nauk [Thrust effect on reinforced concrete beam performance under dynamic load]. Moscow, 1977. 155 p. (rus)
3. Gvozdev A.A., Dmitriyev S.A., Krylov S.M. Novoye o prochnosti zhelezobetona [New about reinforced concrete strength]. Moscow: Stroyizdat, 1976. 272 p. (rus)
4. Kumpyak O.G., Galyautdinov Z.R. Eksperimental'nye issledovaniya opertykh po konturu zhelezobetonnykh plit s rasporem [Experimental research of reinforced concrete edge supported slabs with spacers]. *Vestnik of Tomsk State University of Architecture and Building*. 2015. No. 3. Pp. 113–120. (rus)
5. Popov N.N., Rastorguyev B.S. Raschet zhelezobetonnykh konstruksiy na deystviye kratkovremennykh dinamicheskikh nagruzok [Strength analysis reinforced concrete structures under dynamic loads]. Moscow: Stroyizdat, 1964. 151 p. (rus)
6. Tikhonov I.N. Printsipy rascheta prochnosti i konstruirovaniya armirovaniya balok perekrytiy zdaniy iz monolitnogo zhelezobetona dlya predotvrashcheniya progressivnykh razrusheniya [Strength analysis of beam reinforcement to prevent progressive fracture]. *Zhilishchnoe stroitel'stvo*. 2013. No. 2. Pp. 40–45. (rus)
7. Kumpyak O.G., Galyautdinov Z.R., Kokorin D.N. Prochnost' i deformativnost' zhelezobetonnykh konstruksiy na podatlivykh oporah pri kratkovremennom dinamicheskom nagruzhении [Strength and deformability of reinforced concrete structures on yielding supports under dynamic load]. Tomsk: TSUAB, 2016. 270 p. (rus)

8. Kumpyak O.G., Meshcheulov N.V., Lyulevich Y.S. Dinamicheskaya prochnost' i deformativnost' naklonnykh sechenii szhato-izgibaemykh zhelezobetonnykh konstruktivnykh podativnykh oporakh [Dynamic strength and deformability of oblique planes in compressed and bended yielding supports]. *Vestnik of Tomsk State University of Architecture and Building*. 2016. No. 6. Pp. 150–159. (rus)
9. Kumpyak O.G., Galyautdinov Z.R., Galyautdinov D.R. Experimental study of beams on yielding supports with thrust. *MATEC Web of Conferences*. 2018. V. 143. DOI: 10.1051/1.4973016
10. Chiaia B., Kumpyak O., Placidi L., Maksimov V. Experimental analysis and modeling of two-way reinforced concrete slabs over different kinds of yielding supports under short-term dynamic loading. *Engineering Structures*. 2015. No. 96. Pp. 88–99.
11. Kumpyak O.G., Meshcheulov N.V. Chislennoye modelirovaniye podatlivnykh opor v vide trub kol'tsevogo secheniya pri staticheskom i kratkovremennom dinamicheskom nagruzhenii [Numerical simulation of yielding supports in the form of annular tubes under static and dynamic loads]. *Vestnik of Tomsk State University of Architecture and Building*. 2017. No. 5. Pp. 121–134. (rus)
12. Kumpyak O.G., Meshcheulov N.V. Numerical simulation of yielding supports the shape of annular tubes under static and short-term dynamic loadings. *International Journal for Computational Civil and Structural Engineering*. 2017. V. 13. No. 4. Pp. 103–113.
13. Elfetori F.A. Experimental testing of composite tubes with different corrugation profile subjected to lateral compression load. *Engineering and Technology International Journal of Mechanical, Industrial Science and Engineering*. 2013. V. 7. No. 2. Pp. 10–15.
14. Fan Z., Shen J., Lu G. Investigation of lateral crushing of sandwich tubes. In: *Proc. 12th East Asia-Pacific Conf. on Structural Engineering and Construction Procedia Engineering*. 2011. V. 14. Pp. 442–449.
15. Lion K.H., Amir R.A.G., Prasetyo E., Khairi Y. Impact energy absorption of concentric circular tubes. In: *WSEAS Transactions on Applied and Theoretical Mechanics*. 2009. V. 4. No. 3.
16. Lipa S., Kotelko M. Lateral impact of tubular structure – theoretical and experimental analysis. Part 1. Investigation of single tube. *Journal of Theoretical and Applied Mechanics*. 2013. V. 51. No. 4. Pp. 873–882.

#### Сведения об авторах

Кумпяк Олег Григорьевич, докт. техн. наук, профессор, Томский государственный архитектурно-строительный университет, 634003, г. Томск, пл. Соляная, 2, OGGKumpyak@yandex.ru

Галяутдинов Дауд Рашидович, ассистент, Томский государственный архитектурно-строительный университет, 634003, г. Томск, пл. Соляная, 2, DaudG@yandex.ru

#### Authors Details

Oleg G. Kumpyak, DSc, Professor, Tomsk State University of Architecture and Building, 2, Solyanaya Sq., 634003, Tomsk, Russia, OGGKumpyak@yandex.ru

Daud R. Galyautdinov, Lecturer Assistant, Tomsk State University of Architecture and Building, 2, Solyanaya Sq., 634003, Tomsk, Russia, DaudG@yandex.ru

# СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ

УДК 621.791.92

DOI: 10.31675/1607-1859-2021-23-6-157-164

*В.А. ШОРИН<sup>1</sup>, В.С. ЛИТВИНОВ<sup>2</sup>, А.А. САГДЕЕВ<sup>3</sup>, А.В. ШОРИН<sup>4</sup>,  
Н.П. ГОРЛЕНКО<sup>5</sup>, Д.Ю. САРКИСОВ<sup>5</sup>, Ю.С. САРКИСОВ<sup>5</sup>,*

*<sup>1</sup>ООО «Техноконтроль»,*

*<sup>2</sup>ООО «Иркутский завод полимеров»,*

*<sup>3</sup>ООО «Транснефть надзор»,*

*<sup>4</sup>ООО «Титан»,*

*<sup>5</sup>Томский государственный архитектурно-строительный университет*

## ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ СТАЛЬНЫХ РЕЗЕРВУАРОВ ДЛЯ ХРАНЕНИЯ ФОСФОРНОЙ КИСЛОТЫ

В работе приводится описание методики односторонней сварки стальных конструкций, основанной на рациональном выборе обратного угла элементов, свариваемых встык, из стали бельгийского производства, для изготовления укрупненных элементов днищ резервуаров, предназначенных для хранения фосфорной кислоты в условиях строительной площадки.

Экспериментальным путем установлено: наиболее целесообразным методом для обеспечения проектных геометрических форм резервуара, с минимальным напряжением структуры (номер материала 1.4507), является способ с предварительно выставленными для сварки листами днища под обратным углом 12°.

Показано, что предлагаемый метод обеспечивает повышение надежности резервуаров для хранения агрессивных продуктов, безаварийность и техническую безопасность резервуара в процессе его эксплуатации.

Поднята проблема необходимости проведения исследований по замещению импортной стали на отечественную либо по изготовлению резервуаров из альтернативных неметаллических материалов.

**Ключевые слова:** сварка; сталь; обратный угол; деформация; внутреннее напряжение; техническая безопасность; надежность; экологическая безопасность; контроль качества; альтернативный материал.

**Для цитирования:** Шорин В.А., Литвинов В.С., Сагдеев А.А., Шорин А.В., Горленко Н.П., Саркисов Д.Ю., Саркисов Ю.С. Повышение надежности стальных резервуаров для хранения фосфорной кислоты // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2021. Т. 23. № 6. С. 157–164.

DOI: 10.31675/1607-1859-2021-23-6-157-164

V.A. SHORIN<sup>1</sup>, V.S. LITVINOV<sup>2</sup>, A.A. SAGDEEV<sup>3</sup>, A.V. SHORIN<sup>4</sup>,  
N.P. GORLENKO<sup>5</sup>, D.YU. SARKISOV<sup>5</sup>, Yu.S. SARKISOV<sup>5</sup>,

<sup>1</sup>ООО “Tekhnokontrol”,

<sup>2</sup>ООО “Irkutskii Zavod Polimerov”,

<sup>3</sup>ООО “Transneft' Nadzor”,

<sup>4</sup>ООО “Titan”,

<sup>5</sup>Tomsk State University of Architecture and Building

## RELIABILITY IMPROVEMENT OF STEEL STORAGE TANKS FOR PHOSPHORIC ACID

The paper describes the one-sided welding method for steel structures based on the rational choice of the inverse angle of butt-welded elements of Belgian steel for the manufacture of tank bottom elements of intended for phosphoric acid storage in a construction site. It is shown that the most expedient method for ensuring the design geometry of the tank with a minimum stress of 1.4507 of the material structure, is the bottom sheets preset for welding at a reverse angle of 12 degrees.

The proposed method improves the tank reliability for storing aggressive products, its trouble-free and technical safety during the operation. The need is shown for studying the replacement of imported steel by Russian steel to manufacture tanks from alternative non-metallic materials.

**Keywords:** welding; steel; reverse angle; deformation; internal stress; reliability; environmental safety; quality control; alternative material.

**For citation:** Shorin V.A., Litvinov V.S., Sagdeev A.A., Shorin A.V., Gorlenko N.P., Sarkisov D.Yu., Sarkisov Yu.S. Povyshenie nadezhnosti stal'nykh rezervuarov dlya khraneniya fosfornoj kisloty [Reliability improvement of steel storage tanks for phosphoric acid]. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture. 2021. V. 23. No. 6. Pp. 157–164.

DOI: 10.31675/1607-1859-2021-23-6-157-164

### Введение

Фосфорная кислота – один из важнейших видов продукции химической промышленности. Основной сферой применения фосфорной кислоты остается производство фосфатных и сложных минеральных удобрений. Более 90 % фосфорсодержащей руды используется именно для этих целей. Среди других сфер применения можно отметить звероводство, пищевую, деревообрабатывающую и фармацевтическую промышленность, производство бытовой химии, стройматериалов и др.

Мировое производство фосфатных удобрений составляет 41 млн т из 190 млн т всего объема минеральных удобрений в мире. Лидером в этой области является Марокко. Россия остается одним из крупнейших мировых производителей фосфатных удобрений. Крупнейшими отечественными компаниями являются «Фосагро», «Еврохим», «Уралхим», «Акрон» [1].

Однако расширение мощностей у большинства производителей фосфатных удобрений ограничивается наличием дополнительных объемов сырья – фосфорсодержащих руд, а также резервуаров для хранения фосфорной кислоты с целью дальнейшего ее использования. К изготовлению стальных резервуаров

предъявляются высокие требования, т. к. они должны надежно обеспечивать длительную и экологически безопасную эксплуатацию объектов.

Однако технологии сварки материалов, обеспечивающих более высокие сроки безопасной, безаварийной эксплуатации резервуаров для хранения агрессивных продуктов, разработаны не в полном объеме. Стали импортного производства для таких изделий разработаны с учетом технологий сварки, отличной от технологии сварки российских стандартов (величина усиления сварного шва). При проведении сварочных работ по существующим у нас в настоящее время технологиям импортная сталь марки X2CrNiMoCuN25-6-3 (1.4507) подвергается существенной деформации. Наибольшая концентрация напряжений и деформаций возникает в зоне сварного шва и в зоне сплавления, при этом эквивалентные остаточные напряжения (по Мизесу) достигают предела текучести [2]. Остаточные сварочные напряжения снижают прочность и работоспособность конструкций и даже вызывают разрушение при отсутствии рабочих нагрузок. Появляющиеся в результате сварки остаточные деформации затрудняют процесс сборки крупногабаритных конструкций из отдельных сварных блоков, узлов и секций [3]. Следует учитывать возможное возникновение нежелательных напряжений при придании деталям, сегментам и всей конструкции в целом проектных геометрических форм, которые подвергаются деформациям в результате термических напряжений. Также следует строго соблюдать допуски на химический состав стали и сварочной проволоки; на величину угла разделки кромок; на ширину сварного шва; на высоту усиления сварного шва; на разброс величины погонной энергии сварки в условиях строительной площадки; на температуру, влажность воздуха, скорость ветра на стройплощадке и, конечно же, человеческий фактор. При охлаждении и затвердевании расплавленного металла шва происходит его усадка. Это объясняется тем, что при затвердевании увеличивается плотность металла, в результате чего его объем уменьшается. Вследствие неразрывной связи наплавленного металла с основным металлом, остающимся в неизменном объеме и противодействующим усадке, в сварном соединении возникают продольные и поперечные внутренние напряжения, вызывающие соответствующие деформации сварного соединения [1].

Технологии поперечной сварки листов шириной 1500 мм днищ резервуаров объемом до 400 м<sup>3</sup> из материала (марка стали 1.4507) толщиной 14 мм, изначально учитывающей установленную опытным путем величину деформации свариваемых элементов, внутренние напряжения которых после проведения сварочных работ были бы минимизированы, сегодня не существует и в описаниях не встречается.

При сварке в жесткозакрепленных конструкциях величина термического напряжения может возрасти вследствие ограниченности ее свободного перемещения в процессе нагрева и охлаждения. Как следствие, могут возникать как сжимающие, так и растягивающие внутренние напряжения. Принимая во внимание, что вышеупомянутые резервуары предназначены для хранения агрессивного продукта, такие явления крайне нежелательны, т. к. приводят к уменьшению безопасного срока эксплуатации объекта в целом. Отсутствие возможности ведения сварки с двух сторон подготовленных и смонтированных на

фундаменте листов днища резервуара также является недостатком данной конструкции. Таким образом, проблема изготовления надежных резервуаров для хранения фосфорной кислоты является актуальной.

Целью настоящей работы является разработка метода поперечной сварки встык листов днища резервуаров, с предварительно учтенной величиной деформации, обеспечивающего повышение надежности стальных резервуаров для хранения фосфорной кислоты.

### Методика эксперимента

При изготовлении резервуаров для хранения фосфорной кислоты использовали следующие материалы: импортная сталь из сплава X2CrNiMoCuN25-6-3 (европейское обозначение – номер материала 1.4507). Изготовитель: ArcelorMittal, место производства: Industeel Belgium, адрес: Rue de Chatelet 266 6030 Marchienne-au-Pont, сертификат № 2020-136644.

Для сварки применялась проволока марки ESAB ОК Tigrod 2509 (хим. состав: С – 0,01 %; Si – 0,4 %; Mn – 0,4 %; P – 0,02 %; S < 0,01 %; Cr – 25,3 %; Ni – 9,6 %; Mo – 3,9 %; Cu – 0,1 %; N – 0,24 %; W < 0,1 %).

Методикой эксперимента предусматривались следующие технологические операции: подготовленные для экспериментальной сварки заготовки из листов марки стали 1.4507 толщиной 14 мм выставлялись под углами 3; 30 и 12° соответственно. Листы фиксировались на сварочном стенде, как и в первых двух экспериментах, жестко не закреплялись для обеспечения свободной деформации при сварке. Неподвижность также обеспечивалась массой самих свариваемых элементов. Далее проводилась просушка, подогрев и сварка по применяемой ранее технологической карте. Работы проводились на открытом воздухе, при естественном освещении, температуре окружающего воздуха ( $+18 \pm 2$ )°, относительной влажности ( $78 \pm 2$ ) %, в условиях, максимально приближенных к условиям строительной площадки. Сварка образцов проводилась ручной электродуговой сваркой в среде защитных газов (аргон). Для сварки применялась проволока марки ESAB ОК Tigrod 2509.

Следует отметить: в условиях реальной строительной площадки (стесненность) при длине свариваемых элементов 4–6 пог. м величина погрешности угла свариваемых элементов составляет до 3°.

Во всех случаях применялось сварочное оборудование (источник тока MasterTig 3000 MLS; панель управления MTM Mastertig MLS).

Качество экспериментального сварного соединения проверялось с использованием ультразвукового метода на приборе А 1212; капиллярной дефектоскопии Spotcheck SK-3 (пенетранта SKL-SP2 очистителя SKS-S, проявителя SKD-52. Контроль герметичности проводился вакуумно-пузырьковым способом на течеискателе УКГВПС). Кроме этого, осуществлялся визуально-измерительный контроль.

### Экспериментальная часть

Критерием качества сварки швов является наличие или отсутствие постсварочных деформаций в экспериментальных образцах. Эти данные представлены в таблице.

**Влияние вида сварки на деформацию сварочных швов**

Номер образца	Угол сварки	Номер рисунка	Наличие деформации
1	3	1	Присутствует
2	12	2	Отсутствует
3	30	3	Присутствует

Как видно из таблицы, первый образец имел недостаточную деформацию в пределах 13–15°; второй образец деформации практически не имел, погрешности в пределах измерений; третий образец имел повышенную недопустимую деформацию в пределах 15–18°.

Эти выводы подтверждаются данными, представленными на рис. 1–3.



Рис. 1



Рис. 2



Рис. 3

Таким образом, впервые экспериментально доказано, что для обеспечения надежности и эффективности сварки днищ резервуаров больших объемов для хранения фосфорной кислоты сварку следует проводить под обратным углом 12°.

Из результатов проведенных исследований вытекает проблема импортозамещения бельгийской стали на отечественную продукцию либо разработки методов изготовления резервуаров из альтернативных материалов, например из неметаллических оксидсодержащих вяжущих веществ [4, 5].

### Заключение

Экспериментально обоснована и решена задача изготовления резервуаров для хранения агрессивных продуктов, в частности для хранения фосфорной кислоты, на основе высококачественной импортной стали – номера материала 1.4507.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Ким С.С.* Мировой рынок фосфорной кислоты // *The Chemical Journal*. 2011. Декабрь. С. 20–24.
2. *Сальманов И.Д., Барановский М.Ю., Тарасов В.А.* Остаточные напряжения и деформации при сварке // *Строительство уникальных зданий и сооружений*. 2014. № 12. С. 65–70.
3. *Лихобабина Е.А.* Прогнозирование остаточных сварочных напряжений и деформаций на стадии проектирования судового корпуса : автореферат диссертации кандидата технических наук / Дальневост. гос. техн. ун-т, 2002. 19 с.
4. *Саркисов Ю.С.* Вяжущие вещества на основе оксидных систем // *Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета*. 2013. № 1 (38). С. 108–118.

### REFERENCES

1. *Kim S.S.* World market for phosphoric acid. *The Chemical Journal*. 2011. No. 12. Pp. 20–24.
2. *Salmanov I.D., Baranovsky M.Yu., Tarasov V.A.* Ostatochnye napryazheniya i deformatsii pri svarke [Residual stresses and deformations during welding]. *Stroitel'stvo unikal'nykh zdaniy i sooruzhenii*. 2014. No. 12. Pp. 65–70. (rus)
3. *Likhobabina E.A.* Prognozirovanie ostatochnykh svarochnykh napryazhenii i deformatsii na stadii proektirovaniya sudovogo korpusa: avtoreferat dissertatsii kandidata tekhnicheskikh nauk [Prediction of residual welding stresses and deformations at design stage of the ship's hull. PhD Abstract]. *Far Eastern State Transport University*. 2002. 19 p. (rus)
4. *Sarkisov Yu.S.* Vyazhushchie veshchestva na osnove oksidnykh sistem [Oxide-based cementing agents]. *Vestnik of Tomsk State University of Architecture and Building*. 2013. No. 1 (38). Pp. 108–118. (rus)

### Сведения об авторах

*Шорин Валерий Анатольевич*, инженер службы контроля качества, ООО «Техноконтроль», 443093, г. Самара, ул. Мориса Тореза, 1а.

*Литвинов Владимир Сергеевич*, начальник отдела контроля качества технологических трубопроводов, резервуаров и вспомогательных систем, Департамент технического надзора и контроля качества ООО «Иркутский Завод Полимеров», 664007, г. Иркутск, пр. Большой Литейный, стр. 5.

*Сагдиев Айдар Ахнафович*, инженер по строительному контролю, ООО «Транснефть Надзор», Казанское управление строительного контроля, 420012, г. Казань, ул. Ершова, 2/1.

*Шорин Андрей Валерьевич*, региональный менеджер, ООО «Титан», 197110, г. Санкт-Петербург, ул. Большая Зеленина, 24.

*Горленко Николай Петрович*, докт. техн. наук, профессор, Томский государственный архитектурно-строительный университет, 634003, г. Томск, пл. Соляная, 2.

*Саркисов Дмитрий Юрьевич*, канд. техн. наук, доцент, Томский государственный архитектурно-строительный университет, 634003, г. Томск, пл. Соляная, 2.

*Саркисов Юрий Сергеевич*, докт. техн. наук, профессор, Томский государственный архитектурно-строительный университет, 634003, г. Томск, пл. Соляная, 2.

#### **Authors Details**

*Valery A. Shorin*, Quality Control Engineer, ООО “Tekhnokontrol”, 1a, Moris Torez Str., Samara, Russia.

*Vladimir S. Litvinov*, Head of Department, ООО “Irkutskii zavod polimerov”, 5, Bolshoy Liteiny Ave., 664007, Irkutsk, Russia.

*Aydar A. Sagdiev*, Construction Control Engineer, ООО “Transneft' nadzor”, 2/1, Ershov Str., 420012, Kazan, Russia.

*Andrey V. Shorin*, Regional Manager, ООО “Titan”, 24, Bolshaya Zelenina Str., 197110, Saint-Petersburg, Russia.

*Nikolai P. Gorlenko*, DSc, Professor, Tomsk State University of Architecture and Building, 2, Solyanaya Sq., 634003, Tomsk, Russia.

*Dmitrii Yu. Sarkisov*, PhD, A/Professor, Tomsk State University of Architecture and Building, 2, Solyanaya Sq., 634003, Tomsk, Russia.

*Yurii S. Srkisov*, DSc, Professor, Tomsk State University of Architecture and Building, 2, Solyanaya Sq., 634003, Tomsk, Russia.

УДК 666.712

DOI: 10.31675/1607-1859-2021-23-6-165-171

*Н.К. СКРИПНИКОВА, О.А. КУНЦ, А.Б. УЛМАСОВ,  
Томский государственный архитектурно-строительный университет*

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СТЕКОЛЬНЫХ И МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ОТХОДОВ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ОБЛИЦОВОЧНОЙ КЕРАМИКИ**

Объектом исследования являются лабораторные образцы облицовочного керамического кирпича, изготовленные из отходов стекольной и металлургической промышленности.

Целью исследования является получение облицовочной керамики с использованием отходов стекольной и металлургической промышленности.

Для определения качества лабораторных образцов проводились физико-механические исследования согласно ГОСТ 530–2012: на прочность при сжатии, плотность и водопоглощение.

В результате проведенных исследований установлено, что для получения лабораторных образцов облицовочной керамики необходимо использовать шихту, состоящую из 40 % глины и 60 % стеклобоя при температуре обжига 1050 °С. Были подобраны технологические режимы получения лабораторных образцов, которые позволили получить образцы облицовочной керамики со следующими показателями: плотности – 2064 кг/м<sup>3</sup>, прочности при сжатии – 42,24 МПа, полученные образцы отличаются замкнутым порообразованием.

**Ключевые слова:** глина; облицовочная керамика; стеклобой; шламовые отходы; плотность; водопоглощение; прочность при сжатии.

**Для цитирования:** Скрипникова Н.К., Кунц О.А., Улмасов А.Б. Использование стекольных и металлургических отходов при производстве облицовочной керамики // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2021. Т. 23. № 6. С. 165–171.

DOI: 10.31675/1607-1859-2021-23-6-165-171

*N.K. SKRIPNIKOVA, O.A. KUNZ, A. B. ULMASOV,  
Tomsk State University of Architecture and Building*

## **GLASS AND METALLURGICAL WASTES IN FACING CERAMICS PRODUCTION**

**Purpose:** The aim of this work is facing ceramic brick production using glass and metallurgical wastes. **Methodology:** Compressive strength, density, water absorption testing. **Findings:** The facing ceramic specimens are obtained at a 1050 °C baking temperature by using a mixture consisting of 40 % clay and 60 % broken glass. The operating modes for the laboratory specimen fabrication are selected such that they possess 2064 kg/m<sup>3</sup> density and 42.24 MPa compressive strength. The specimens are characterized by the formation of close pores.

**Keywords:** clay; facing ceramics; broken glass; sludge waste; density; water absorption; compressive strength.

**For citation:** Skripnikova N.K., Kunts O.A., Ulmasov A.B. Ispol'zovanie stekol'nykh i metallurgicheskikh otkhodov pri proizvodstve oblitsovochnoi keramiki [Glass and metallurgical wastes in facing ceramics production]. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture. 2021. V. 23. No. 6. Pp. 165–171.

DOI: 10.31675/1607-1859-2021-23-6-165-171

На сегодняшний день керамические облицовочные изделия являются актуальным строительным материалом, т. к. полностью отвечают требованиям долговечности, обладают высокими архитектурно-художественными свойствами и благодаря их эксплуатационным параметрам служат одним из основных видов отделочных материалов [1]. Керамика по своей природе поистине уникальна: керамическим изделиям можно придавать всевозможную форму, а их лицевой поверхности – разнообразный фактурный вид, покрывая глазурями, ангобами и другими способами декорирования. Ведь с давних времен в обиход вошло керамическое изобразительное искусство, которое постоянно совершенствуется и развивается [2, 3]. Керамика является одним из лучших строительных материалов с точки зрения эстетики фасада, а также основным используемым строительным материалов практически во всех конструктивных элементах зданий и сооружений [4]. Активное применение облицовочных изделий из керамики для отделки зданий обеспечивает не только привлекательный внешний вид, но и эффективную защиту от загрязнений, различных агрессивных веществ и негативных факторов окружающей среды (снега, дождя, ультрафиолетового излучения и т. п.) [5, 6].

Для получения качественной керамики нужно соответствующее сырье, которое должно иметь определенные технологические характеристики.

Решение задачи в плане обеспечения предприятий качественным сырьем возможно реализовать при помощи использования отходов, таких как стеклобой и шламовые отходы металлургического производства. Это позволяет поднять вопрос актуальности использования облицовочной керамики [7–9].

Данное решение предполагает разработку эффективных технологий за счет комплексного использования сырья, что одновременно приведет к ликвидации отвалов отходов, кроме этого, позволит предотвращать негативное воздействия на окружающую среду, а также развивать экологически безопасные энергоэффективные технологии [10–12].

Целью исследования является получение облицовочной керамики с использованием отходов стекольной и металлургической промышленности.

Для выполнения поставленной цели были решены задачи: исследование отходов и оценка их пригодности; подбор составов керамических изделий и технологических режимов; определение физико-механических характеристик лабораторных керамических образцов. Для получения керамических образцов необходимо использовать определенные материалы, которые обладают более низкой температурой стеклообразования и в результате обжига будут давать самоглазующийся эффект.

В качестве основы шихты для получения лабораторных образцов облицовочной керамики использовались суглинки томского месторождения, стекольные отходы и шламовые отходы металлургического производства. В табл. 1 представлен компонентный состав шихты для получения лабораторных образцов облицовочной керамики.

Из табл. 1 следует, что компонентный состав лабораторных образцов менялся: глина – от 100 до 40 %, стеклобой – от 10 до 60 %, шламовые отходы – от 10 до 20 %. При проведении экспериментов использовались фракции глины, стеклобоя и шлама, предварительно измельченные до размера частиц не более 400–600 мкм и высушенные до постоянной массы.

Таблица 1

**Компонентные составы лабораторных образцов, масс. %**

№ образца	Количество сырьевых материалов, масс. %		
	Глина	Стеклобой	Шламовые отходы
1	100	–	–
2	90	10	–
3	80	10	10
4	70	10	20
5	70	20	10
6	60	30	10
7	70	30	–
8	50	50	–
9	40	60	–
10	40	60	–

Все компоненты шихты в заданных соотношениях перемешивались в сухом виде до гомогенного состояния с последующим увлажнением массы до 10 масс. % воды. Из полученной массы при удельном давлении прессования 12–14 МПа формовали образцы облицовочной керамики размером 5×5×2,5, затем отправляли в сушильную камеру. Далее полученные образцы обжигали при разной температуре 850–1050 °С.

Для определения качества лабораторных образцов проводились физико-механические исследования согласно ГОСТ 530–2012: на прочность при сжатии ( $R_{сж}$ , МПа), на плотность ( $\rho$ , кг/м<sup>3</sup>) и водопоглощение ( $W$ , %).

Представленные результаты физико-механических показателей в зависимости от компонентного состава шихты приведены в табл. 2.

Таблица 2

**Физико-механические показатели лабораторных образцов, полученных в зависимости от компонентного состава шихты**

№ образца	Составы, %			Прочность при сжатии $R_{сж}$ , МПа	Плотность $\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	Водопоглощение $W$ , %
	Глина	Стеклобой	Шлам			
1	100	–	–	32,14	2133	10
2	90	10	–	27,57	2142	11
3	80	10	10	25,94	1984	11
4	70	10	20	20,89	2009	11
5	70	20	10	21,6	1969	10
6	60	30	10	29,64	2088	10
7	70	30	–	18,97	2088	11
8	50	50	–	39,59	1963	5
9	40	60	–	41,66	1964	3
10	40	60	–	42,24	2064	0

На основе результатов, представленных в табл. 2, следует, что прочность при сжатии с увеличением содержания стекла и температуры обжига от 850 до 1050 °С увеличивается на 33 %. Исходя из представленных данных плотность полученных образцов с увеличением количества стекла в составе шихты уменьшается от 2142 до 1963 кг/м<sup>3</sup>, однако при содержании и отсутствии шламовых отходов плотность находится в одном пределе. Это говорит о том, что данные виды отходов являются плавнями, которые способствуют образованию стекольного расплава при более низких температурах обжига.

Водопоглощение полученных образцов снижается и, как видно из табл. 2, следует, что при содержании 40 % глины, 60 % стеклобоя и температуре обжига 1050 °С водопоглощение составляет 0 %.

Данные образцы имеют высокие значения плотности, прочности при сжатии и низкое водопоглощение, что позволяет получать плотный и прочный материал.

Представлены лабораторные образцы керамического кирпича на рис. 1, из которого следует, что образец на рис. 1, а отличается от образца на рис. 1, б тем, что у данных образцов разная температура обжига. Что касается внешнего вида и качества поверхности образца, изображенного на рис. 1, в, то с помощью микроскопа M1400 PLUS можно увидеть, что из полученных составов 40%-й глины и 60%-го стеклобоя при температуре обжига 1050 °С были получены лабораторные образцы со стекловидной поверхностью.

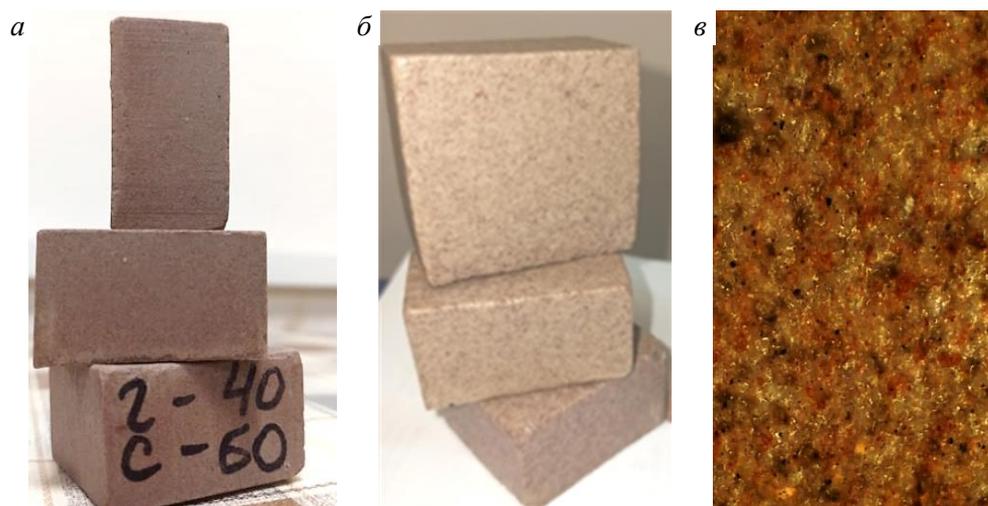


Рис. 1. Полученные лабораторные образцы керамического кирпича:  
а – лабораторный образец состава: 40 % глины, 60 % стеклобоя, обжиг при 1000 °С; б – лабораторный образец состава: 40 % глины, 60 % стеклобоя, обжиг при 1050 °С; в – стекловидная поверхность керамического кирпича состава: 40 % глины, 60 % стеклобоя

С целью исследований фазовых превращений, протекающих при обжиге сырьевой смеси, был проведен рентгенофазовый анализ (РФА), результаты которого представлены на рис. 2 и 3.

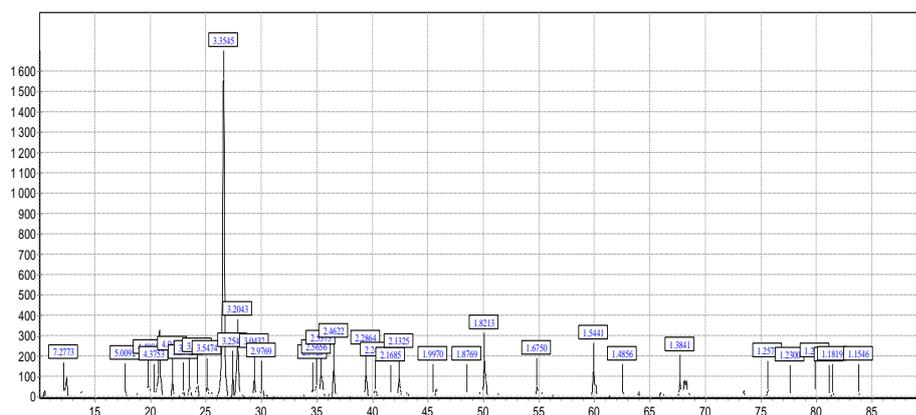


Рис. 2. РФА лабораторных образцов с составом: глина – 40 %; стеклобой – 60 % при температуре обжига 1000 °С

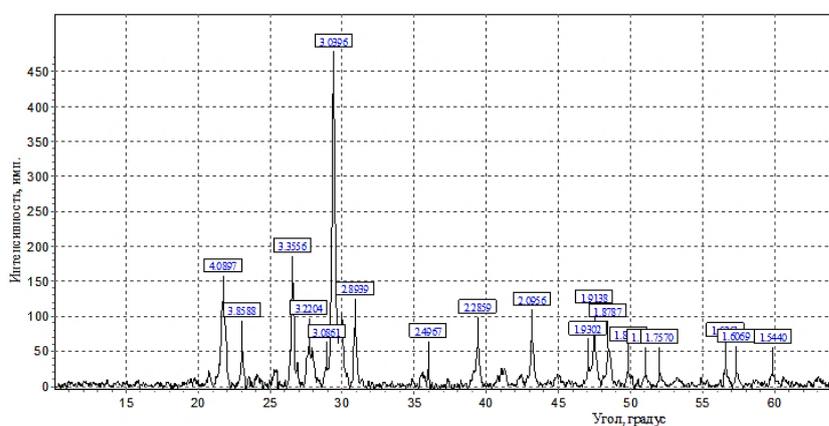


Рис. 3. РФА лабораторных образцов с составом: глина – 40 %; стеклобой – 60 % при температуре обжига 1050 °С

Полученные рентгенограммы показали, что при изменении соотношения компонентов в сырьевой смеси при прочих условиях в образцах заметны изменения в фазовом составе.

Так, в составе образца, имеющего 40 % глины, 60 % стеклобоя при температуре обжига 1000 °С, изображенного на рис. 2, преобладают пики кварца ( $d = 3,354; 1,544; 1,189; 1,546$  нм). Присутствуют пики анортита ( $d = 4,60; 3,43; 3,204; 2,52; 2,12; 1,485; 1,384$  нм). По рентгенограмме, представленной на рис. 3, в составе образца, имеющего 40 % глины, 60 % стеклобоя, при температуре обжига 1050 °С, преобладают пики анортита ( $d = 4,0897; 3,2204; 3,0396; 2,4967; 2,0956; 1,7570$  нм), присутствуют пики кварца ( $d = 3,3556$  нм).

Исходя из рентгенограмм следует, что наибольшее количество аноритовой фазы имеют образцы, содержащие в составе 40 % глины, 60 % стеклобоя при температуре обжига 1000 °С. Состав образцов с 40 % глины, 60 % стеклобоя при температуре обжига 1050 °С имеет несколько меньше дифрак-

ционных максимумов, характерных для анортита, и по сравнению с предыдущим составом характеризуется большим количеством аморфной фазы. Это связано с тем, что при температуре 1050 °С образуется большее количество жидкой фазы, которая при охлаждении переходит в стеклофазу. В результате наблюдается остекловывание поверхности образцов.

Таким образом, установлено, что используемый состав 40 % глины и 60 % стеклобоя при температуре обжига 1050 °С позволяет получить лабораторные образцы плотностью 2064 кг/м<sup>3</sup>, прочностью при сжатии 42,24 Мпа. Полученные лабораторные образцы отличаются замкнутым порообразованием.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Воронцов В.М., Немец И.И.* Стекло и керамика в архитектуре. Белгород : БГТУ, 2010. 106 с. ISBN 978-5-361-00116-3.
2. *Виткалова И.А., Виткалова И.А., Торлова А.С., Пикалов Е.С.* Применение трепела в производстве фасадной керамики, получаемой с использованием стеклобоя // Международный научно-исследовательский журнал. 2019. № 12-1 (90). С. 83–86.
3. *Юрьев И.Ю., Скрипникова Н.К., Волокитин Г.Г., Волокитин О.Г., Шеховцов В.В.* Стеновые керамические изделия с использованием алюмосиликатных отходов ТЭС. Томск : Изд-во ТГАСУ, 2018. 136 с. ISBN 978-5-93057-847-8.
4. *Gurieva V.A., Ilyina A.A.* Production waste as a component of raw materials for construction ceramics // Key Engineering Materials. 2020. 839 KEM, P. 184–188.
5. *Montaev S.A., Adilova N.B., Montaeva N.S., Dosov K.Z., Taudaeva A.A.* Study of raw materials with the aim of obtaining ceramic filler and heat-insulating and structural wall ceramics // International Journal of Mechanical and Production Engineering Research and Development. 2019. 9 (5). IJMPERDOCT. 2019. 94. P. 1057–1064.
6. *Власов В.А., Скрипникова Н.К., Семеновых М.А., Волокитин О.Г., Шеховцов В.В.* Стеновые керамические материалы с использованием техногенного железосодержащего сырья // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2020. С. 33–37.
7. *Салахов А.М.* Современные керамические материалы. Казань : КФУ, 2016. 407 с. ISBN 978-5-906962-43-0.
8. *Shang W., Peng Z., Huang Y., Li G., Jiang T. and etc.* Production of glass-ceramics from metallurgical slags // Journal of Cleaner Production. 2021. 317. 128220.
9. *Виткалова И.А., Пикалов Е.С., Торлова А.С.* Утилизация стеклобоя в производстве облицовочной керамики с эффектом самоглазурования // Международный научно-исследовательский журнал. 2019. № 11-1 (89). С. 62–66.
10. *Власов В.А., Скрипникова Н.К., Шеховцов В.В., Волокитин О.Г., Семеновых М.А., Волокитин Г.Г., Тогидний М.Л.* Керамические стеновые материалы на основе некондиционного сырья. Томск : Изд-во ТГАСУ, 2020. 144 с. ISBN 978-5-93057-948-2.
11. *Шахова В.Н., Березовская А.В., Пикалов Е.С.* Разработка облицовочного керамического материала с эффектом самоглазурования на основе малопластичной глины // Стекло и керамика. 2019. № 1. С. 13–18.
12. *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. № 6. С. 115–121.

#### REFERENCES

1. *Vorontsov, V.M., German I.I.* Steklo i keramika v arkhitekture [Glass and ceramics in architecture]. Belgorod: BSTU, 2010. 106 p. (rus)
2. *Vitkalova I.A., Vitkalova I.A., Torlova A.S., Pikalov E.S.* Primenenie trepela v proizvodstve fasadnoi keramiki, poluchaemoi s ispol'zovaniem stekloboya [Tripoli powder in facing ceram-

- ics production based on broken glass]. *Mezhdunarodnyi nauchno-issledovatel'skii zhurnal*. 2019. No. 12-1 (90). Pp. 83–86. (rus)
3. *Yuriev I.Yu., Skripnikova N.K., Volokitin G.G., Volokitin O.G., Shekhovtsov V.V.* Stenovye keramicheskie izdeliya s ispol'zovaniem alyumosilikatnykh otkhodov TES [Wall ceramic products based on aluminosilicate waste from thermal power plants]. Tomsk: TSUAB, 2018. 136 p. (rus)
  4. *Gurieva V.A., Ilyina A.A.* Production waste as a component of raw materials for construction ceramics. *Key Engineering Materials*. 2020. V. 839. Pp. 184–188.
  5. *Montaev S.A., Adilova N.B., Montaeva N.S., Dosov K.Z., Taudaeva A.A.* Study of raw materials with the aim of obtaining ceramic filler and heat-insulating and structural wall ceramics. *International Journal of Mechanical and Production Engineering Research and Development*. 2019. V. 9. No. 5. Pp. 1057–1064.
  6. *Vlasov V.A., Shekhovtsov V.V., Volokitin O.G., Skripnikova N.K., Volokitin G.G., Gafarov R.E.* Osobennosti formirovaniya strukturno-fazovogo sostava mikrosfer na osnove materialov alyumosilikatnoi gruppy [Structure and phase composition of aluminosilicate-based microspheres]. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture*. 2020. V. 22. No. 4. Pp. 33–37. (rus)
  7. *Salakhov A.M.* Sovremennyye keramicheskie materialy [Modern ceramic materials]. Kazan: Kazan Federal University, 2016. 407 p. (rus)
  8. *Shang W., Peng Z., Huang Y., Li G., Jiang T., et al.* Production of glass-ceramics from metallurgical slags. *Journal of Cleaner Production*. 2021. V. 317. 128220.
  9. *Vitkalova I.A., Pikalov E.S., Torlova A.S.* Utilizatsiya stekloboya v proizvodstve oblitsovochnoi keramiki s efektom samoglazurovaniya [Utilization of broken glass in the production of facing ceramics with self-glazing effect]. *Mezhdunarodnyi nauchno-issledovatel'skii zhurnal*. 2019. No. 11–1 (89). Pp. 62–66. (rus)
  10. *Vlasov V.A., Skripnikova N.K., Shekhovtsov V.V., Volokitin O.G., Semenovs M.A., Volokitin G.G., Togidny M.L.* Keramicheskie stenovye materialy na osnove nekonditsionnogo syr'ya [Ceramic wall materials based on substandard raw materials]. Tomsk: TSUAB, 2020. 144 p. (rus)
  11. *Shakhova V.N., Berezovskaya A.V., Pikalov E.S.* Razrabotka oblitsovochnogo keramicheskogo materiala s efektom samoglazurovaniya na osnove maloplastichnoi gliny [Facing ceramic material with self-glazing effect based on low-plasticity clay]. *Steklo i keramika*. 2019. No. 1. Pp. 13–18. (rus)
  12. *Skripnikova N.K., Vlasov V.A., Semenovskiy M.A., Volokitin G.G., Shekhovtsov V.V.* Issledovanie vozmozhnosti ispol'zovaniya ugle rodsoderzhashchego tekhnogennoogo syr'ya pri proizvodstve keramicheskikh izdelii [Carboncontaining 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

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

*Кунц Олеся Анатольевна*, магистрант, Томский государственный архитектурно-строительный университет, 634003, г. Томск, пл. Соляная, 2, Kunts.98@mail.ru

*Улмасов Ахрорбек Боходиржон угли*, магистрант, Томский государственный архитектурно-строительный университет, 634003, г. Томск, пл. Соляная, 2, akhrorbek001@mail.ru

#### Authors Details

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

*Olesya A. Kunts*, Graduate Student, Tomsk State University of Architecture and Building, 2, Solyanaya Sq., 634003, Tomsk, Russia, Kunts.98@mail.ru

*Akhrorbek B. Ulmasov*, Graduate Student, Tomsk State University of Architecture and Building, 2, Solyanaya Sq., 634003, Tomsk, Russia, akhrorbek001@mail.ru

# ТЕПЛОСНАБЖЕНИЕ, ВЕНТИЛЯЦИЯ, КОНДИЦИОНИРОВАНИЕ ВОЗДУХА, ГАЗОСНАБЖЕНИЕ И ОСВЕЩЕНИЕ

УДК 697.343

DOI: 10.31675/1607-1859-2021-23-6-172-178

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

## АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ МЕТОДОВ ПРОВЕДЕНИЯ ИСПЫТАНИЙ НА ТЕПЛОВЫХ СЕТЯХ

В данной научно-исследовательской работе приведен анализ существующих методик проведения испытаний трубопроводов теплоснабжения на тепловые потери и гидравлические сопротивления, описаны отдельные этапы обработки данных. Методики испытаний рассмотрены с точки зрения корректности получения данных на стадии фактического этапа сбора информации. На основании полученных данных возможно оценить имеющийся потенциал принятых методов проведения испытаний.

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

**Для цитирования:** Куриленко Н.И., Кузьменко К.Е. Анализ существующих методов проведения испытаний на тепловых сетях // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2021. Т. 23. № 6. С. 172–178. DOI: 10.31675/1607-1859-2021-23-6-172-178

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

## ANALYSIS OF HEAT NETWORK TESTING METHODS

**Purpose:** Improvement of the heat network testing and data collection methods. The analysis of heat losses, hydraulic resistance, and data processing. The testing methods are considered from the point of view of the data correctness obtained during the data collection. **Methodology:** Heat network testing and the data processing analysis. **Findings:** The paper determines the need to adjust the heat network testing methods for thermal and hydraulic losses. **Practical implications:** The calculation inaccuracy is identified, and a set of measures is proposed to clarify the results obtained. The obtained data can be used to evaluate the heat network testing methods. **Value:** Regulatory documents and engineering requirements for heat network testing of resource-supplying organizations are insufficient since they do not allow for the use of modern control methods and measuring equipment.

**Keywords:** centralized heat supply; heat losses; hydraulic losses; heat network testing; pipelines.

*For citation:* Kurilenko N.I., Kuzmenko K.E. Analiz sushchestvuyushchikh metodov provedeniya ispytaniya na teplovykh setyakh [Analysis of heat network testing methods]. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture. 2021. V. 23. No. 6. Pp. 172–178.  
DOI: 10.31675/1607-1859-2021-23-6-172-178

**Общие положения проведения испытаний на наружных тепловых сетях систем теплоснабжения**

Актуальность рассматриваемой темы обусловлена несовершенством требований действующего нормативно-технического законодательства РФ к проведению испытаний на тепловых сетях ресурсоснабжающих организаций. Существующие методы проведения испытаний на тепловые и гидравлические потери не учитывают возможности использования современного контрольно-измерительного оборудования.

Аргументы, приведенные в статье, определяют необходимость корректировки принятых методик проведения испытаний на тепловые и гидравлические потери. В результате выполненной работы определены неточности при проведении расчётов, а также предложен комплекс мероприятий по уточнению получаемых результатов.

Целью представленной статьи является корректировка принятых методов по проведению испытаний на тепловых сетях, а также изменение концепции сбора исходных данных.

Целью проведения испытаний на тепловые и гидравлические потери является определение эксплуатационного износа тепловой изоляции тепловых сетей, а также изменение толщины стенок и коэффициента шероховатости трубопроводов.

При подготовке к проведению испытаний на тепловых сетях необходимо выполнить сборку циркуляционного кольца, определенного на основании расчетов [1]. Циркуляционное кольцо включает в себя типовые участки тепловых сетей, подключенных к источнику теплоснабжения, участвующего в испытаниях.

При выполнении испытаний используется различное контрольно-измерительное оборудование, приведенное в табл. 1.

*Таблица 1*

**Фиксируемые параметры и применяемое оборудование**

Измеряемый параметр	Измерительный прибор	Требования к измерительным приборам
1. Давление, кгс/см <sup>2</sup>	Манометр механический/цифровой	Измеряемые значения не должны превышать 2/3 шкалы измерений Класс прибора МТ:1
2. Температура, °С	Манометр механический	Допустимая погрешность при проведении измерений ± 1 %
3. Расход, м <sup>3</sup> /ч	Расходомер ультразвуковой/электромагнитный	Допустимая погрешность при проведении измерений ± 2,5 % Наличие поверки

### Определение существующей погрешности принятой методики проведения испытаний на тепловых сетях

В соответствии с существующей методикой проведения испытаний на гидравлические потери определены следующие места установки манометров [2, 3]:

- на трубопроводе в местах изменения внутреннего диаметра (на меньшем диаметре);
- в местах установки циркуляционных перемычек, до и после перемычки;
- в местах изменения расхода теплоносителя;
- при испытаниях трубопроводов одинакового диаметра и значительной протяжённости давление фиксируется в промежуточных точках.

Значения температуры и расхода теплоносителя фиксируются либо на источнике теплоснабжения, либо на используемой насосной станции. В целях контроля применяются штатные приборы учета.

Принципиальная схема, применяемая при проведении испытаний на тепловые и гидравлические потери, представлена на рис. 1.

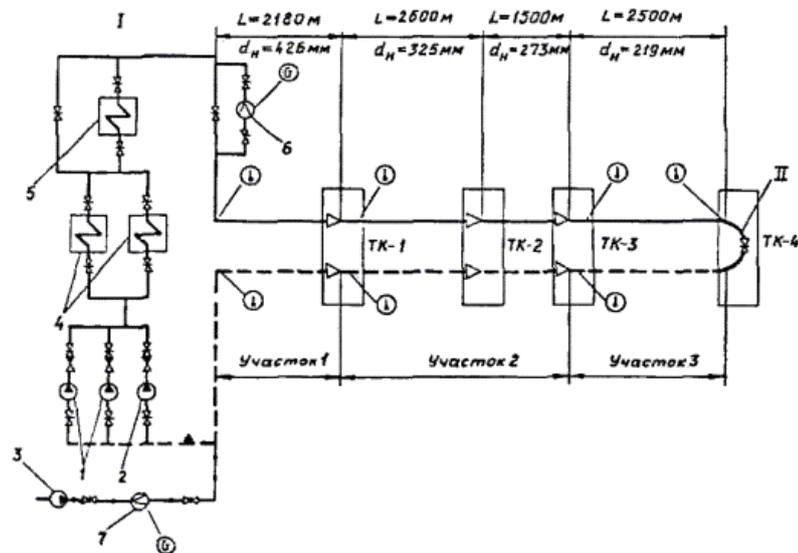


Рис. 1. Принципиальная схема подключения оборудования при проведении испытаний на тепловые и гидравлические потери:

I – теплогенерирующая установка; II – циркуляционная перемычка; 1 – сетевые насосы (назначение: работа в отопительный период); 2 – сетевой насос (назначение: работа в межотопительный период); 3 – подпиточный насос; 4 – теплообменные аппараты; 5 – пиковый теплообменный аппарат; 6 – расходомер сетевого контура; 7 – расходомер подпиточного контура

На основании представленной принципиальной схемы определены точки врезки контрольно-измерительных приборов на участках тепловой сети. С целью проверки методов расчета на достоверность рассмотрим метод определения потерь напора по эксплуатируемому подающему или обратному трубопроводу, м, при максимальном расходе сетевой воды:

$$\Delta H = H_{\text{н}} - H_{\text{к}} = \left( \frac{p_{\text{н}} \cdot 10^4}{\rho} + h_{\text{г.н}} \right) - \left( \frac{p_{\text{к}} \cdot 10^4}{\rho} + h_{\text{г.к}} \right), \quad (1)$$

где  $H_{\text{н}}$  и  $H_{\text{к}}$  – полный напор в трубопроводе в начале и конце участка, м;  $p_{\text{н}}$  и  $p_{\text{к}}$  – показания манометров в начале и конце участка трубопровода, кг/см<sup>2</sup>;  $h_{\text{г.н}}$  и  $h_{\text{г.к}}$  – геодезические отметки (поправки) на положение манометров, установленных в начале и конце участка, м; определяются по следующей формуле:

$$h_{\text{г.н(к)}} = \frac{(p_{\text{т}}^{\text{ст}} - p_{\text{н(к)}}^{\text{ст}}) 10^4}{\rho}, \quad (2)$$

где  $p_{\text{т}}^{\text{ст}}$  – давление на источнике тепла или в наиболее низкой точке наблюдения при статическом режиме, кгс/см<sup>2</sup>;  $p_{\text{н(к)}}^{\text{ст}}$  – давление в рассматриваемой точке (в начале или конце участка) при статическом режиме, кгс/см<sup>2</sup>;  $\rho$  – плотность воды при температуре испытаний, кг/м<sup>3</sup>.

Для определения степени корректности расчетов на гидравлические потери необходимо рассмотреть метод определения расчетного параметра, в данном случае – гидравлическое сопротивление для вводимого в эксплуатацию трубопровода [4]. Гидравлическое сопротивление определяем по формуле

$$\Delta H = s_{\text{уч}}^{\text{п(о)}} \cdot G^2, \quad (3)$$

где  $G$  – ожидаемый расход воды при испытаниях, м<sup>3</sup>/ч;  $s_{\text{уч}}^{\text{п(о)}}$  – сопротивление каждого участка магистрали по подающему и обратному трубопроводу, ч<sup>2</sup>/м<sup>5</sup>, определяется по формуле

$$s_{\text{уч}}^{\text{п(о)}} = s_{\text{л}} \cdot L + s_{\text{м}} \Sigma \xi, \quad (4)$$

где  $s_{\text{л}}$  – удельное сопротивление 1 м трубопровода, ч<sup>2</sup>/м<sup>6</sup> или м/[(м<sup>3</sup>/ч)<sup>2</sup>·м];  $s_{\text{м}}$  – удельное сопротивление единицы коэффициента местных сопротивлений, ч<sup>2</sup>/м<sup>5</sup> или м/(м<sup>3</sup>/ч)<sup>2</sup>;  $\Sigma \xi$  – сумма коэффициентов местных сопротивлений по участкам;  $L$  – длина участка трубопровода, м.

Рассмотрев приведённые методы расчета потерь напора, а также схему сборки циркуляционного кольца, делаем вывод, что испытания, организованные согласно данной методике, не учитывают эффект Вентури, который является следствием закона Бернулли [5–7].

Эффект Вентури определяет зависимость внутреннего давления от диаметра трубопровода и скорости движения теплоносителя. Принцип действия закона Вентури заключается в падении давления при движении потока жидкости или газа через участок меньшего диаметра [8, 9]. Для определения изменения давления при увеличении/уменьшении диаметра трубопровода необходимо рассмотреть уравнение Бернулли:

$$Z_1 + \frac{P_1}{\rho \cdot g} + \frac{u_1^2}{2 \cdot g} = Z_2 + \frac{P_2}{\rho \cdot g} + \frac{u_2^2}{2 \cdot g}, \quad (5)$$

где  $P$  – давление, Па;  $\rho$  – плотность жидкости, кг/м<sup>3</sup>;  $u$  – скорость движения жидкости, м/с;  $Z$  – высота, м;  $g$  – ускорение свободного падения.

Для расчета приняты три трубопровода: Ду1000, Ду500 и Ду300, принципиальная схема расчетного трубопровода приведена на рис. 2. Исходные данные и результаты расчетов приведены в табл. 2.

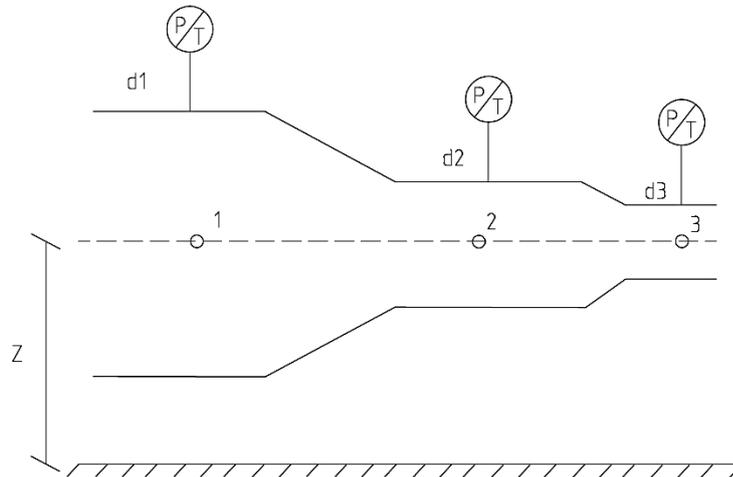


Рис. 2. Принципиальная схема расчетного трубопровода

Таблица 2

### Фиксируемые параметры и применяемое оборудование

Точка измерения давления № 1			Точка измерения давления № 2			Точка измерения давления № 3		
$D$	1080	мм	$D$	630	мм	$D$	325	мм
$G$	6000	м <sup>3</sup> /ч	$G$	6000	м <sup>3</sup> /ч	$G$	6000	м <sup>3</sup> /ч
$u$	2,22	м/с	$u$	5,8	м/с	$u$	23,5	м/с
$P$	60	м.в.ст.	$P$	58,53614	м.в.ст.	$P$	32,10413	м.в.ст.
	588408,3	Па		574052,6	Па		314839	Па
$\rho$	1000	кг/м <sup>3</sup>	$\rho$	1000	кг/м <sup>3</sup>	$\rho$	1000	кг/м <sup>3</sup>
$Z$	1	м	$Z$	1	м	$Z$	1	м

Из полученных результатов следует, что изменение давления внутри трубопровода пропорционально изменению внутреннего диаметра трубопровода и, как следствие, изменению скорости движения жидкости [10]. Несмотря на то, что в приведенных расчетах не учтено влияние местных и линейных гидравлических потерь, с учетом эффекта Вентури уменьшение давления в трубопроводе Ду500 по отношению к Ду1000 составило 2,44 %, при сравнении падения давления в Ду1000 и Ду300 данное значение составляет 46 %.

На основании анализа методов проведения испытаний на тепловых сетях на гидравлические потери, а также принципов сборки циркуляционного

кольца при проведении испытаний сделан вывод о некорректности принятых методик. При фиксировании необходимых данных на стадии экспериментальной фазы проведения испытаний манометр, установленный на меньшем диаметре трубы, учитывает не только возникающие линейные и местные гидравлические сопротивления, но и уменьшение давления, возникающее вследствие эффекта Вентури.

С целью повышения точности проводимых испытаний требуется внести изменения в процесс сборки циркуляционного кольца, выполнив установку группы манометров как в начале испытуемого участка (диаметра одного размера), так и в конце. Установка манометров на трубопроводе одного диаметра даст возможность выполнить фиксацию линейных потерь и местных сопротивлений, участвующих в дальнейших расчетах, а также позволит избежать фиксации некорректных данных.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Куриленко Н.И., Кузьменко К.Е.* Актуализация методов проведения испытаний на тепловых сетях // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2021. Т. 23. № 1. С. 116–123.
2. *Методические указания по испытанию водяных тепловых сетей* на гидравлические потери : РД 34.20.519-97 : утв. Департаментом науки и техники РАО «ЕЭС России» 24.04.97. Москва, 1989. 22 с.
3. *Чугаев Р.Р.* Гидравлика. Ленинград : Энергоиздат, 1982. 141 с.
4. *Агапкин, В.М., Борисов С.Н., Кривошеин Б.Л.* Справочное руководство по расчетам трубопроводов. Москва : Недра, 1987. 53 с.
5. *Манюк В.И., Каплинский Я.И., Хин Э.Б. и др.* Наладка и эксплуатация водяных тепловых сетей : справочник. Москва : Стройиздат, 1988. 241 с.
6. *Николаев А.А.* Проектирование тепловых сетей : справочник. Москва : Стройиздат, 1965. 347 с.
7. *Tuomas E., Skrinska A.* An exploration of heat consumption for production of domestic hot water in central heat substations // *Statyba*. 1998. V. IV. № 3. P. 196–201.
8. *Williams B.* Point Arguello Project Start-up Blocked Again // *Oil and Gas Journal*. 1990. V. 88. № 47. P. 34–36.
9. *Zemenkov Yu.D., Moiseev B.V., Toropov S.Y.* Industrial power system: Textbook. Tyumen : Oil and Gas University Publishing House, 2014. 236 p.
10. *Krylov G.V., Moiseev B.V., Stepanov O.A.* Fundamentals of Heat Power Engineering in Gas Industry. Moscow : Nedra-Business Center, 1999. 239 p.

#### REFERENCES

1. *Kurilenko N.I., Kuzmenko K.E.* Aktualizatsiya metodov provedeniya ispytaniy na teplovykh setyakh [Heat network testing actualization]. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture*. 2021. V. 23. No. 1. Pp. 116–123. (rus)
2. *Metodicheskiye ukazaniya po ispytaniyu vodyanykh teplovykh setey na gidravlicheskiye poteri: RD 34.20.519-97* [Guidelines for testing hydraulic losses of heat networks]. Moscow, 1989. 22 p. (rus)
3. *Chugayev R.R.* Gidravlika [Hydraulics]. Leningrad: Energoizdat, 1982. 141 p. (rus)
4. *Agapkin V.M.* Spravochnoye rukovodstvo po raschetam truboprovodov [Reference guide for pipeline calculations]. Moscow: Nedra, 1987. 53 p. (rus)
5. *Manyuk V.I., Kaplinskiy Ya.I., Khin E.B.* Naladka i ekspluatatsii vodyanykh teplovykh setey [Adjustment and operation of heat networks]. Moscow: Stroyizdat, 1988. 241 p. (rus)

6. *Nikolayev A.A.* Proyektirovaniye teplovykh setey [Heat network design]. Moscow: Stroyizdat, 1965. 347 p. (rus)
7. *Tuomas E., Skrinska A.* An exploration of heat consumption for production of domestic hot water in central heat substations. *Statyba*. 1998. V. 4. No. 3. Pp. 196–201.
8. *Williams B.* Point Arguello Project start-up blocked again. *Oil and Gas Journal*. 1990. V. 88, No. 47. Pp. 34–36.
9. *Zemenkov Yu.D., Moiseev B.V., Toropov S.Y.* Industrial power system. Tyumen, 2014. 236 p.
10. *Krylov G.V., Moiseev B.V., Stepanov O.A.* Fundamentals of heat power engineering in gas industry. Moscow: Nedra-Business Center, 1999. 239 p.

**Сведения об авторах**

*Куриленко Николай Ильич*, канд. физ.-мат. наук, доцент, Тюменский индустриальный университет, 625000, г. Тюмень, ул. Володарского, 38, Kurilenkoni@tyuiu.ru

*Кузьменко Кирилл Евгеньевич*, аспирант, Тюменский индустриальный университет, 625000, г. Тюмень, ул. Володарского, 38, Kuzmenkoke@suenco.ru

**Authors Details**

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

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

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

УДК 624.046.2:666.96

DOI: 10.31675/1607-1859-2021-23-6-179-189

*В.Н. ЛУКАШЕВИЧ, О.Д. ЛУКАШЕВИЧ, Р.И. МОКШИН,  
Томский государственный архитектурно-строительный университет*

## ПРИМЕНЕНИЕ ЭЛЕКТРОННОГО ПАРАМАГНИТНОГО РЕЗОНАНСА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ СТАРЕНИЯ ОРГАНИЧЕСКОГО ВЯЖУЩЕГО В ДИСПЕРСНО-АРМИРОВАННЫХ ОСНОВАНИЯХ ДОРОЖНЫХ ОДЕЖД

Актуальность работы предопределена потребностью увеличения срока службы конструктивных слоев дорожных одежд, выполненных из дисперсно-армированных органоминеральных смесей, за счет снижения интенсивности старения органического вяжущего, которое начинается на стадии приготовления органоминеральных смесей и длится в течение всего периода эксплуатации конструктивного слоя. В результате старения органического вяжущего адсорбционно-солевые оболочки на поверхности минеральных материалов становятся более вязкими, приобретают повышенную хрупкость. Трещинообразование становится более интенсивным, дорожные одежды, запроектированные и построенные в соответствии с требованиями действующих нормативных документов, разрушаются, не выдерживая установленных сроков службы. Дисперсное армирование конструктивных слоев дорожных одежд химическими волокнами из отработанных сорбентов, содержащих регулируемое количество поглощенных нефтепродуктов, может быть одним из методов, позволяющих частично решить эту проблему.

Целью работы являлось исследование интенсивности старения вяжущего в органоминеральных смесях с применением методов электронного парамагнитного резонанса. Оценка интенсивности старения органического вяжущего производилась по концентрации в нем парамагнитных центров, поскольку асфальтены представляют собой почти 100%-й концентрат парамагнетиков, что может служить показателем интенсивности процесса старения нефтяной дисперсной системы.

Результаты исследований показывают, что при дисперсном армировании конструктивных слоев дорожных одежд химическими волокнами из отработанных сорбентов, содержащих регулируемое количество поглощенных нефтепродуктов, происходит уменьшение концентрации парамагнитных центров, свидетельствующее о снижении концентрации асфальтенов, что, в свою очередь, говорит о снижении интенсивности старения нефтяной дисперсной системы.

**Ключевые слова:** электронный парамагнитный резонанс; дисперсная арматура; нефтяной битум; свободные радикалы; волокнистые сорбенты; избирательная фильтрация; кольматация; адсорбционные слои нефтяного битума.

*Для цитирования:* Лукашевич В.Н., Лукашевич О.Д., Мокшин Р.И. Применение электронного парамагнитного резонанса для исследования процессов старения органического вяжущего в дисперсно-армированных основаниях дорожных одежд // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2021. Т. 23. № 6. С. 179–189.

DOI: 10.31675/1607-1859-2021-23-6-179-189

V.N. LUKASHEVICH, O.D. LUKASHEVICH, R.I. MOKSHIN,  
Tomsk State University of Architecture and Building

## ELECTRON PARAMAGNETIC RESONANCE IN ORGANIC BINDER AGING IN DISPERSELY REINFORCED SUBSTRUCTURES

**Purpose:** To study the intensity of binder aging in organo-mineral mixtures using electron paramagnetic resonance. The aging intensity of the organic binder is provided by its concentration in paramagnetic centers, since asphaltenes are almost one hundred percent of paramagnet concentration and indicate to the aging intensity of the petroleum dispersion system. **Approach:** Dispersed reinforcement of substructures with chemical fibers made of spent sorbents containing a controlled amount of absorbed oil products allows to partially solve the problem of crack formation and fracture of road pavements designed in accordance with the regulatory documents. **Research implications:** The service life of substructure made of dispersely reinforced organo-mineral mixtures reduces owing to organic binder aging, which begins at the stage of preparation of organo-mineral mixtures and continues during the substructure operation. Organic binder ageing results in the formation of solvation layers on the surface of mineral materials that become more viscous and brittle. **Findings:** The substructure dispersed reinforcement with chemical fibers made of spent sorbents containing a controlled amount of absorbed oil products decreases the concentration of paramagnetic centers. This indicates to a decrease in the asphaltene concentration, thereby reducing the aging intensity of the oil dispersion system.

**Keywords:** electron paramagnetic resonance; disperse fittings; oil bitumen; free radicals; fibrous sorbents; selective filtration; mud initiation; adsorption layers.

**For citation:** Lukashevich V.N., Lukashevich O.D., Mokshin R.I. Primenenie elektronnoy paramagnitnoy rezonansy dlya issledovaniya protsessov stareniya organicheskogo vyazhushchego v dispersno-armirovanykh osnovaniyakh dorozhnykh odezhd [Electron paramagnetic resonance in organic binder aging in dispersely reinforced substructures]. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture. 2021. V. 23. No. 6. Pp. 179–189.

DOI: 10.31675/1607-1859-2021-23-6-179-189

Причинами старения конструктивных слоев дорожных одежд из органо-минеральных смесей являются физико-химические процессы, протекающие в адсорбционно-сольватных оболочках битума. Они начинаются при приготовлении смесей и продолжаются в процессе эксплуатации конструктивных слоев дорожной одежды. Огромное влияние на интенсивность старения органического вяжущего оказывают процессы избирательной фильтрации компонентов вяжущего в поры и капилляры минеральных материалов, изменяющие структуру адсорбционно-сольватных оболочек, а также воздействие природ-

но-климатических факторов, приводящее к изменению фракционного состава нефтяного битума. Академик Л.Б. Гезенцев отмечал: «...изменение компонентного состава приповерхностных слоев битума представляет собой одну из форм интенсивного старения битума, характерную для битумоминеральных композиций...» [1].

В процессе избирательной диффузии наименее вязкие компоненты битума – масла – проникают вглубь материала. Смолами заполняются мелкие поры. Асфальтены являются твердыми и хрупкими компонентами битума. Они адсорбируются на поверхностях частиц минерального материала. Это приводит к повышению механической прочности и температурной устойчивости битумоминеральных композиций, но одновременно снижает трещиностойкость при отрицательных температурах и способствует ускорению интенсивности старения материала конструктивного слоя.

Процесс старения битумоминеральных композиций происходит также под воздействием природно-климатических факторов и сопровождается переходом смол в асфальтены, а масел – в смолы [2–5]. Катализаторами этого процесса являются полуторные оксиды ( $Al_2O_3$ ,  $Fe_2O_3$ ) [6–9].

Вследствие избирательной диффузии компонентов органического вяжущего, изменения фракционного состава его пленок, отрицательного влияния полуторных оксидов, ускоряющих процессы негативного фракционирования, адсорбционные слои нефтяного битума на поверхности минеральных материалов обедняются низкомолекулярными фракциями. В результате потери низкомолекулярных фракций адсорбционные слои нефтяного битума, обеспечивающие когезионную связь между частицами минеральных материалов, теряют эластичность, становятся более вязкими, а следовательно, и более хрупкими при отрицательных температурах. Снижается трещиностойкость конструктивных слоев из битумоминеральных композиций. В трещины покрытия проникает вода и замерзает при отрицательных температурах, что приводит к разрушению конструктивных слоев и сокращению сроков их службы.

Из вышесказанного следует, что продлить сроки службы конструктивных слоев дорожных одежд из битумоминеральных композиций возможно путем замедления процессов фракционирования нефтяного битума, снижения интенсивности избирательной диффузии, а также нейтрализации полуторных оксидов как катализаторов старения нефтяного битума. Это может быть достигнуто путем дисперсного армирования органоминеральных композиций [10–16].

Дисперсное армирование целесообразно производить отрезками химических волокон, полученных из волокнистых сорбентов, отработавших свой ресурс и содержащих регулируемое количество углеводородного сырья, собранного при ликвидации разливов, имеющих место в результате крушения танкеров, при авариях на нефтепроводах, буровых установках. Реализация этой технологии предоставляет возможность обработки минеральных материалов органическими вяжущими в два этапа [17]. На первой стадии в минеральный материал вводятся волокнистые сорбенты, содержащие регулируемое количество собранных нефтепродуктов, на второй – нефтяной битум. На первой стадии, контактируя с волокнистыми сорбентами, минеральный материал обрабатывается содержащимся в них углеводородным сырьем, собран-

ным при ликвидации аварий. Этим сырьем является чаще всего нефть, мазут, смолы различного происхождения, сланцевые и каменноугольные фусы. А поскольку нефть, мазут, смолы, фусы содержат большое количество поверхностно-активных веществ (фенолы, кетоны, карбоновые кислоты), обеспечивается хорошая адгезия органического вяжущего к поверхности минерального материала. Эти компоненты, вступая в химическое взаимодействие с поверхностью минерального материала, обеспечивают наличие хемосорбционных связей с образованием водонерастворимых соединений на поверхности минерального материала. Кроме того, в процессе избирательной фильтрации активные компоненты проникают по порам и капиллярам внутрь минерального материала, взаимодействуя с поверхностью пор и капилляров. В результате этих процессов происходит коагуляция пор и капилляров минерального материала компонентами вяжущего, используемого на первой стадии.

На второй стадии производится обработка полученной органоминеральной смеси нефтяным битумом. При этом процесс избирательной фильтрации компонентов нефтяного битума в поры и капилляры минерального материала не будет иметь места, т. к. эти поры и капилляры уже заполнены компонентами органического вяжущего на первой стадии. Следовательно, адсорбционные слои нефтяного битума на поверхности минеральных материалов не будут обедняться низкомолекулярными фракциями, что положительно скажется на их эластичности при отрицательных температурах. Кроме того, вследствие наличия в адсорбционном слое нефтяного битума повышенного количества низкомолекулярных фракций процесс перехода масел в смолы, а смол в асфальтены будет происходить менее интенсивно. В результате повысится трещиностойкость асфальтобетона и, как следствие, – долговечность покрытий.

Для проверки выдвинутых предположений были проведены исследования с применением методов электронного парамагнитного резонанса (ЭПР). В соответствии с теорией, разработанной профессором Ф.Г. Унгером, имеющиеся на поверхности минеральных материалов свободные радикалы могут являться центрами, на которых осаждаются асфальтены, происходит объединение асфальтенов с дальнейшим увеличением их количества [18]. Поскольку асфальтены являются почти 100%-м концентратом парамагнетиков, показателем интенсивности процесса старения нефтяной дисперсной системы может быть концентрация в ней парамагнитных центров, свидетельствующая о концентрации асфальтенов [19–21].

Исследования были выполнены на радиоспектрометре RADIOPAN SE/X-25-44 с частотой 9 ГГц (длина волны 3,2 см). В качестве квазивнутреннего эталона использованы рубиновые стержни, установленные «наглухо» в резонаторе, позволяющие производить измерения, не зависящие от диэлектрических параметров образца. Для исследования электронного парамагнитного резонанса образцы смеси были помещены в кварцевые калиброванные ампулы, закрывающиеся фторопластовой пробкой.

В качестве минеральных материалов в экспериментальных работах были применены гранит и известняк. Модифицирование минеральных материалов осуществляли с использованием сырой нефти Первомайского месторождения Томской области, полученной после центрифугирования сорбентов.

В качестве основного органического вяжущего был использован нефтяной дорожный битум марки БНД 90/130 Ачинского НПЗ.

Исследовались смеси двух типов:

*a* – смесь, приготовленная по традиционной технологии (минеральный материал, обработанный нефтяным битумом);

*б* – смесь, приготовленная с использованием сырой нефти, полученной после центрифугирования сорбентов (минеральный материал, обработанный сначала сырой нефтью, а затем нефтяным битумом).

Технология приготовления смеси *a* предусматривала дозирование минерального материала, его нагрев до температуры 160 °С, дозирование и введение горячего нефтяного битума с последующим перемешиванием.

Технология приготовления смеси *б* предусматривала дозирование минерального материала, его нагрев до температуры 160 °С, дозирование, введение сырой нефти и ее перемешивание с минеральным материалом, дозирование и введение горячего нефтяного битума и окончательное перемешивание.

Были получены спектры ЭПР смесей сразу после смешения компонентов, а также смесей, подвергнутых старению (выдержанных при температуре 160 °С в термостабилизированной камере в течение 6 ч). Определена концентрация парамагнитных центров в смесях. На рис. 1–4 представлены спектры электронного парамагнитного резонанса исследуемых материалов. Концентрация парамагнитных центров в смесях до и после старения представлена в таблице.

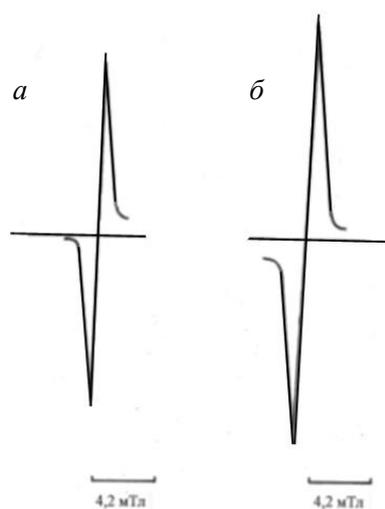


Рис. 1. Спектры ЭПР гранита, обработанного органическими вяжущими:

*a* – гранит + нефть + битум; *б* – гранит + битум

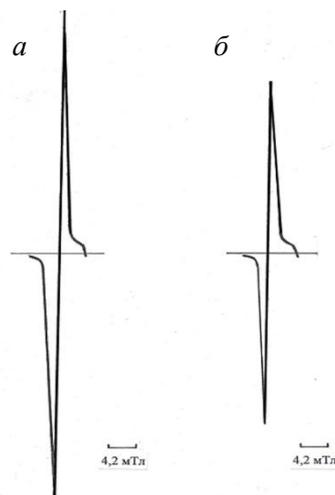


Рис. 2. Спектры ЭПР известняка, обработанного органическими вяжущими:

*a* – известняк + битум; *б* – известняк + нефть + битум

Спектры ЭПР, представленные на рис. 1–4, свидетельствуют о том, что введение в смесь нефти, содержащейся в дисперсной арматуре, снижает концентрацию парамагнитных центров как до, так и после старения органоминеральной смеси.

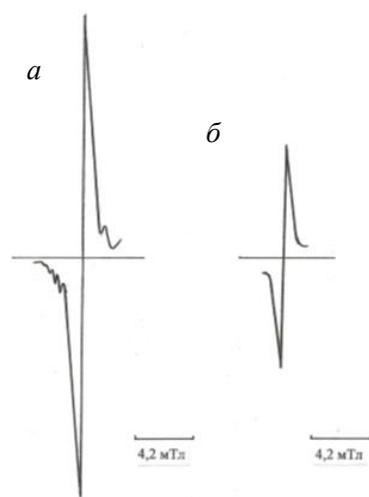


Рис. 3. Спектры ЭПР после старения гранита, обработанного органическими вяжущими:  
*a* – гранит + битум; *б* – гранит + нефть + битум

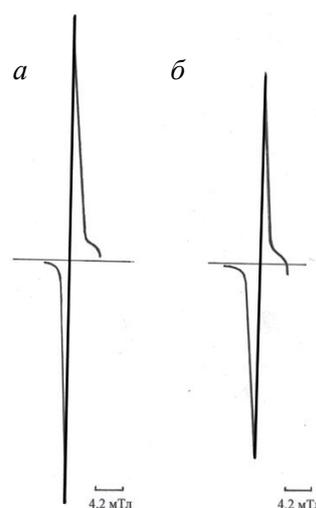


Рис. 4. Спектры ЭПР известняка, обработанного органическими вяжущими:  
*a* – известняк + битум; *б* – известняк + нефть + битум

Результаты количественных исследований содержания парамагнитных центров в смесях, представленные в таблице, показывают, что введение в гранитный материал нефтяного битума приводит к образованию в смеси  $0,22 \cdot 10^{17} \text{ г}^{-1}$  парамагнитных центров.

#### Влияние технологии приготовления битумоминеральных смесей на концентрацию парамагнитных центров

Состав органоминеральной смеси	Концентрация парамагнитных центров в смеси, $\text{г}^{-1}$		Влияние процесса старения на концентрацию парамагнитных центров
	до старения	после старения	
1. Гранит + битум 2. Гранит + нефть + битум	$0,22 \cdot 10^{17}$ $0,19 \cdot 10^{17}$ Снижение на 14 %	$0,7 \cdot 10^{17}$ $0,26 \cdot 10^{17}$ Снижение на 63 %	Увеличение на 218 % Увеличение на 37 %
3. Известняк + битум 4. Известняк + нефть + битум	$3,6 \cdot 10^{17}$ $0,4 \cdot 10^{17}$ Снижение на 89 %	$6,4 \cdot 10^{17}$ $4,7 \cdot 10^{17}$ Снижение на 26 %	Увеличение на 78 % Увеличение на 1075 %

А предварительное модифицирование поверхностей гранитного материала сырой нефтью с последующей обработкой смеси нефтяным битумом приводит к образованию  $0,19 \cdot 10^{17} \text{ г}^{-1}$  парамагнитных центров. Следовательно, уже на стадии приготовления смеси введение дисперсной арматуры, содер-

жащей собранную сырую нефть, приводит к снижению концентрации парамагнитных центров в смеси на 14 %. Незначительное снижение концентрации парамагнитных центров при использовании гранитных материалов можно объяснить тем, что гранит относится к кислым породам. На его поверхности, как и в составе нефтяного битума, преобладают анионоактивные центры. Это приводит к слабому взаимодействию нефтяного битума с поверхностью гранита, что обеспечивает более слабую адгезию нефтяного битума и незначительное количество в смеси парамагнитных центров. Кроме того, при обработке гранита битумом очень слабо протекают процессы избирательной фильтрации компонентов битума в поры и капилляры гранита. Процессы фракционирования компонентов битума также протекают слабо, и адсорбционно-сольватные оболочки битума на поверхности гранита не обедняются низкомолекулярными фракциями. Концентрация парамагнитных центров, свидетельствующая об образовании асфальтенов, незначительна, и введение сырой нефти в смесь снижает эту концентрацию также незначительно.

При использовании в составе смеси известняка процессы его взаимодействия с битумом протекают более интенсивно. Известняк относится к карбонатным породам. На его поверхности преобладают катионоактивные центры, которые вступают во взаимодействие с имеющимися в составе нефтяного битума анионоактивными центрами, что обеспечивает повышенную адгезию нефтяного битума к поверхности известняковых пород. Кроме того, при использовании тонкопористых известняков активно идут процессы избирательной фильтрации компонентов битума в поры и капилляры минерального материала. Происходит фракционирование нефтяного битума. Вглубь материала проникают масла, ближе к поверхности располагаются смолы [22]. На поверхности зерен материала повышается содержание асфальтенов, являющихся 100%-м концентратом парамагнитных центров, что и наблюдается в смеси № 3, где их концентрация достигает  $3,6 \cdot 10^{17} \text{ г}^{-1}$ , что в 16,3 раза превышает концентрацию парамагнитных центров в смеси битума и гранита.

Предварительная обработка известняка сырой нефтью перед введением в смесь нефтяного битума приводит к образованию только  $0,4 \cdot 10^{17} \text{ г}^{-1}$  парамагнитных центров, что дает девятикратное снижение концентрации парамагнитных центров по сравнению со смесью известняка с битумом. Это является следствием взаимодействия поверхностно-активных веществ, содержащихся в сырой нефти, с поверхностью известняка. Катионоактивные центры на поверхности известняка нейтрализуются. Активно идут процессы фракционирования и избирательной фильтрации компонентов сырой смолы в поры и капилляры известняка. В результате поверхность известняка оказывается модифицированной, и последующая обработка ее нефтяным битумом исключает избирательную фильтрацию компонентов битума в поры и капилляры. Адсорбционно-сольватные оболочки битума не обедняются низкомолекулярными фракциями, концентрация асфальтенов снижается, о чем и свидетельствует девятикратное снижение концентрации парамагнитных центров с  $3,6 \cdot 10^{17} \text{ г}^{-1}$  до  $0,4 \cdot 10^{17} \text{ г}^{-1}$ .

Концентрация парамагнитных центров существенно меняется после старения смесей. Гранит, обработанный битумом, содержит  $0,7 \cdot 10^{17} \text{ г}^{-1}$  пара-

магнитных центров. Тот же гранит, используемый для приготовления смеси по двухстадийной технологии с применением на первой стадии сырой нефти, а на второй – нефтяного битума, содержит только  $0,26 \cdot 10^{17} \text{ г}^{-1}$  парамагнитных центров, что составляет 37 %. Это свидетельствует о том, что асфальтенов в смеси образовалось на 63 % меньше и что интенсивность старения смеси гранита с органическим вяжущим при использовании дисперсной арматуры, содержащей сырую нефть, существенно ниже.

Еще более ярко выражено влияние введения дисперсной арматуры, содержащей сырую нефть, на интенсивность старения смесей известняка с органическими вяжущими. Этот факт имеет очень большое значение, поскольку для приготовления минерального порошка используют преимущественно известняковые минеральные материалы. Суммарная поверхность частиц минерального порошка в составе минеральной части асфальтобетонной смеси достигает 90 %. Следовательно, битум обволакивает в основном именно частицы минерального порошка, и характеристики пленок битума зависят от его взаимодействия с этим материалом.

Смесь известняка и битума, не подвергнутая старению, имеет концентрацию парамагнитных центров, достигающую  $3,6 \cdot 10^{17} \text{ г}^{-1}$ . После того как эта смесь была подвергнута старению, концентрация парамагнитных центров увеличилась до  $6,4 \cdot 10^{17} \text{ г}^{-1}$  (на 78 %). Очень существенно процессы старения повлияли на концентрацию парамагнитных центров в известняке, обработанном сначала сырой нефтью, а затем битумом. Концентрация увеличилась с  $0,4 \cdot 10^{17} \text{ г}^{-1}$  до  $4,7 \cdot 10^{17} \text{ г}^{-1}$  (на 1075 %). Причиной этого увеличения, по мнению авторов, является то, что изначально концентрация парамагнитных центров была очень незначительной ( $0,4 \cdot 10^{17} \text{ г}^{-1}$ ) и адсорбционно-сольватные оболочки содержали большое количество низкомолекулярных фракций. А поскольку процессы старения сопровождаются переходом масел в смолы, а смол в асфальтены [2–5], для образования асфальтенов в смеси № 4 имелось достаточное количество низкомолекулярных фракций (масел и смол), дефицит которых наблюдается в смеси известняка с битумом. Поэтому в смеси № 4 происходило интенсивное преобразование низкомолекулярных фракций в высокомолекулярные. В смеси № 3 вследствие дефицита низкомолекулярных фракций образовалось меньшее количество асфальтенов, о чем и свидетельствует более низкая интенсивность формирования парамагнитных центров. Однако следует отметить, что конечная концентрация парамагнитных центров в смеси № 3 составляет  $6,4 \cdot 10^{17} \text{ г}^{-1}$ , а в смеси № 4 – только  $4,7 \cdot 10^{17} \text{ г}^{-1}$ . Следовательно, модифицирование сырой нефтью поверхности известняка перед введением битума привело к снижению на 26 % концентрации парамагнитных центров в смеси.

В исследованиях не были учтены парамагнетизм исходных нефтяных битумов и характер пиков поглощения свободных радикалов исследуемых битумоизвестняковых смесей. Учет характера пика поглощения свободных радикалов и их отнесение к линии Дайсона либо к гауссо-лоренцевым кривым, оценка несимметричности пика ЭПР-спектра могли бы показать еще более значимые результаты снижения интенсивности образования парамагнитных

центров, свидетельствующие о снижении концентрации асфальтенов в адсорбционно-сольватных оболочках битума [23].

Таким образом, результаты исследований, выполненных с применением методов электронного парамагнитного резонанса, подтвердили, что при дисперсном армировании битумо-минеральных композиций отрезками волокон, полученных из отработанных волокнистых сорбентов, предназначенных для сбора и локализации разливов углеводородного сырья, содержащих регулируемое количество поглощенных нефтепродуктов, уменьшается концентрация парамагнитных центров. Это подтверждает факт снижения концентрации асфальтенов, что, в свою очередь, свидетельствует о снижении интенсивности старения нефтяной дисперсной системы.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Гезенцевей Л.Б., Горельшиев Н.В., Богуславский А.М., Королев И.В.* Дорожный асфальтобетон / под ред. Л.Б. Гезенцева. 2-е изд., перераб. и доп. Москва : Транспорт, 1985. 350 с.
2. *Бабаев В.И.* Старение асфальтобетона в условиях юга России // *Автомобильные дороги*. 1994. № 3. С. 21.
3. *Бахрах Г.С.* Оценка термоокислительной стабильности асфальтовых материалов с учетом роли контактных взаимодействий // *Труды Союздорнии*. 1975. Вып. 79. С. 132–140.
4. *Давыдова А.Р., Гладырь С.А., Телкова Т.Н.* Исследование изменений, протекающих в битумах при их глубоком окислении // *Труды Союздорнии*. 1977. Вып. 100. С. 4–12.
5. *Давыдова А.Р.* Исследование процесса старения битума под влиянием различных факторов // *Труды Союздорнии*. 1971. Вып. 44. С. 48–54.
6. *Грушко И.М., Королев И.В., Борц И.М., Мищенко Г.М.* Дорожно-строительные материалы. Москва : Транспорт, 1983. 383 с.
7. *Мелентьев В.А.* Состав и свойства золы и шлака ТЭЦ : справочное пособие. Москва : Энергоиздат, 1985. 285 с.
8. *Методические рекомендации по технологии применения в асфальтобетоне отвальных золошлаковых смесей теплостанций.* Москва : СоюздорНИИ, 1978. 23 с.
9. *Чистяков Б.З., Лялинов А.Н.* Использование минеральных отходов промышленности. Ленинград : Стройиздат, Ленинградское отделение, 1984. 150 с.
10. *Пиеничных О.А., Скорик Д.С.* Опыт применения дисперсно-армированных асфальтобетонов в дорожном строительстве // *Вестник Донбасской национальной академии строительства и архитектуры*. 2020. Вып. 141. С. 121–127.
11. *Алиахван А., Калгин Ю.И.* Улучшение структурно-механических свойств теплого асфальтобетона методом полимерно-дисперсного армирования // *Проектирование и строительство дорог, метрополитенов, аэродромов, мостов и транспортных тоннелей*. 2021. Вып. 61. С. 53–61.
12. *Пиеничных О.А.* Деформационно-прочностные характеристики дисперсно-армированных асфальтобетонов // *Вестник Донбасской национальной академии строительства и архитектуры*. 2020. Вып. 143. С. 41–44.
13. *Мерзликин А.Е., Гамеляк И.П.* Испытания конструкций дорожных одежд для оценки эффективности применения дисперсно-армированного асфальтобетона // *Конструирование, расчет и испытание дорожных одежд: труды Союздорнии*, 1990. С. 17–25.
14. *Smith R.D.* Laboratory testing of fabric interlayer for asphalt concrete paving: interim report // *Transp. Res. Rec.* 1983. № 916. P. 6–18.
15. *Tessoneau H.* Revêtement Tris mince Mediflex en couche de Voulement sur Absur troisième Voie Macon nord // *Revue generale des Routes et des Aerodromes*. 1988. V.62. № 650. P. 77–78.
16. *Pinaud Y, Hintzi J, Poirier J, Chanseaulme M.* Le Rugoflex. Une experience de dix ans // *Revue generale des Routes et des Aerodromes*. 1988. № 649. P. 61–64.

17. Лукашевич В.Н. Увеличение срока службы асфальтобетонных покрытий за счет двухстадийного введения органических вяжущих в процессе производства асфальтобетонных смесей // Строительные материалы. 2003. № 1. С. 24–25.
18. Унгер Ф.Г., Андреева Л.Н. Квантово-химические предпосылки возникновения и существования смолисто-асфальтовых веществ в нефтедобных объектах // Проблемы и достижения в исследовании нефти. Томск : ИХН СО РАН, 1990. С. 100–117.
19. Верти Дж., Болтон Дж. Теория и практические применения метода ЭПР : пер. с англ. Москва : Мир, 368 с.
20. Железко Е.П., Печеный Б.Г. О кинетике образования и рекомбинации свободных радикалов в битумах // Труды Союздорнии. 1970. Вып. 46. С. 137–142.
21. Унгер Ф.Г., Андреева Л.Н. Фундаментальные аспекты химии нефти. Природа смол и асфальтенов / Институт химии нефти Сибирского отделения РАН. Новосибирск : Наука. Сибирская издательская фирма РАН, 1995. 192 с.
22. Гезенцевей Л.Б. Применение активированного минерального порошка в дорожном строительстве // Труды Союздорнии. 1978. Вып. 107. С. 73–78.
23. Унгер Ф.Г., Андреева Л.Н. Парамагнетизм нефтяных дисперсных систем и природа асфальтенов. Томск, 1986. 29 с. (Препр. / АН СССР, Сиб. отд.-ние. Ин-т химии нефти; № 38).

## REFERENCES

1. Gezentzvey L.B. (Ed.), Gorelyshev N.V., Boguslavsky A.M., Korolev I.V. Dorozhnyj asfal'tobeton [Asphalt concrete]. 2nd ed., Moscow: Transport, 1985. 350 p. (rus)
2. Babaev V.I. Starenie asfal'tobetona v usloviyah yuga Rossii [Asphalt concrete aging in the South of Russia]. *Avtomobil'nye dorogi*. 1994. No. 3. P. 21. (rus)
3. Bahrach G.S. Ocenka termookislitel'noj stabil'nosti asfal'tovykh materialov s uchetom roli kontaktnykh vzaimodejstvij [Assessment of thermal-oxidative stability of asphalt materials during contact interactions]. *Trudy Soyuzdornii*. 1975. V. 79. Pp. 132–140. (rus)
4. Davydova A.R., Gladyr S.A., Telkova T.N. Issledovanie izmenenij, protekayushchih v bitumakh pri ih glubokom okislenii [Changes in bitumen during deep oxidation]. *Trudy Soyuzdornii*. 1977. No. 100. Pp. 4–12. (rus)
5. Davydova A.R. Issledovanie processa stareniya bituma pod vliyaniem razlichnykh faktorov [Bitumen aging under various conditions]. *Trudy Soyuzdornii*. 1971. No. 44. Pp. 48–54. (rus)
6. Grushko I.M., Korolev I.V., Borsch I.M., Mishchenko G.M. Dorozhno-stroitel'nye materialy [Road-building materials]. Moscow: Transport, 1983. 383 p. (rus)
7. Melent'ev V.A. Sostav i svoystva zoly i shlaka TEC [Composition and properties of ash and slag]. Moscow: Energoizdat, 1985. 285 p. (rus)
8. Metodicheskie rekomendacii po tekhnologii primeneniya v asfal'tobetone otval'nykh zoloshlakovykh smesey teploelektrostantsij [Methodological recommendations on application of waste ash and slag from thermal power plants for asphalt concrete]. Moscow: Soyuzdornii, 1978. 23 p. (rus)
9. Chistyakov B.Z., Lyalinov A.N. Ispol'zovanie mineral'nykh othodov promyshlennosti [Industrial mineral waste]. Leningrad: Stroyizdat, 1984. 150 p. (rus)
10. Pshenichnykh O.A., Skorik D.S. Opyt primeneniya dispersno-armirovannykh asfal'tobetonov v dorozhnom stroitel'stve [Experience in the use of dispersed reinforced asphalt concrete in road construction]. *Vestnik Donbasskoi natsional'noi akademii stroitel'stva i arkhitektury*. 2020. No. 141. Pp. 121–127. (rus)
11. Alshakhvan A., Kalyagin Yu.I. Uluchshenie strukturno-mekhanicheskikh svoystv teplogo asfal'tobetona metodom polimernodispersnogo armirovaniya [Improvement of structural and mechanical properties of warm asphalt concrete by polymer dispersed reinforcement]. *Proektirovanie i stroitel'stvo dorog, metropolitenov, aerodromov, mostov i transportnykh tonnelei*. 2021. No. 61. Pp. 53–61. (rus)
12. Pshenichnykh O.A. Deformacionno-prochnostnye karakteristiki dispersno-armirovannykh asfal'tobetonov [Deformation and strength properties of dispersely reinforced asphalt concrete]. *Vestnik Donbasskoi natsional'noi akademii stroitel'stva i arkhitektury*. 2020. No. 143. Pp. 41–44. (rus)

13. *Merzlikin A.E., Gamelyak I.P.* Ispytaniya konstrukcij dorozhnyh odezhd dlya ocenki effektivnosti primeneniya dispersno armirovannogo asfal'tobetona [Effectiveness of pavement structures of dispersely reinforced asphalt concrete]. *Trudy Soyuzdornii*. 1990. (rus)
14. *Smith R.D.* Laboratory testing of fabric interlayer for asphalt concrete paving: Interim report. *Journal of the Transportation Research Board*. 1983. No. 916. Pp. 6–18.
15. *Tessoneau H.* Revêtement Tris mince Mediflex en couche de Voulement sur Absur troisieme Voie Macon nord. *Revue generale des Routes et des Aerodromes*. 1988. V. 62. No. 650. Pp. 77–78.
16. *Pinaud Y., Hintzi J., Poirier J., Chanseaulme M.* Le Rugoflex. Une experience de dix ans. *Revue generale des Routes et des Aerodromes*. 1988. No. 649. Pp. 61–64.
17. *Lukashevich V.N.* Uvelicheniya sroka sluzhby asfal'tobetonnyh pokrytij za schet dvuhstadijnogo vvedeniya organicheskikh vyazhushchih v processe proizvodstva asfal'tobetonnyh smesej [Service life increase of asphalt pavements by two-stage introduction of organic binders in asphalt concrete production]. *Stroitel'nye materialy*. 2003. No. 1. Pp. 24–25. (rus)
18. *Unger F.G., Andreeva L.N.* Kvantovo-himicheskie predposylki vznikeniya i sushchestvovaniya smolisto-asfal'tenovykh veshchestv v neftepodobnykh ob'ektah [Quantum-chemical prerequisites for emergence and existence of bitumen in oil-like objects]. In: *Problemy i dostizheniya v issledovanii nefti* [Problems and achievements in oil research]. Tomsk, 1990. Pp. 100–117. (rus)
19. *Wertz J., Bolton J.* Teoriya i prakticheskie primeneniya metoda EPR [Elementary theory and practical applications]. Moscow: Mir. 368 p. (transl. from Engl.)
20. *Zhelezko E.P., Pechenyi B.G.* O kinetike obrazovaniya i rekombinacii svobodnykh radikalov v bitumakh [Kinetics of formation and recombination of free radicals in bitumen]. *Trudy Soyuzdornii*. 1970. V. 46. Pp. 137–142. (rus)
21. *Unger F.G., Andreeva L.N.* Fundamental'nye aspekty himii nefti. Priroda smol i asfal'tenov [Fundamental aspects of oil chemistry. The nature of resins and asphaltenes]. Novosibirsk: Nauka, 1995. 192 p. (rus)
22. *Gesenzwey L.B.* Primenenie aktivirovannogo mineral'nogo poroshka v dorozhnom stroitel'stve [Application of activated mineral powder in road construction]. *Trudy Soyuzdornii*. 1978. No. 107. Pp. 73–78. (rus)
23. *Unger F.G., Andreeva L.N.* Paramagnetizm neftyanykh dispersnykh sistem i priroda asfal'tenov [Paramagnetism of oil dispersions and the nature of asphaltenes]. Tomsk, 1986. 29 p. (rus)

#### Сведения об авторах

*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)

*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)

*Мокшин Роман Ильич*, аспирант, Томский государственный архитектурно-строительный университет, 634003, г. Томск, пл. Соляная, 2, [mokshinroman@mail.ru](mailto:mokshinroman@mail.ru)

#### Authors Details

*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)

*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)

*Roman I. Mokshin*, Research Assistant, Tomsk State University of Architecture and Building, 2, Solyanaya Sq., 634003, Tomsk, Russia, [mokshinroman@mail.ru](mailto:mokshinroman@mail.ru)

УДК 625.15

DOI: 10.31675/1607-1859-2021-23-6-190-200

*В.С. ЧУРИЛИН, Г.В. ПУШКАРЁВА,**Томский государственный архитектурно-строительный университет*

## **О НЕОБХОДИМОСТИ УЧЁТА ГЕНЕТИКИ ГРУНТОВ ПРИ ИХ КОМПЛЕКСНОМ УКРЕПЛЕНИИ**

Решение актуального вопроса обеспечения межремонтных сроков автомобильных дорог на территории России возможно за счёт технологии укрепления грунтов земляного полотна цементом. Грунты представляют собой оригинальную многокомпонентную систему, оказывающую влияние на деформационные и прочностные характеристики композиции (цемент и грунт). Композиция цементогрунта имеет ряд недостатков, особенно для районов с сезонным промерзанием, влияющих на её долговечность.

С целью повышения эффективности работы композиции при укреплении грунтов земляного полотна цементом применяют полимерно-минеральную добавку Nicoflok. Однако влияние регионально-генетического типа грунта на прочностные характеристики композиции цементогрунт + Nicoflok в настоящее время не изучено.

В статье выполнен факторный анализ влияния генетики грунтов на прочностные характеристики композиции. Исследование многокомпонентной системы включало в себя построение поверхности отклика факторов генетики грунтов на прочностные показатели композиции. Для перехода от качественного влияния генетики грунтов на композицию (цементогрунт + Nicoflok) к количественной оценке требуются дополнительные исследования. Эти исследования необходимо проводить по единой схеме, которая учитывает специфику сезонного промерзания грунтов земляного полотна северных районов Европейской России и Западной Сибири.

**Ключевые слова:** генетическая классификация грунтов; глинистый грунт; укрепление; модуль упругости; гранулометрический состав.

**Для цитирования:** Чурилин В.С., Пушкарёва Г.В. О необходимости учёта генетики грунтов при их комплексном укреплении // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2021. Т. 23. № 6. С. 190–200. DOI: 10.31675/1607-1859-2021-23-6-190-200

*V.S. CHURILIN, G.V. PUSHKAREVA,**Tomsk State University of Architecture and Building*

## **SOIL GENETICS IN ITS COMPLEX STABILIZATION**

The problem of the inter-repair time of automobile roads in Russia can be solved by the reinforcing the subgrade soils with cement. Soil is a multicomponent system affecting the deformation and strength properties of the composition (cement and soil). The cement-soil composition has drawbacks, especially in seasonal freezing regions, which affects its durability.

In order to increase the composition efficiency, the Nicoflok polymer-mineral additive is used to strengthen subgrade with cement. However, the influence of the type regional and genetic soil on strength properties of the cement-soil + Nicoflok composition is yet studied.

The paper presents the factor analysis of the influence of soil genetics on the composition strength properties. The study of the multicomponent system includes the response surface of the soil genetics on the strength properties of the composition. Additional studies are required to move from the qualitative evaluation of the soil genetics on the composition (cement-soil + Nicoflok) to the quantitative evaluation. These studies must be carried out according to a single scheme, which regards the seasonal freezing of subgrade soils in the northern regions of European Russia and West Siberia.

**Keywords:** genetic soil classification; clayey soil; stabilization; elastic modulus; grain size distribution.

**For citation:** Churilin V.S., Pushkareva G.V. O neobkhodimosti ucheta genetiki gruntov pri ikh kompleksnom ukreplenii [Soil genetics in its complex stabilization]. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture. 2021. V. 23. No. 6. Pp. 190–200. DOI: 10.31675/1607-1859-2021-23-6-190-200

Перед дорожной отраслью Правительством Российской Федерации поставлены задачи по развитию инфраструктуры дорожного хозяйства, обеспечивающие транспортную связь между центрами экономического роста, в рамках федерального проекта «Региональная и местная дорожная сеть». При этом актуальными остаются вопросы повышения эффективности технологических решений при строительстве, капитальном ремонте и реконструкции автомобильных дорог и достижения межремонтных сроков, установленных в ГОСТ Р 58861–2020<sup>1</sup>. Одним из решений вопросов может стать применение в основании дорожной одежды местных укрепленных грунтов. Согласно ГОСТ 23558–94<sup>2</sup>, укрепленный грунт – искусственный материал, получаемый преимущественно смешением непосредственно на дороге (с использованием фрез) грунта с цементом или другим неорганическим вяжущим и водой и отвечающий нормируемым показателям качества по прочности и морозостойкости в проектные и промежуточные сроки.

Практика укрепления грунтов для повышения их физико-механических свойств зафиксирована при строительстве пирамид Шэнси между Тибетским нагорьем и Монгольским плато более 5000 лет назад. А известь применялась для укрепления римских дорог более 2000 лет назад [1]. Первые работы по использованию цемента для укрепления грунта были проведены при строительстве улицы в Сарасоте, штат Флорида, в 1915 г. Советским академиком П.А. Ребиндером внесён значительный вклад в изучение укрепления грунтов добавками с поверхностно-активными низко- и высокомолекулярными веществами [2]. Однако недавние исследования [3] преждевременных разрушений дорожной одежды на грунтах, укрепленных цементом и известью, содержащих сульфаты, поставили под сомнение эффективность укрепления грунтов материалами на основе кальция. Эти разрушения связаны с образованием этtringита при реакции смешивания кальция с сульфатами в грунте, который разрывает композицию изнутри (сульфатная коррозия). Пример сульфатной коррозии в бетонной призме представлен на рис. 1.

Образование этtringита играет важную роль при снижении долговечности композиции цементогрунта. Кроме того, на долговечность композиции оказывают влияние такие процессы, как преобразование портландита в гипс, обратимые реакции гидратации и дегидратации сульфатов и солей [5]. Кроме

<sup>1</sup> ГОСТ Р 58861–2020. Дороги автомобильные общего пользования. Капитальный ремонт и ремонт. Планирование межремонтных сроков. Москва: Стандартинформ, 2020. 16 с.

<sup>2</sup> ГОСТ 23558–94. Смеси щебеночно-гравийно-песчаные и грунты, обработанные неорганическими вяжущими материалами, для дорожного и аэродромного строительства. Москва: Стандартинформ, 2005. 10 с.

сульфатной коррозии, композиция цементогрунт в районах сезоннопромерзающих грунтов подвергается морозному пучению. Цемент с грунтом образуют прочную композицию, которая имеет меньшую пластичность по сравнению с грунтом до укрепления. Последствия потери пластичности приводят к хрупкости материала [6]. На рис. 2 представлено разрушение цементогрунта при содержании цемента 0, 3, 5 и 7 % от массы грунта [14].

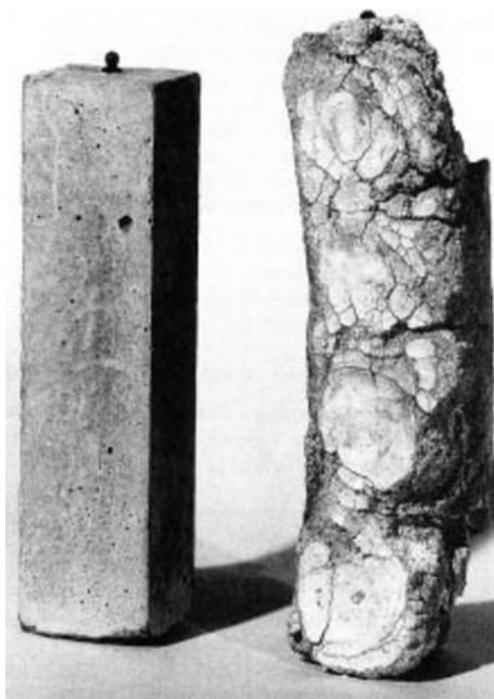


Рис. 1. Сульфатная коррозия, вызывающая обширное образование этtringита в бетонной призме (фото из CEB Design Guide, Durable Concrete Structures, London, Thomas Telford, 1989 [4])



Рис. 2. Разрушение образцов после эксперимента на одноосное сжатие (фото из Journal Cold Regions Science and Technology, Freeze-thaw performance of a cement-treated expansive soil, 2020 [7])

По характеру разрушения образцов из рис. 2 видно повышение хрупкости цементогрунта при увеличении содержания цемента. Увеличение хрупкости цементогрунта в случае воздействия на него морозного пучения может

приводить к снижению общей прочности дорожной конструкции в первый год эксплуатации автомобильной дороги.

Оптимальное твердение цемента и повышение долговечности композиции цементогрунт при воздействии морозного пучения возможно путём добавления в него полимерно-минеральной композиции Nisoflok [8]. Однако для эффективного укрепления связанных грунтов необходимо знание процессов гидрофобизации, физическая суть которой заключается в том, что смачиваемость или несмачиваемость грунта находится в зависимости от кристаллической структуры его минералов, характера их межпакетных и межмолекулярных связей, а также основ регионально-генетического типа грунта.

Изучением формирования грунтов<sup>3</sup> на отдельных территориях занимался профессор В.В. Докучаев [9], впервые в 1886 г., изложив теорию образования чернозёмов, описал их морфологические признаки и свойства. В.В. Докучаев рассматривал грунты как тела, находящиеся в постоянном развитии, и сформировал закон географического распределения грунтов на земной поверхности (зональное распределение грунтов).

В работе профессора Н.М. Сибирцева в 1900 г. [10] представлена естественно-историческая классификация грунтов:

- геолого-петрографическая;
- химико-петрографическая;
- физическая;
- смешанная;
- генетическая.

Последнюю классификацию профессор Н.М. Сибирцев выделяет как особую группу классификации грунтов. В её основе – функции или произведения определенных естественных почвообразователей. Генетическая классификация даёт представление о грунте как об оригинальном геофизическом образовании, подчиняемом в своём развитии определенным естественным законам [10]. Следовательно, грунты, слагающие поверхностные отложения, зависят от сочетания факторов [9, 10] и определяются местными условиями, которые характерны для определенных территорий. Карта почвообразующих пород из Национального атласа почв РФ [11] свидетельствует о том, что на территории Томской области преобладают глинистые и тяжелосуглинистые, редко супесчаные породы (грунты).

В дорожном строительстве используют в основном поверхностные слои грунтов, затронутые разной степенью процесса почвообразования [12]. Для территории Томской области и Западной Сибири С.В. Ефименко получены результаты гранулометрического состава грунтов земляного полотна автомобильных дорог [13]. На рис. 3 сопоставлено содержание пылеватых и глинистых частиц грунтов территорий Западной Сибири и Европейской России.

Из рис. 3 следует, что процессы, которые формировали гранулометрический состав грунтов на территории Западной Сибири, протекали в одном

---

<sup>3</sup> В работах В.В. Докучаева и Н.М. Сибирцева применяется термин «почва», который близок по определению к термину «грунт». Для инженеров в дорожном строительстве более понятен термин «грунт».

направлении и образовали близкий по гранулометрическому составу грунт поверхностных отложений. Таким образом, можно считать, что пылевато-глинистый грунт, отбор которого был осуществлён в пос. Лоскутово Томской области, является характерным для территории Западной Сибири. В свою очередь, грунты юга европейской части России имеют значительные отличия от грунтов Западной Сибири.

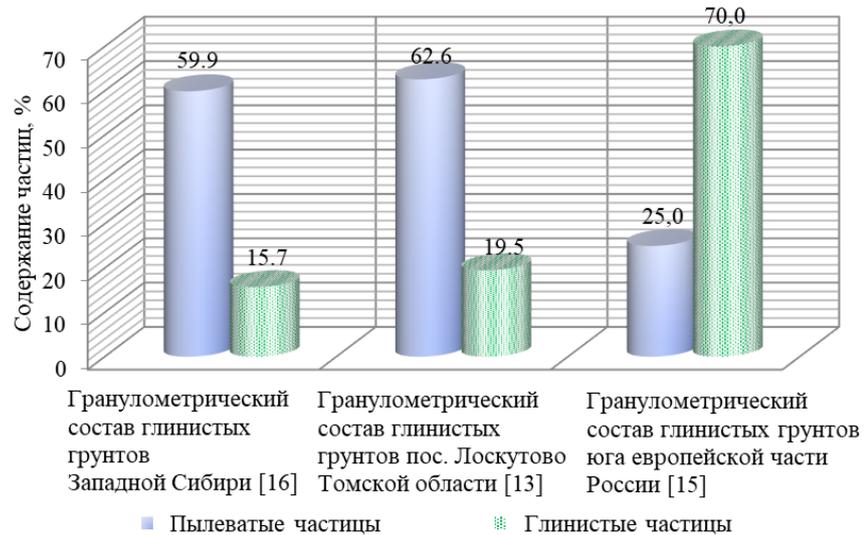


Рис. 3. Содержание пылеватых и глинистых фракций в образцах глинистых грунтов, характерных для территории Западно-Сибирского региона и юга европейской части России

Рентгенограмма грунта из пос. Лоскутово Томской области, полученная профессором В.Н. Ефименко [16], показывает кристаллические составляющие поликомпонентной системы, которые включают содержание кварца (60,7 %), плагиоклаза (15,4 %), монтмориллонита (14,5 %), а также кальцита, хлорита и микроклина, суммарная интенсивность дифракционных отражений которых приблизительно равна 3 %.

Профессор В.В. Охотин в работе [17] оценил влияние отдельных факторов на физико-механические свойства грунта. Например, с увеличением количества в грунте глинистых частиц повышалась максимальная молекулярная влагоёмкость грунта, что, в свою очередь, сказывается на его дренирующих свойствах. Минералогический состав обуславливает форму частиц и связан с удельной поверхностью, которая влияет на приток влаги при промерзании грунтов земляного полотна. Отдельное внимание нужно уделить особенностям состава обменных катионов грунтов земляного полотна автомобильных дорог. Минералы группы каолинита практически не содержат обменных катионов. В иллите основным обменным катионом является калий. Минералы группы монтмориллонита в качестве обменных катионов содержат в основном ионы  $\text{Na}^+$  и  $\text{Ca}^{2+}$ , которые могут частично замещаться  $\text{K}^+$ ,  $\text{Cs}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  и другими межслоевыми катионами. Весьма сильно способствуют набуханию грунтов хорошо

гидратируемые одновалентные катионы  $Na^+$ ,  $K^+$ . В свою очередь, катионы  $Ca^{2+}$  увеличивают пучинистые свойства грунта примерно в 4,5 раза по сравнению с одновалентным катионом  $Na^+$ . Таким образом, с увеличением валентности обменных катионов степень набухания понижается, а морозное пучение грунтов возрастает [18, 19].

Для анализа влияния генетики грунтов на их свойства при укреплении цементом и полимерно-минеральной композицией Nicroflok сформирована база данных лабораторных исследований [20–23]. Единичные параметры, отражённые только в одном исследовании, исключались из общей базы. На рис. 4 представлена база данных для анализа в программе Statistica.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
	Район исследования	Разновидность глинистого грунта	Максимальная плотность, г/см <sup>3</sup>	% содержание частиц 1 - 0,1 мм	% содержание частиц менее 0,1 мм	Граница текучести, %	Граница раскатывания, %	Содержание цемента, %	Содержание Nicroflok, %	Прочность на сжатие, МПа	Прочность на изгиб, МПа
1	Белоруссия	Сугесь		52,9	44,9	17,7	15,3	10	1	4,97	1,71
2	Нижегородская область	Суглюнок	1,85	46,2	16,7	32	24,8	9	0,9	7,3	2,2
3	Алтайский край	Сугесь	2,53	19,46	72,99	19,08	14,75	6	0,6	4,91	1,49
4	Алтайский край	Сугесь	2,53	19,46	72,99	19,08	14,75	8	0,8	5,8	1,64
5	Алтайский край	Сугесь	2,53	19,46	72,99	19,08	14,75	10	1	6,77	1,91
6	Томская область	Глина	1,87	64,33	33,67	46,44	29,1	6	0,6	1,71	1,33
7	Томская область	Глина	1,87	64,33	33,67	46,44	29,1	8	0,8	1,81	1,38
8	Томская область	Глина	1,87	64,33	33,67	46,44	29,1	10	1	1,08	2,65

Рис. 4. Вид базы данных лабораторных испытаний в программе Statistica

Разновидность грунтов классифицировалась по ГОСТ 25100–2020<sup>4</sup>. Содержание глинистых и пылеватых частиц объединены в класс с процентным содержанием частиц менее 0,1 мм из-за разной классификации граничных частиц в анализируемых работах [20–23]. Параметры прочности на сжатие и прочности на изгиб приняты после 28 сут со дня изготовления образцов композиции. В базе данных лабораторных испытаний представлены средние значения прочности композиции (грунт, цемент, Nicroflok) из работ, принятых для анализа. На рис. 4 представлено содержание Nicroflok в процентном соотношении от цемента. На первом этапе выполнен факторный анализ переменных для определения структуры взаимосвязи между ними. В таблице представлена корреляционная матрица между переменными.

**Корреляционная матрица между исследуемыми переменными**

Переменная	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Максимальная плотность, г/см <sup>3</sup>	1,00	-0,95	0,97	-0,93	-0,97	-0,08	-0,08	0,57	-0,28
Процентное содержание частиц 1–0,1 мм	-0,95	1,00	-0,86	1,00	1,00	0,02	0,02	-0,78	0,18
Процентное содержание частиц менее 0,1 мм	0,97	-0,86	1,00	-0,81	-0,89	-0,13	-0,13	0,37	-0,34

<sup>4</sup> ГОСТ 25100–2020. Грунты. Классификация. Москва: Стандартинформ, 2020. 38 с.

Окончание таблицы

Переменная	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Граница текучести, %	-0,93	1,00	-0,81	1,00	0,99	-0,00	-0,00	-0,83	0,15
Граница раскатывания, %	-0,97	1,00	-0,89	0,99	1,00	0,03	0,03	-0,73	0,21
Содержание цемента, %	-0,08	0,02	-0,13	-0,00	0,03	1,00	1,00	0,21	0,76
Содержание Nisoflok, %	-0,08	0,02	-0,13	-0,00	0,03	1,00	1,00	0,21	0,76
Прочность на сжатие, МПа	0,57	-0,78	0,37	-0,83	-0,73	0,21	0,21	1,00	0,03
Прочность на изгиб, МПа	-0,28	0,18	-0,34	0,15	0,21	0,76	0,76	0,03	1,00

Примечание. Номера столбцов соответствуют нумерации и наименованию на рис. 4.

Из корреляционной матрицы (таблица) видно влияние переменных на прочностные характеристики композиции цементогрунта и полимерно-минеральной композиции Nisoflok, которое относится к генетике грунтов (гранулометрический состав, граница текучести и граница раскатывания). Для визуальной оценки влияния переменных, принадлежащих к генетике грунтов, на прочностные характеристики построены поверхности отклика (рис. 5).

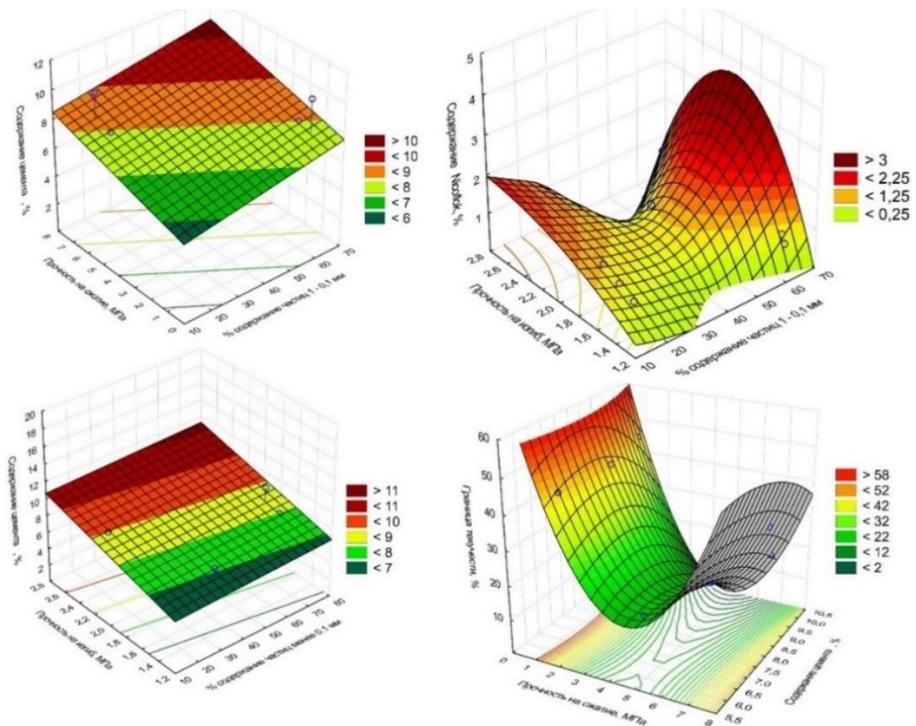


Рис. 5. Поверхности откликов при различных сочетаниях переменных

Для двух композиций с одной и той же прочностью на сжатие при границе текучести грунта 35 и 40 % необходимое содержание цемента 4 и 12 % соответственно (рис. 5). Увеличение количества цемента в композиции в 3 раза окажет значительное влияние на эффективность повышения прочности дорожной одежды. Высокая граница текучести (40–50 %) грунта возможна за счёт повышенного содержания минерала монтмориллонита, который для территории Западной Сибири содержится в значительном количестве  $\approx 15$  %. При увеличении границы текучести грунта снижается его прочность на сжатие, поэтому, чтобы компенсировать это снижение, необходимо увеличить содержание цемента (рис. 5).

### Заключение

При анализе работ получено качественное влияние факторов генетики грунтов на прочностные показатели композиции (грунт, цемент, Nicoflok).

С целью получения количественной оценки влияния генетики грунтов на составление эффективной композиции требуется создание единой схемы проведения лабораторных исследований. Создание общедоступной базы данных с едиными показателями позволило бы упростить процесс анализа выполняемых работ в данной тематике.

Следует отметить такой важный показатель, как долговечность представленной композиции. Для этого в районах с сезонным промерзанием грунтов следует определять прочность на сжатие при различных циклах замораживания-оттаивания.

Проведенные исследования не выявили влияния Nicoflok на пластичность композиции.

В работах отсутствует варьирование процентного содержания Nicoflok при содержании цемента, равном константе.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. McDowell C. Stabilization of soils with lime, lime-flyash, and other lime reactive materials // Highway Res Board Bull. 1959. 231: P. 60–66.
2. *Физико-химическая механика почв, грунтов, глин и строительных материалов* / под ред. П.А. Ребиндера, К.С. Ахмедова. Ташкент : ФАН, 1966. 476 с.
3. Saussaye L., Boutouil M., Baraud F., Leleyter L. Influence of sulfate and chloride ions on the geotechnical and microstructural properties of soils treated with hydraulic binders: individual and coupling effects. *EngGeol.* 2015. 189. P. 98–103.
4. *Comite Euro-International du Beton (CEB), Durable Concrete Structures – Design Guide*, Thomas Telford Services Ltd., London, England, 1989.
5. Bensted J., Rbrough A., Page M.M. Durability of Concrete and Cement Composites // *Civil and Structural Engineering*. 2007. URL: <https://doi.org/10.1533/9781845693398.86>
6. Fabbri A., Morel J.C. Earthen materials and constructions // *Woodhead Publishing Series in Civil and Structural Engineering*. 2020. 14. URL: <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-102704-2.00014-7>
7. Lu Y., Liu S., Zhang Y. et al. Freeze-thaw performance of a cement-treated expansive soil // *Cold Regions Science and Technology*. 2020. URL: <https://doi.org/10.1016/j.coldregions.2019.102926>
8. Максимов А.Т., Собко Г.И. Применение полимерной добавки Nicoflok для укрепления и стабилизации грунтов. Москва : ВТУ Спецстроя России, 2006. 89 с.
9. Dokuchaev V.V. Russian Chernozem // *Selected Works*. 1883. V. 1. P. 14–419.

10. *Сибирцев Н.М.* Почвоведение: Лекции, читанные студентам Института сельского хозяйства и лесоводства в Ново-Александррии. Санкт Петербург, 1909. 534 с.
11. *Почвенная карта России* (скорректированная цифровая версия Почвенной карты РСФСР масштаба 1:2 500 000) / под ред. В.М. Фридланда, 2007.
12. *Афиногенов О.П., Ефименко С.В., Афиногенов А.О.* Совершенствование методов проектирования автомобильных дорог на основе дифференциации районирования // Вестник КГУСТА. 2016. № 1. С. 29–33.
13. *Ефименко С.В., Краевский А.А., Чурилин В.С.* Особенности генезиса, состава и свойств глинистых грунтов Западной Сибири // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2014. № 2. С. 177–181.
14. *Ефименко С.В., Чурилин В.С., Бадина М.В.* Особенности гранулометрического и минералогического состава грунтов Западно-Сибирского региона // Труды XX Международного симпозиума имени академика М.А. Усова студентов и молодых учёных. Томск : ТПУ, 2016. С. 142–143.
15. *Коробкин В.И.* Литология и условия образования плиоцен-четвертичных пылевато-глинистых отложений Юга европейской части России : автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора геолого-минералогических наук. Новочеркасск, 1993. 58 с.
16. *Ефименко В.Н.* Водно-тепловой режим земляного полотна автомобильных дорог при глубоком промерзании грунтов (На примере Юго-Востока Западной Сибири) : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Ефименко Владимир Николаевич. Москва, 1978. 216 с.
17. *Охотин В.В.* Влияние отдельных факторов на физико-механические свойства глинистых частиц // Труды юбилейной научной сессии ЛГУ, секция геолого-почвенных наук / ЛГУ. Ленинград, 1952. С. 146–162.
18. *Пучение промерзающих грунтов* и его влияние на фундаменты сооружений / под ред. В.О. Орлова. Ленинград : Стройиздат, 1977. 184 с.
19. *Ефименко С.В., Чурилин В.С., Бадина М.В.* Минералогические особенности грунтов и состава обменных катионов земляного полотна автомобильных дорог Западной Сибири // Труды XXI Международного симпозиума имени академика М.А. Усова студентов и молодых учёных. Томск : ТПУ, 2017. С. 100–101.
20. *Лабораторный контроль выпуска и укладки полимерцементогрунтовой смеси* при строительстве участка автомобильной дороги к деревне Гаврилово Шатковского района Нижегородской области : научно-технический отчет. Омск : ОАО «Омский Союз ДорНИИ», 2007. 48 с.
21. *Техническое заключение* по результатам испытаний полимерминеральной композиции Nicoflok и расчетов вариантов конструкций дорожных одежд с целью применения в дорожном строительстве Республики Беларусь. Минск : Государственное предприятие «БелдорНИИ», 2011. 34 с.
22. *Укрепление местных грунтов портландцементом* с применением добавки Nicoflok : научно-технический отчет. Барнаул : Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова, 2010. 131 с.
23. *Лабораторные испытания свойств полимерно-минеральной композиции «NICOFLOK»* и минеральных наполнителей. Ч. 1, 2 : научно-технический отчет. Томск : ООО Научно-производственный центр «Дорстройконтроль», 2013. 28 с.

## REFERENCES

1. *McDowell C.* Stabilization of soils with lime, lime-fly-ash, and other lime reactive materials. *Highway Research Board Bulletin*. 1959. V. 231. Pp. 60–66.
2. *Rebinder P.A., Achmedov K.S.* Fisiko-khimicheskaya mekhanika pochv, gryntov, glin i stroitel'nykh materialov [Physicochemical mechanics of soils, grounds, clays and building materials]. P.A. Rebinder and K.S. Ahmedov, eds., Tashkent: FAN, 1966. 476 p. (rus)
3. *Saussaye L, Boutouil M, Baraud F, Leleyter L.* Influence of sulfate and chloride ions on the geotechnical and microstructural properties of soils treated with hydraulic binders: Individual and coupling effects. *EngGeol*. 2015. V. 189. Pp. 98–103.

4. Comite Euro-International du Beton (CEB), Durable Concrete Structures-Design Guide, Thomas Telford Services Ltd., London, England, 1989.
5. Bensted J., Rbrough A., Page M.M. Durability of concrete and cement composites. *Civil and Structural Engineering*. 2007. DOI: 10.1533/9781845693398.86
6. Fabbri A., Morel J.C. Earthen materials and constructions. *Civil and Structural Engineering*. 2020. V. 14. DOI: 10.1016/B978-0-08-102704-2.00014-7
7. Lu Y., Liu S., Zhang Y., et al. Freeze-thaw performance of a cement-treated expansive soil. *Cold Regions Science and Technology*. 2020. DOI: 10.1016/j.coldregions.2019.102926
8. Maksimov A.T., Sobko G.I. Primenenie polimernoi dobavki Nicoflok dlya ukrepleniya i stabilizatsii gruntov [Application of Nikoflok polymer additive for soil strengthening and stabilization]. Moscow: Specstroj Rossii, 2006. 89 p. (rus)
9. Dokuchaev V.V. Russian chernozem. 1883. V. 1. Pp. 14–19.
10. Sibirtsev N.M. Pochvovedenie [Soil science]. Saint-Petersburg, 1909. 534 p. (rus)
11. Fridland V.M., (Ed.) Pochvennaya karta Rossii [Soil map of Russia]. 2007. (rus)
12. Afinogenov O.P., Efimenko S.V., Afinogenov A.O. Sovershenstvovanie metodov proektirovaniya avtomobil'nykh dorog na osnove differentsiatsii raionirovaniya [Improvement of road design methods based on zoning differentiation]. *Vestnik KGUSTA*. 2016. No. 1. Pp. 29–33. (rus)
13. Efimenko S.V., Kraevskii A.A., Churilin V.S. Osobennosti genezisa, sostava i svoystv glinistykh gruntov Zapadnoi Sibiri [Genesis, structure and properties of clayey soils in West Siberia]. *Vestnik of Tomsk State University of Architecture and Building*. 2014. No. 2. Pp. 177–181. (rus)
14. Efimenko S.V., Churilin V.S., Badina M.V. Osobennosti granulometricheskogo i mineralogicheskogo sostava gruntov Zapadno-Sibirskogo regiona [Granulometric and mineralogical composition of soils in the West Siberian region]. In: Trudy XX Mezhdunarodnogo simpoziuma imeni akademika M.A. Usova studentov i molodykh uchenykh (*Proc. 20th Int. Symp. of Students and Young Scientists*). Tomsk: TPU, 2016. Pp. 142–143. (rus)
15. Korobkin V.I. Litologiya i usloviya obrazovaniya pliotsen-chetvertichnykh pylevato-glinistykh otlozhenii Yuga evropeiskoi chasti Rossii: avtoreferat. Dissertatsii na soiskanie uchenoi stepeni doktora geologo-mineralogicheskikh nauk [Lithology and formation of pliocene-quadernary silty-argillaceous deposits in the South of the European part of Russia. DSc Abstract]. Novocherkassk, 1993. 58 p. (rus)
16. Efimenko V.N. Vodno-teplovoy rezhim zemlyanogo polotna avtomobil'nykh dorog pri glubokom promerzanii gruntov: dissertatsiya na soiskanie uchenoi stepeni kandidata tekhnicheskikh nauk [Water-thermal conditions of subgrade at deep soil freezing. PhD Thesis]. Moscow, 1978. 216 p. (rus)
17. Okhotin V.V. Vliyanie otdel'nykh faktorov na fiziko-mekhanicheskie svoystva glinistykh chastits [Factors affecting physical and mechanical properties of clayey particles]. In: Trudy yubileinoi nauchnoi sessii LGU, sektsiya geologo-pochvennykh nauk (*Proc. Sci. Conf.*). Leningrad, 1952. Pp. 146–162. (rus)
18. Orlov V.O. (Ed.) Puchenie promerzayushchikh gruntov i ego vliyanie na fundamenty sooruzhenii [Heaving of freezing soils and its effect on structural foundations]. Leningrad: Stroizdat, 1977. 184 p. (rus)
19. Efimenko S.V., Churilin V.S., Badina M.V. Mineralogicheskie osobennosti gruntov i sostava obmennykh kationov zemlyanogo polotna avtomobil'nykh dorog Zapadnoi Sibiri [Mineralogical soil properties and composition of exchange cations of subgrade soils in West Siberia]. In: Trudy XXI Mezhdunarodnogo simpoziuma imeni akademika M.A. Usova studentov i molodykh uchenykh (*Proc. 21st Int. Symp. of Students and Young Scientists*). Tomsk: TPU, 2017. Pp. 100–101. (rus)
20. Laboratornyi kontrol' vypuska i ukladki polimertsementogruntovoi smesi pri stroitel'stve uchastka avtomobil'noi dorogi k derevne Gavrilovo Shatkovskogo raiona Nizhegorodskoi oblasti: nauchno-tekhnicheskii otchet [Laboratory control for production and laying of polymer-cement-soil mixture during road construction in Gavrilovo village, Nizhny Novgorod. Technical report]. Omsk: OAO "Omskii Soyuz DorNII", 2007. 48 p. (rus)
21. Tekhnicheskoe zaklyuchenie po rezul'tatam ispytaniy polimermineral'noi kompozitsii Nicoflok i raschetov variantov konstruksii dorozhnykh odezhd s tsel'yu primeneniya v dorozhnom stroitel'stve Respubliki Belarus' [Technical conclusion based on testing results of Nicoflok

- polymer-mineral composition and road pavement construction in the Republic of Belarus]. Minsk, 2011. 34 p. (rus)
22. Укрепление местных грунтов портландцементом с применением добавки Nicoflok: научно-технический отчет [Reinforcement of local soils with Portland cement with Nicoflok additive. Technical report]. Barnaul, 2010. 131 p. (rus)
  23. Laboratornye ispytaniya svoistv polimerno-mineral'noi kompozitsii Nicoflok i mineral'nykh napolnitelei. Ch. 1, 2: nauchno-tehnicheskii otchet [Laboratory testing of Nicoflok polymer-mineral composition and mineral filler properties. Parts 1, 2. Technical report]. Tomsk: Dorstroikontrol', 2013. 28 p. (rus)

#### **Сведения об авторах**

*Чурилин Владимир Сергеевич*, канд. техн. наук, доцент, Томский государственный архитектурно-строительный университет, 634003, г. Томск, пл. Соляная, 2, lex-16-2008@mail.ru

*Пушкарёва Галина Вениаминовна*, канд. физ.-мат. наук, доцент, Томский государственный архитектурно-строительный университет. 634003, г. Томск, пл. Соляная, 2, kedrik42@mail.ru

#### **Authors Details**

*Vladimir S. Churilin*, PhD, A/Professor, Tomsk State University of Architecture and Building, 2, Solyanaya Sq., 634003, Tomsk, Russia, lex-16-2008@mail.ru

*Galina V. Pushkareva*, PhD, A/Professor, Tomsk State University of Architecture and Building, 2, Solyanaya Sq., 634003, Tomsk, Russia, kedrik42@mail.ru

УДК 624.21.01

DOI: 10.31675/1607-1859-2021-23-6-201-219

*А.В. КАРТОПОЛЬЦЕВ<sup>1</sup>, В.М. КАРТОПОЛЬЦЕВ<sup>1</sup>, С.А. КУХАРЕНКО<sup>2</sup>,**<sup>1</sup>ООО «ДИАМОС»,**<sup>2</sup>Томский государственный архитектурно-строительный университет*

## **К ВОПРОСУ РАЗВИТИЯ МЕТОДОВ РЕГУЛИРОВАНИЯ ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРОЛЕТНЫХ СТРОЕНИЙ МОСТОВ**

Регулирование динамических характеристик пролетных строений является приоритетным направлением исследования авторов и решает современную общемировую проблему повышения моральной и физической долговечности мостовых сооружений, проявляющихся как на стадии проектирования с перераспределением усилий в несущих элементах пролетных строений с учетом перспективного изменения воздействия временной подвижной нагрузки, так и в условиях длительной эксплуатации.

Техническая диагностика мостов за последние 40 лет показала, что для обеспечения долговечности и длительной безопасной эксплуатации необходимо внедрение фундаментальных положений по совершенствованию расчета, эксплуатации и регулированию основных прочностных и деформативных характеристик при действии сверхнормативных и сверхрасчетных подвижных нагрузок.

Целью исследования является регулирование динамических деформационных и амплитудно-частотных характеристик пролетных строений мостов в условиях гармонических случайных (нестационарных) колебаний системы «пролетное строение + автомобиль» за счет изменения энергетического и напряженного состояния конструкции. Феномен динамической индивидуальности системы «пролетное строение + автомобиль» основан на регулировании амплитудно-частотных характеристик случайных колебаний по осредненным значениям с обеспечением при этом требуемой спектральной плотности.

Использование динамических гасителей в качестве регулирующего звена в элементах системы и жесткости связей между ними обеспечивает противофазность колебаний отдельных элементов пролетных строений, например балок и плиты проезжей части, что приводит к появлению неучтенных инерционных усилий.

Другим важным элементом разбалансирования совместной работы элементов пролетного строения моста при динамическом возбуждении является наличие различных дефектов как в конструкции проезжей части, так и в несущих элементах.

Подтверждается гипотеза, что следует рассматривать плиту проезжей части мостов в качестве передаточного слоя (элемента) колебаний от автомобиля к балкам пролетного строения. Выявленные обстоятельства показали рациональность процесса регулирования динамических характеристик в случае совпадения жесткостей и масс автомобиля и балок пролетного строения на уровне центра жесткости системы.

Пристальное внимание в статье авторы уделяют условиям и зависимостям между параметрами динамического нагружения и характеристиками напряженно-деформированного состояния мостовых балок в упругой и упругопластической стадиях с учетом проявления дополнительной инерционности системы. Направление относится к пионерным в отечественном и зарубежном мостостроении в области экспериментального исследования и испытания мостов на непрерывный случайный поток.

Практическая реализация методологической концепции динамических испытаний пролетных строений мостов случайным транспортным потоком способствует созданию вибрационных диагностических экспресс-лабораторий, используемых при эксплуатации и содержании мостов.

**Ключевые слова:** мост; пролетное строение; регулирование динамических характеристик; колебания; резонанс; система; диагностика; дефекты; жесткость; проезжая часть.

*Для цитирования:* Картопольцев А.В., Картопольцев В.М., Кухаренко С.А. К вопросу развития методов регулирования динамических характеристик пролетных строений мостов // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2021. Т. 23. № 6. С. 201–219.  
DOI: 10.31675/1607-1859-2021-23-6-201-219

V.M. KARTOPOLTSEV<sup>1</sup>, A.V. KARTOPOLTSEV<sup>1</sup>, S.A. KUKHARENKO<sup>2</sup>,  
<sup>1</sup>ООО “DIAMOS”,  
<sup>2</sup>Tomsk State University of Architecture and Building

## TOWARDS DYNAMIC PROPERTY CONTROL OF BRIDGE SPANS

Regulation of the dynamic properties of bridge spans is a priority field of this research, which solves the problem of increasing the obsolescence and physical periods of bridge structures manifested both at the design stage of the load redistribution in the load bearing and during long-term operation.

Over the past 40 years, technical bridge diagnostics has shown that the durability and safe long-term operation can be ensured by the improved calculations, operation and stress and strain control under the excess and over-calculated live loads.

The aim of this work is to control the dynamic deformation and amplitude-frequency characteristics of bridge spans under harmonic random (non-stationary) oscillations of the span-vehicle system due to changes in the energy and stress state of the structure. The dynamic behavior of the span-vehicle system is based on the control for the amplitude-frequency characteristics of random oscillations by averaged values, the required spectral density being provided.

The use of dynamic dampers for the system element control and the rigidity of junctions provide antiphase oscillations of the bridge span elements such as beams and decks, that leads to the unaccounted inertial forces.

Another important element of the joint work imbalance of the bridge span elements during the dynamic load, are various defects, both in the deck design and load-bearing elements. It is assumed that the deck is a transfer layer (element) of vibrations induced by a vehicle in the beams. It is shown that the control for the dynamic properties is required in the case of a coincidence between the vehicle and beam stiffness and mass at the center of the system rigidity.

The attention is paid to the conditions and dependencies between the dynamic load parameters and the stress-strain state of the bridge beams at the elastic and elastoplastic stages, with respect to the additional inertia of the system. This approach is the pilot in the Russian and foreign bridge construction in terms of experimental studies and testing of bridges for continuous random traffic.

The dynamic testing of bridge spans for random traffic flow contributes to the creation of vibration diagnostic express laboratories necessary for the operation and maintenance of bridges.

**Keywords:** bridge; bridge span; dynamic property control; vibrations; resonance; system; diagnostics; defects; stiffness; deck.

**For citation:** Kartopoltsev V.M., Kartopoltsev A.V., Kukharenko S.A. K voprosu razvitiya metodov regulirovaniya dinamicheskikh kharakteristik proletnykh stroenii mostov [Towards dynamic property control of bridge spans]. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture. 2021. V. 23. No. 6. Pp. 201–219.  
DOI: 10.31675/1607-1859-2021-23-6-201-219

Мотивированным обоснованием общемировой проблемы повышения моральной и физической долговечности конструкций мостовых сооружений на

стадиях проектирования и эксплуатации является своевременное внедрение, наряду с регулированием напряжения при статическом нагружении, регулирования динамических характеристик пролетных строений мостов с учетом перспективного изменения воздействия временной подвижной нагрузки (рис. 1).

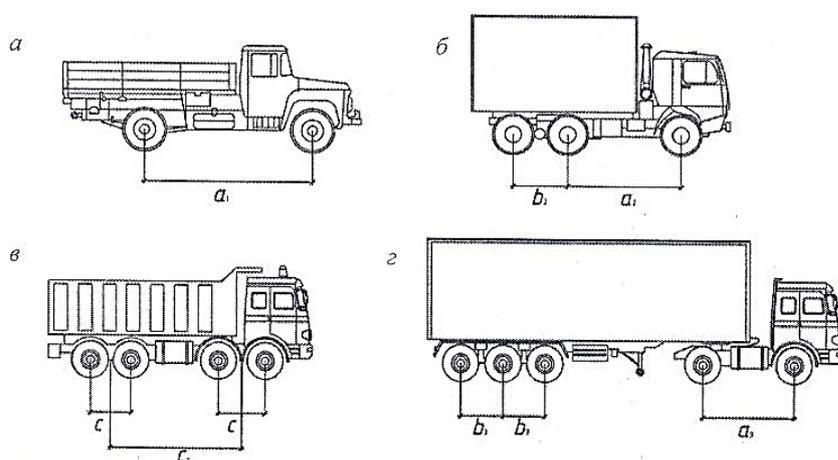


Рис. 1. Эволюция в развитии транспортных средств:

*a* – двухосный автомобиль; *б* – трехосный автомобиль; *в* – четырехосный автомобиль типа Nowo; *з* – тяжелый автофургон

Авторы акцентируют внимание на влиянии дефектности, в частности проезжей части мостов, на увеличение массы и скорости воздействия от временной нагрузки и изменения динамических характеристик.

Рассматривая методологическую концепцию вибродиагностики мостов в условиях регистрации параметров колебательного процесса в предрезонансном или резонансном состоянии реального напряженно-деформированного состояния, можно восполнить существующий пробел в науке и практике [1, 2].

Испытания пролетных строений одиночным автомобилем показали, что среднее значение частот собственных колебаний равно 6 Гц, вынужденных колебаний – 3,8 Гц, тогда как при прохождении транспортного случайного потока частота собственных колебаний – 2,3 Гц и вынужденных – 3,4 Гц при логарифмическом декременте затухания, равном 0,06–0,13. Сближение пиковых значений частот 1–1,2 Гц указывает на резонансное состояние.

В работах Р. Сняды, Фуйино Йозо, Б. Бхартина, Д. Дж. Германа, О. Конора, М. Эссе, Д. Пэйджа, А.Л. Закоры, Ж. Паламана, Ю.П. Федорова, Ю. Фойгта, И.К. Цыпинаса, А.Б. Моргаевского отражены попытки моделирования колебательного процесса при испытании мостов одиночными транспортными средствами. По формулам теории вероятности и математической статистики авторами проведена попытка учесть влияние дефектов пролетных строений на формирование ихождение процесса колебания. Результаты виброиспытаний показали низкий уровень требований к проблеме, т. к. динамическое воздействие зависит от уровня транспортных средств, их подрессоривания и скорости движения [3] (рис. 1).

Впервые Хонда Хидеуки подверг спектральному анализу колебательный процесс с учетом влияния шероховатостей проезжей части наиболее распространенных четырех категорий мостов. Однако в теоретическом обосновании спектра колебаний рассматривается балка с подвешенным грузом, что несопоставимо с реальной ситуацией. Недостатком экспериментальных исследований этого периода является неточность моделирования мостовых дефектов, в том числе проезжей части, а также использование вибрирующих устройств с одной степенью свободы для возбуждения колебаний.

С использованием численных методов Адамса – Штермера в работах Г.Ф. Кравченко, И.А. Колесника, В.Г. Яцура, Дж. Пензиена и др. предпринята попытка представить движущийся поток подвижной нагрузки в виде упругосвязанных грузов с определенной скоростью, не являющейся критической. Вывод, что наибольший динамический эффект, в этом случае наибольший в момент схода нагрузки с балки, является неправомерным.

Стремление найти современное представление о взаимодействиях изменяющихся во времени подвижных нагрузок и мостовых конструкций и создать реальную научно обоснованную модель их воздействия привело ученых мирового сообщества к выводу об острой необходимости регулирования динамических характеристик хотя бы в стохастическом виде. Исследования И.И. Гольденבלата акцентированы на решении практических задач эффективности воздействия подвижной нагрузки встречного и параллельного движения [5]. Объяснение отчасти противоречивых результатов теоретических исследований о вибрационных характеристиках мостовых конструкций состоит в несовершенных методах и материальной базе практических испытаний моделей и натуральных конструкций. Достаточно объективным подтверждением выявленных расхождений являются экспериментальные исследования, проведенные специалистами на автодорожных мостах различного класса в штате Иллинойс (США, 1964 г.), канадскими специалистами П. Паултре и Ж. Проулисом, а также А.В. Картопольцевым (Россия) и В.М. Сафроновым (Болгария) [4].

Неточность измерений за счет погрешности, связанной с инерционностью механизма, послужила «загрублению» при обработке виброграмм для получения линейных амплитудно-частотных характеристик.

Общим недостатком вибродиагностики мостов в нашей стране и за рубежом следует считать фиксацию одной или максимум двух частей собственных колебаний, ограниченных по диапазону параметров вынужденных колебаний, что частично было устранено в измерительной системе инженера М. Бата, инженерами Р. Кишка, Л. Вэта, А. Соколика НИИ инженерных конструкций и использовано в Высшей школе транспорта и связи в г. Жилино.

За последние 15 лет работы по совершенствованию вибродиагностического оборудования, лишенного недостатков приборного обеспечения предыдущих лет, создан аппаратно-программный виброизмерительный комплект на основе безбазисных низкочастотных пьезоэлектрических вибродатчиков, обладающий свойством выделять электрические заряды на гранях пьезоэлемента под влиянием механических усилий, которому уступают малоинформативные и технически несовершенные средства виброизмерений [5]. Многофункциональность виброкомплекта при скоростях испытания временной нагрузкой

от 20 до 100 км/ч характеризуется погрешностью 1–2 % при оценке амплитудно-частотных характеристик. В качестве примера представлен общий вид спектра частот колебаний пролетного строения при испытании временной нагрузкой (рис. 2).

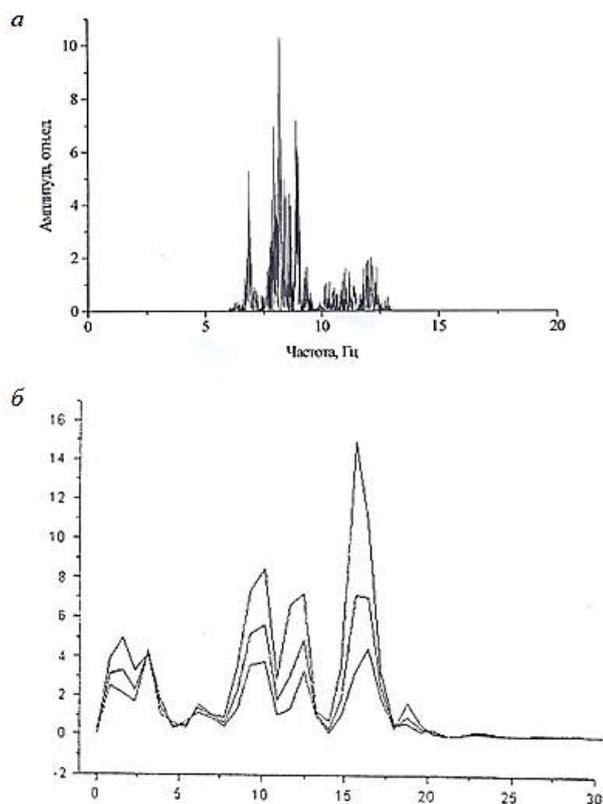


Рис. 2. Общий спектр частот колебаний:  
 а – спектр частот собственных колебаний; б – спектр частот свободных и вынужденных колебаний

Уникальные возможности виброкомплекта позволили определить экспериментальные динамические характеристики металлических мостов по торцевым колебаниям. Новый метод регистрации колебательного процесса от временной подвижной нагрузки в пролетных строениях позволяет одновременно диагностировать параметрические горизонтальные и вертикальные формы колебаний с последующим их спектральным анализом [6, 7].

Регулирование динамических характеристик пролетных строений мостов, полученных в результате расшифровки виброграмм торцевых колебаний, является новым направлением вибродиагностики мостовых сооружений.

Поскольку прогибы балок мостов ничтожно малы по сравнению с их длиной, линию динамических прогибов с высокой степенью достоверности можно аппроксимировать параболой или дугой окружности. Сближение или расхождение торцевых точек балок позволяет идентифицировать форму колебательного

процесса с его гармониками от воздействия временной подвижной нагрузки. Обширные эксперименты динамических испытаний мостов с пролетами от 40 до 80 м с использованием датчиков торцевых колебаний с записью 29 прогибовиброграмм длительностью по 51,2 с каждая позволили сопоставить результаты аналогичных испытаний виброкомплексом «ДИАМОС». Регистрация гармонических колебаний за счет торцевых датчиков определила приоритетность регистрационных виброкомплектов (рис. 3).

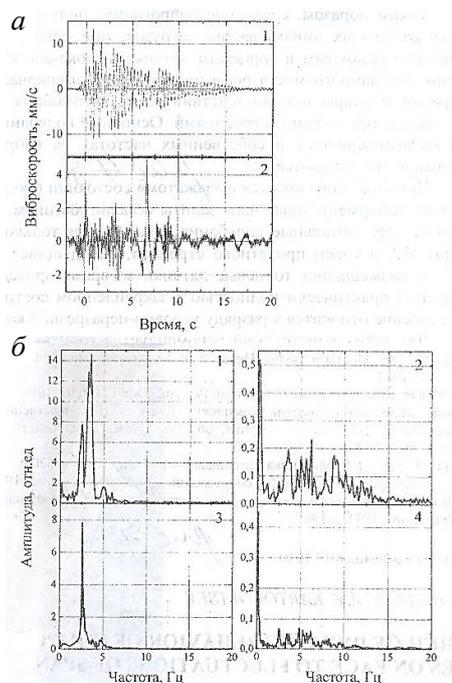


Рис. 3. Торцевые колебания:

а – временная реализация колебаний пролета; б – частотные спектры колебаний пролета

Таким образом, наличие современного высокоэффективного оборудования для регистрации реального колебательного процесса в пролетных строениях мостов позволяет решить проблему регулирования динамических характеристик мостов, переосмысления и перестроения нормативных документов на проектирование, расчет, диагностику и содержание транспортных сооружений в соответствии с выявленными реальными процессами напряженно-деформированного состояния пролетных строений мостов при изменяющемся воздействии временной подвижной нагрузки [8].

Приведенные данные способствуют пересмотру величины реальной критической скорости движения подвижной нагрузки с учетом дефектов мостового сооружения, являющейся регулятором динамических характеристик с учетом проявления различного вида демпфирования и резонансных явлений.

Реализация регулирования динамических характеристик возможна изменением формы гармонических колебаний с синусоидальной до резонанса в ко-

синусоидальную после резонанса за счет того, что в колебательном процессе участвуют два вида колебаний: нестационарные – это колебания в основном подвески автомобиля с выражением синусоидальной формы и случайные колебания этой же нагрузки за счет дефектов проезжей части косинусоидальной формы. Оба вида формы колебательного процесса описываются средними значениями динамических характеристик и спектральной плотности [9, 10].

Расчленив стальное или сталежелезобетонное пролетное строение на элементы с определенными квазиупругими и линейной жесткости коэффициентами, авторы пришли к выводу, что все оси линейной жесткости элементов ( $EJ_{ст}$ ,  $EJ_б$ ) и квазиупругие коэффициенты центров масс элементов ( $C_{ст}$ ,  $C_б$ ) в обычном и резонансном состоянии (рис. 4) характеризуются следующим образом [11]:

1. Центр жесткости ( $EJ_0\theta$ ) совпадает с центром масс ( $EJ_0\theta$ ). Здесь ни одна из главных осей жесткости для сталежелезобетона не совпадает ни с одной из главных осей инерции системы.
2. Центр жесткости  $\theta$  совпадает с центром масс  $\theta$  – одна из осей жесткости совпадает с одной из осей инерции системы.
3. Центр жесткости  $\theta$  совпадает с центром масс  $\theta$  – главные оси инерции совпадают с главными осями жесткости.

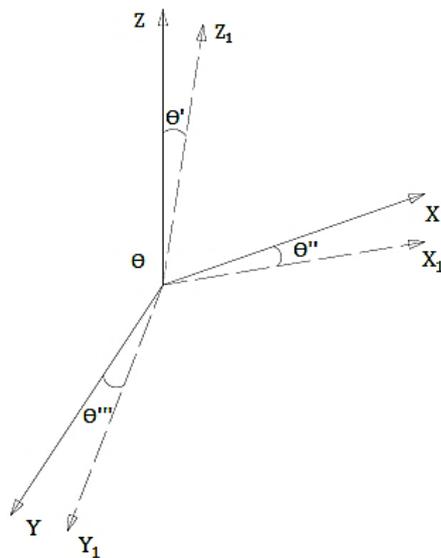


Рис. 4. Векторы главных осей масс и жесткостей

Предрезонансные и резонансные состояния пролетных строений от динамического воздействия временной подвижной нагрузки открыли в науке возникновение самостоятельного направления автоматического регулирования статического и динамического напряженно-деформированного состояния. Построение и обоснование направления основано на том, что динамические характеристики являются не только оригинальными, но и многофункциональными [12]. В свою очередь, многофункциональность критериев регулируемой

динамической системы «пролетное строение + автомобиль» обеспечивает практически замкнутый цикл автоматического регулирования от проектирования до эксплуатации сооружения. Для инерционной системы «пролетное строение + автомобиль» исходное уравнение автоматического регулирования характеристик пролетного строения будет иметь вид

$$X = c \cdot e^{pt}, \quad (1)$$

где  $X$  – выходная требуемая величина;  $c$  – коэффициент пропорциональности;  $e^{pt}$  – произвольная функция во времени, характеризующаяся возмущением системы, является исходной величиной.

При автоматическом регулировании динамических характеристик, прошедших режим резонанса, выражение (1) перепишем в виде

$$X = A \cdot e^{(wt+\theta)}, \quad (2)$$

где  $\theta$  – угол сдвига фаз между гармониками до резонанса и после резонанса;  $w$  – частота вынужденных колебаний основного тона принятой гармоники;  $A$  – амплитуда перемещения балок пролетного строения при основной гармонике.

При автоматическом регулировании динамических характеристик после резонансного процесса колебаний справедливо равенство

$$\theta = \operatorname{tg}(wt) \frac{\operatorname{lg} \delta}{w}, \quad (3)$$

где  $wt = \operatorname{artg} \frac{\operatorname{lg} \delta}{w} + k_0 - \pi$ ;  $\operatorname{lg} \delta$  – логарифмический декремент затухания;  $w$  – частота вынужденных колебаний системы;  $k_0$  – отношение следующих друг за другом амплитуд гармонической формы колебания.

В качестве гипотетического представления «добротность» процесса автоматического регулирования можно характеризовать отношением  $\frac{\operatorname{lg} \delta}{w}$ , равным

$$\frac{\operatorname{lg} \delta}{w} = e \sqrt{p \cdot T}, \quad (4)$$

где  $p = -\operatorname{lg} + iw$ ,  $i = 1, 2, 3 \dots 6$ ;  $T$  – период колебания.

Эмпирическая зависимость, характеризующаяся  $\operatorname{lg} e$ , принимает вид

$$\operatorname{lg} \delta = e^\pi \sqrt{\frac{(1+\zeta)^2}{w^2} - \frac{\zeta}{w}}, \quad (5)$$

где  $e^\pi = 23,14$ ;  $\zeta = 0,27$  – когда в процессе саморегулирования частот колебаний в системе сдвиг по фазе синусоидального гармонического колебания составляет  $90^\circ$  по отношению к косинусоидальному.

Процесс автоматического регулирования (саморегулирования) динамических характеристик подразумевает постоянное изменение напряженно-деформированного состояния конструкции. Достоверное подтверждение полученных теоретическим путем результатов основано на следующих видах экспериментальных исследований:

– численное моделирование взаимодействия динамической нагрузки и пролетного строения моста;

- экспериментальное исследование моделей пролетных строений с динамическим нагружением;
- испытание реальных пролетных строений мостов разрезной, неразрезной и балочно-консольных систем мостов;
- в ходе численного моделирования разрабатывались расчетные схемы стальных и сталежелезобетонных пролетных строений по их фактическим геометрическим размерам и свойствам материалов с последующим выполнением динамических расчетов, смоделированных на трех видах загрузки, с моделированием трех форм гармонических колебаний при следующих условиях: временная подвижная нагрузка на подходах к пролетному строению; движется по пролетному строению; съезд с пролетного строения.

Для разрезных и неразрезных пролетных строений спектр частоты собственных колебаний идентичен колебаниям при динамической модели пролетных строений мостов с помощью пластинчатых и стержневых конечных элементов с характеристиками

$$\left. \begin{aligned} V_{кр} &= \frac{\pi}{L} \left( \frac{EJ}{m} \right)^{\frac{1}{2}} \\ \lg \delta &= 0,05-0,15 \end{aligned} \right\}, \quad (6)$$

где  $\lg \delta = 0,05-0,15$  – для стальных и сталежелезобетонных мостов.

Для уточнения принятых расчетных схем и реализации результатов численного моделирования и математической модели воздействия подвижной временной нагрузки необходимо сравнение теоретических и экспериментальных данных, полученных с помощью моделей и испытания реальных мостовых сооружений. Блок-схема виброизмерительного комплекта приборов типа «ДИАМОС» представлена в аппаратно-программном обеспечении, реализуется в процессе испытания на моделях и реальных сооружениях, выполняет две основные функции:

- 1) режим просмотра виброграмм общего вида по каждому из каналов непосредственно после записи сигнала (рис. 5, 6);
- 2) центрирование сигналов в рабочем частотном диапазоне с целью устранения низкочастотных аппаратных трендов (рис. 7).

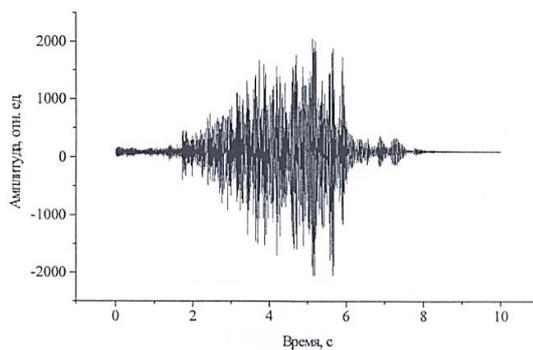


Рис. 5. Общий вид виброграммы, записанной при проведении экспериментальных исследований на моделях металлических мостов

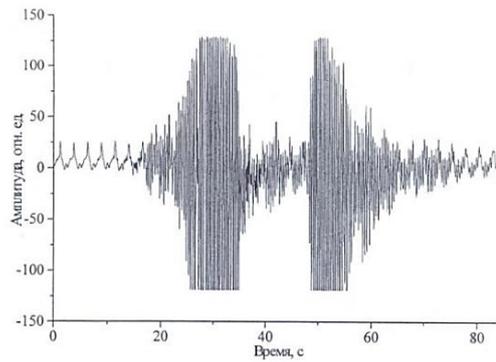


Рис. 6. Общий вид виброграммы, записанной при испытании сталежелезобетонного пролетного строения автодорожного моста

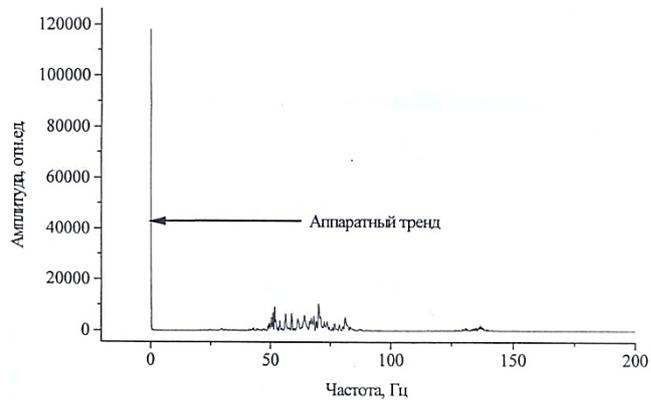


Рис. 7. Аппаратный тренд при спектральной обработке виброграммы

Виброграммы после фильтрации показаны на рис. 8, 9. В основу разработанного метода спектральной обработки виброграмм положен анализ многоканальных систем на основе дискретного и быстрого преобразования Фурье. Спектры частот виброграмм, записанные во время испытания моделей и натуральных мостовых сооружений, представлены на рис. 10, 11.

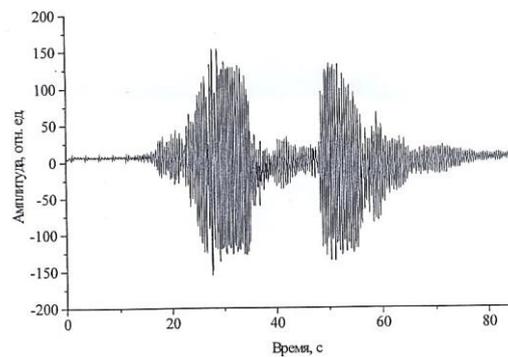


Рис. 8. Виброграмма до фильтрации

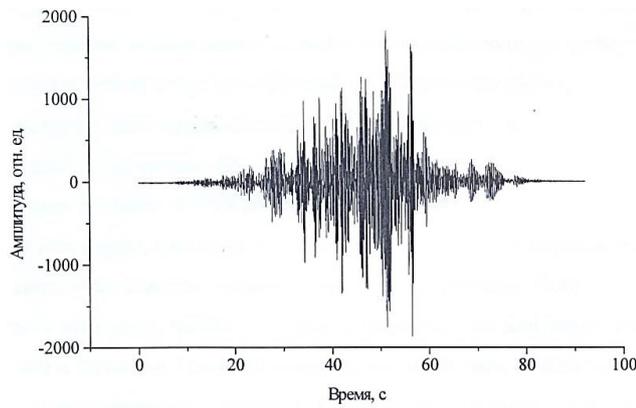


Рис. 9. Вид виброграммы после фильтрации

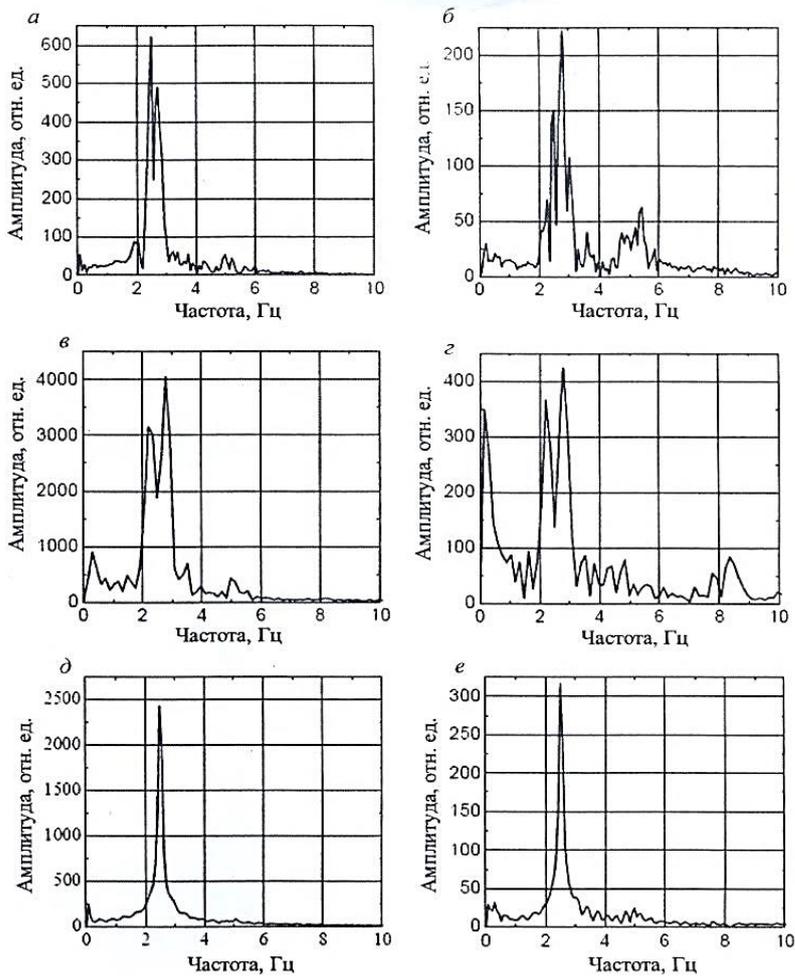


Рис. 10. Общий спектр частот виброграмм от временной нагрузки

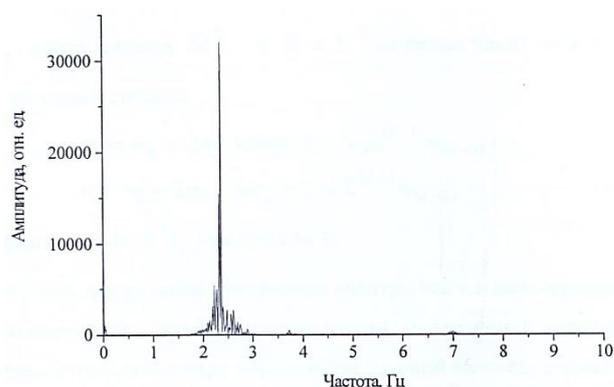


Рис. 11. Спектр частот виброграммы

При испытании сталежелезобетонного моста со схемой 42,6 + 42,6 + 42,6 м экспериментальное значение  $w$  для случайного транспортного потока, состоящего из трех и более автотранспортных средств, составило 3,654 Гц при теоретическом значении  $w = 4,0$  Гц. На основании прогибовиброграммы от прохода двух автотранспортных средств и виброграммы, полученной в автоматическом режиме работы комплекта «ДИАМОС», анализ частей свободных и вынужденных колебаний пролетных строений от воздействия системы «пролетное строение + автомобиль» с учетом проявления дефектов проезжей части (рис. 12) указывает на резонансное состояние на 65-й секунде испытания. Данное обстоятельство стало возможным в результате спектрального анализа в условиях центрирования сигнала, устранившего тренд в области инфранизких частот и дальнейшей цифровой фильтрации виброграммы с помощью режекторного фильтра. Из анализа экспериментальных динамических характеристик установ-

лено: на зафиксированной частоте колебаний моста при  $\nu = \frac{w}{\rho} \geq 1$  фаза возмущающей силы и вынужденных колебаний отличается на  $180^\circ$ . Подтверждением является практическое совпадение теоретических и экспериментальных значений амплитуд и статического прогиба, полученных в результате расчета и испытания [13].

По мнению авторов, временная продолжительность успокоения пролетного строения за счет диссипативных эффектов приводит не к резонансным явлениям, а лишь к эффекту биения на отметке максимума частот собственных колебаний. Объяснение данного обстоятельства связано с процессом затухания давления от автомобиля за счет срабатывания рессорной части и приспособляемости конструкции. В этом случае биение рассматривается как проявление альтернативного «затухающего» резонанса динамической системы, при котором частотные и амплитудные характеристики и затухание колебаний изменяются не в зависимости от формы колебаний, а по законам изменения масс с учетом их нагруженности. Подтверждением являются результаты испытаний моста со схемой 42,6 + 42,6 + 42,6 м единичным автомобилем  $P_{вр} = 25$  тс с гармонической нагрузкой 2,5 тс (рис. 13), с амплитудой вертикального перемещения  $y_c = 0,04$  м и частотой  $\rho = 10$  Гц. Авто-

мобиль имеет две подвески и четыре амортизатора с передаточным числом  $TR = 0,1$ . Частота вынужденных колебаний составила  $\omega = 10$  Гц. Общая жесткость подвесок составила 250 тс, одного амортизатора – 62,5 тс/м. Расчетное перемещение амортизаторов равно 0,04 м, что соответствует гармоническому нагружению силой, равной 2,5 тс.

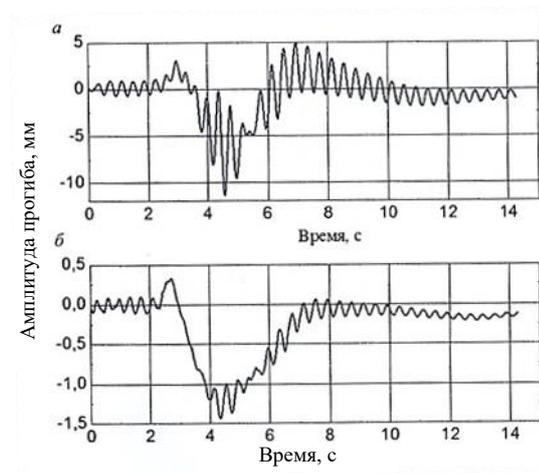


Рис. 12. Прогибовивброграммы с учетом проявления дефектов проезжей части

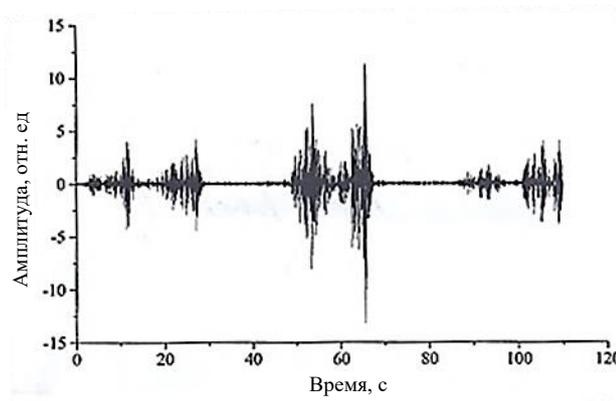


Рис. 13. Экспериментальный спектр частот от единичного автомобиля

Фундаментальные основы теории упругости и пластичности подтверждают условия, при которых в динамических системах в процессе совершенствования и расчета динамических характеристик обычное уравнение движения расширяется включением составляющей диссипативных сил (силы внутреннего трения в виде диссипативной функции), которая напрямую является линейной функцией скорости колебаний [14, 15].

При колебаниях балок за пределом упругости зависимость между коэффициентом неупругого сопротивления  $\nu$  и параметром внутреннего сопротивления  $\Psi$  (поглощение энергии) может быть принята в виде

$$v = \frac{\Psi}{2\pi}. \quad (7)$$

Общеизвестно, что  $\Psi$  не зависит от  $\sigma_i$ , а  $\Psi = \text{const}$  при  $\sigma_i < R_n$ , и тогда справедлива зависимость

$$\Psi \cong 2 \lg \delta, \quad (8)$$

где  $\lg \delta$  – логарифмический декремент затухания;  $\Psi = 0,17$  – для стальных мостов (С.А. Бернштейн, С.А. Ильясевич).

Таким образом, закон изменения амплитуды колебания по длине пролета балки с учетом затухания от диссипации выражается в виде  $e^{-vx}$ ,  $x$  – текущая координата.

С введением в нормативные, проектные, строительные указания и правила обоснованных условий нагруженности мостовых сооружений временной подвижной нагрузкой с учетом возможного ее изменения в большую сторону за счет эксплуатационных дефектов, в том числе и проезжей части, в процессе предельного упругопластического динамического деформирования требуются совершенствования в определении амплитудно-частотных характеристик скоростного режима и диссипативных свойств колебаний системы «пролетное строение + автомобиль», которые составляют достаточный объем управляемых параметров при регулировании динамических характеристик.

Конструктивным примером демпфирования могут служить опорные части с высоким уровнем рассеяния за счет трения скольжения (по принципу гироскопика) [16]. Демпфер трения скольжения трансформирует колебания системы «пролетное строение + автомобиль» в кинетическую энергию перемещения элементов опорной части по трущимся поверхностям прямолинейной и дискообразной формы. Аналогичные исследования были проведены ранее с использованием простого типа резиновых опорных частей (РОЧ) для учета в пространственной динамической работе пролетных строений упругих свойств опорных частей [17]. Опорные части рассматриваются авторами в качестве регуляторов не только динамических характеристик, но и пространственной динамической устойчивости колебательного процесса. Появление действующих на пролетное строение со стороны опорных частей динамических реактивных сил и моментов изменяет характер поведения пролетного строения при воздействии временной подвижной нагрузки. Балки пролетных строений мостов в связи с их линейной протяженностью обладают податливостью поперечного сечения при изгибе с удлинением нижнего пояса, приводящего к смещению дискообразных элементов опорных частей, вызывающих гироскопический эффект. Гироскопический эффект сужает интервал существования колебаний во времени и уменьшает их амплитуду, но может увеличить частоту вынужденных колебаний  $w$ .

Демпфирование, как пример регулирования динамических характеристик, следует рассматривать в изменении формы гармонического колебания в начальной стадии в виде синусоидальной и конечной косиносоидальной. Это не противоречит гипотезе, что движение одного или нескольких транспортных средств по пролетному строению с неровной проезжей частью колебания пролетного строения может быть в противофазе или смещенным на угол  $\theta$  либо в начале, либо

в процессе движения [18, 19]. Временные подвижные нагрузки в определенный период могут играть роль дебаланса (гиромаятника) в колебании пролетных строений, и, наоборот, в определенных обстоятельствах пролетные строения могут играть роль дебаланса в собственных нестационарных колебаниях временной подвижной нагрузки на принципах динамической совместности и непрерывности деформаций (принцип модальных аппроксимаций). Из известных мировой научной общественности источников делается вывод, что регулирование динамических характеристик пролетных строений металлических мостов составляет ветвь перспективного направления виброзащиты и виброизоляции мостов, обладающих новизной и актуальностью. Достижение цели рассматривается в направлении «развязывания» свободных колебаний пролетного строения, а возбуждение вынужденных колебаний «пролетное строение + автомобиль» рассматривается в направлении одной из координат поперечных гармонических колебаний и не вызывает колебания в направлении других координат, например  $x, z$  в двух вариантах: совпадение центра жесткости системы с аналогичным центром пролетного строения; главные оси жесткости пролетного строения совпадают с их главными осями инерции. Выполнение хотя бы одного из двух вариантов относит пролетное строение моста к амортизированному объекту. Регулирование динамических характеристик в этом случае осуществляется в рамках теории пространственной устойчивости колебания системы с амортизаторами длиной  $\ell_a$ , коэффициентами жесткости  $k, i, j, s$ , где  $i$  – для пролетного строения,  $j$  – системы,  $s$  – амортизаторов (демпферов). В пролетном строении временная подвижная нагрузка, располагаясь в середине пролета с координатами главных осей  $X, Y, Z$  и их моментами инерции  $J_X, J_Y, J_Z$ , обеспечивает условие, при котором совпадения главных осей жесткости пролетного строения с их главными осями инерции характеризует систему с динамически устойчивыми параметрами.

Научное направление, рассматриваемое авторами в статье, не имеет пока аналогов и способствует достижению следующих результатов:

1. Входящими параметрами управления эксплуатационным состоянием являются амплитудно-частотные характеристики в условиях гармонических случайных (нестационарных) колебаний системы «пролетное строение + автомобиль».

2. Регулирование динамических характеристик для мостов с конструктивными особенностями пролетных строений (бистальные) основано на чувствительности к скоростям динамических деформаций с учетом задержки.

3. Амплитудно-частотный спектр колебаний пролетных строений рассматривается с учетом диссипации или рассеяния энергии, а также в условиях возможной противофазной формы колебаний.

4. Практическая реализация методологической концепции динамических испытаний мостов случайным транспортным потоком представлена созданием вибрационных диагностических комплектов «ДИАМОС» и экспресс-лабораторий, оснащенных методикой глубокого спектрального анализа прогибовиброграмм, дающего возможность судить о добротности и устойчивости динамической системы в целом.

По мнению авторов, «добротность» колебательного процесса ( $D_k$ ) является параметром функции ненагруженности, и не функцией какой-либо меха-

нической системы с механическими характеристиками, а функцией энергетического состояния. Тогда в определении амплитудно-частотных характеристик, при упругом и упругопластическом состояниях несущих элементов пролетного строения моста, используется энергетическая составляющая вязкого внутреннего трения  $h$ . В этом случае механическая характеристика  $(1 + \mu g)$ , которая характеризует не что иное, как усиление колебаний в связи с инерционностью системы, становится энергетическим параметром [20]:

$$\beta \approx (1 + \mu g) \cong \frac{1}{1 - w^2 / p^2}. \quad (9)$$

Таким образом, учет эффекта противофазности колебаний отдельных элементов пролетных строений в системе способствует увеличению неучтенных инерционных сил.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Картопольцев В.М., Картопольцев А.В.* Регулирование динамических характеристик – фактор повышения эксплуатационного ресурса транспортных сооружений // Природные и интеллектуальные ресурсы (СИБРЕСУРС-25-2019) : доклады (материалы конференции) 25-й Всероссийской научно-практической конференции. Томск : Изд-во Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники, 2019. С. 62–65.
2. *Бочкарев Н.Н., Картопольцев А.В.* Техническая диагностика динамической работы пролетных строений при возникновении и развитии дефектов в автодорожных мостах // Архитектура. Строительство. Транспорт. Технологии. Инновации : материалы Международного конгресса. Омск : СибАДИ, 2013. С. 178–183.
3. *Картопольцев В.М., Картопольцев А.В., Колмаков Б.Д.* К вопросу автоматического регулирования динамических характеристик пролетных строений мостов // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2017. № 4. С. 171–176.
4. *Kartopolsev A., Safronov V.* Анализ на результат и отизпитванен астоманен пътен мост // Пътища. 2007. 2. Р. 11–16.
5. *Бочкарев Н.Н.* Мониторинг динамических характеристик пролетных строений мостов с применением мобильного аппаратно-программного комплекса «Диамос» // Техника и технология дорожного хозяйства. 2000. 1. С. 62–66.
6. *Kartopolsev V.M., Bochkaev N.N., Kartopolsev A.V.* Evaluation of dynamic characteristics of a bridge span highway bridges in terms of exposure random traffic flow // Cambridge Journal of Education and Science. 2015. 2 (14). Р. 521–533.
7. *Сертификат об утверждении типа средств измерений = Pattern approval certificate of measuring instruments.* Ru.E.28.060. AN.7903. Портативный вибродиагностический комплекс «Диамос» (Государственный реестр средств измерений № 19790–00). 30.06.2000. 3 с.
8. *Бочкарев Н.Н., Картопольцев А.В., Сафронов В.М., Шендель А.С.* Численное моделирование экспериментальных исследований сталежелезобетонных пролетных строений автодорожных мостов // IX Международная научная конференция. София, Болгария, 2009. СП-226-II-233.
9. *Картопольцев В.М., Картопольцев А.В., Колмаков Б.Д., Щербинин А.Н.* Применение резонансных методов определения динамических характеристик сталежелезобетонных мостов с учетом дефектов проезжей части // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2016. № 4. С. 126–134.
10. *Картопольцев В.М., Кисов Д., Картопольцев А.В., Колмаков Б.Д.* Динамические испытания сталежелезобетонных мостов с учетом влияния дефектов проезжей части // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2016. № 5. С. 178–193.

11. *Картопольцев А.В., Колмаков Б.Д.* К вопросу о колебании системы «автомобиль + пролетное строение» при совпадении центров масс и жесткости // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2016. № 6. С. 251–259.
12. *Якубович В.А., Старжинский В.М.* Параметрический резонанс в линейных системах. Москва, 1987. 328 с.
13. *Картопольцев В.М., Сафронов В.М., Картопольцев А.В., Колмаков Б.Д.* Определение динамических напряжений и деформаций в сталежелезобетонных мостах // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2016. № 3. С. 194–204.
14. *Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М.* Теоретическая физика. В 10 томах. Т. VII. Теория упругости. Москва : Наука, гл. ред. физ.-мат. лит., 1987. 248 с.
15. *Картопольцев А.В., Колмаков Б.Д., Зголич М.В.* К вопросу о диссипативности деформирования балок пролетных строений мостов // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2016. № 2. С. 194–199.
16. *Всесторонне-подвижная опорная часть* ОЧПС-П-410-75. Проект 1815. КМД-101.04. ООО «К° Люмьер ЛТД». Технический паспорт. 2020. № 2. 6 с.
17. *Гриднев С.Ю., Боровков Д.В.* Определение податливости мостовых резинометаллических опорных частей в условиях всестороннего деформирования // Научный вестник ВГАСУ. Строительство и архитектура. 2009. Вып. 1. С. 83–91.
18. *Бочкарев Н.Н., Картопольцев А.В.* Техническая вибродиагностика пролетных строений автодорожных мостов // Акустика речи. Медицинская и биологическая акустика. Архитектурная и строительная акустика. Шумы и вибрация. Аэроакустика : сборник трудов XX сессии Российского акустического общества. 27–31 октября 2008. Москва : ГЕОС, 2008. С. 228–233.
19. *Ли Д.В., Картопольцев В.М.* К вопросу динамической работы пролетных строений мостов со сквозной стенкой // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2015. № 3. С. 194–201.
20. *Чжао Цзянь, Белуцкий И.Ю., Яцура В.Г.* Отражение воздействия временной нагрузки в динамическом коэффициенте при расчете автодорожных мостов // Ученые заметки ТОГУ : электрон. науч. изд. 2013. Т. 4. № 4. С. 1657–1661.

#### REFERENCES

1. *Kartopol'tsev V.M., Kartopol'tsev A.V.* Regulirovanie dinamicheskikh kharakteristik – faktor povysheniya ekspluatatsionnogo resursa transportnykh sooruzhenii [Dynamic property control as a factor of increasing the operation of transport facilities]. In: Prirodnye i intellektual'nye resursy: doklady (materialy konferentsii) 25-i Vserossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii (Proc. 19th Int. Conf. 'Natural and Intelligent Siberian Resources (SIBRESURS-19-2013)'). 2019. Pp. 62–65. (rus)
2. *Bochkarev N.N., Kartopol'tsev A.V.* Tekhnicheskaya diagnostika dinamicheskoi raboty proletnykh stroenii pri vozniknovenii i razvitii defektov v avtodorozhnykh mostakh [Technical diagnostics of dynamic work of bridge spans during defect formation]. In: Arkhitektura. Stroitel'stvo. Transport. Tekhnologii. Innovatsii: materialy Mezhdunarodnogo kongressa (Proc. 6th Int. Sci. Conf. 'Architecture, Civil Engineering – Modernity'). Omsk. 2013. Pp. 178–183. (rus)
3. *Kartopol'tsev V.M., Kartopol'tsev A.V., Kolmakov B.D.* K voprosu avtomaticheskogo regulirovaniya dinamicheskikh kharakteristik proletnykh stroenii mostov [Automated control for dynamic parameters of bridge spans]. *Vestnik of Tomsk State University of Architecture and Building*. 2017. No. 4 (63). Pp. 171–176. (rus)
4. *Kartopol'sev A.V., Safronov V.M.* Analiz rezul'tatov ispytaniya stalezhelezobetonnykh avtodorozhnykh mostov [Testing results of steel-concrete composite bridges]. *Dorogi P'tishcha*. 2007. No. 2. Pp. 11–16. (rus)
5. *Kartopol'tsev A.V., Bochkarev N.N.* Monitoring dinamicheskikh kharakteristik proletnykh stroenii mostov s primeneniem mobil'nogo apparatno-programmnogo kompleksa "Diamos" [Monitoring of dynamic properties of bridge spans using mobile soft hardware and "Diamos" vibration diagnostic system]. *Tekhnika i tekhnologii dorozhno khoziaistva*. 2000. No. 1. Pp. 62–66. (rus)

6. Kartopoltsev V.M., Bochkarev N.N., Kartopoltsev A.V. Evaluation of dynamic characteristics of bridge spans under random traffic flow. *Cambridge Journal of Education*. 2015. V. 6. No. 2 (14). Pp. 521–533.
7. Portativnyi vibrodiagnosticheskii kompleks “Diamos” [“Diamos” portable vibration diagnostic system] Sertifikat ob utverzhdenii tipa sredstv izmerenii [Pattern Approval Certificate of Measuring Instruments]. N 19790-00, 2000. 3 p. (rus)
8. Bochkarev N.N., Kartopoltsev A.V., Safronov V., Shendel A.S. Chislennoe modelirovanie eksperimental'nykh issledovaniy stalezhelezobetonnykh proletnykh stroenii avtodorozhnykh mostov [Numerical modelling of experimental research in steel concrete of flying structures of road bridges]. In: IX Mezhdunarodnaya nauchnaya konferentsiya VSU (*Proc. 9th Int. Sci. Conf. VSU*). Sofia, 2009. Pp. 226–233. (rus)
9. Kartopoltsev V.M., Kartopoltsev A.V., Kolmakov B.D., Shcherbinin A.N. Primenenie rezonansnykh metodov opredeleniya dinamicheskikh kharakteristik stalezhelezobetonnykh mostov s uchedom defektov proezzhei chasti [Determination of dynamic properties of composite bridges with pavement defects using resonance methods]. *Vestnik of Tomsk State University of Architecture and Building*. 2016. No. 4. Pp. 126–134. (rus)
10. Kartopoltsev V.M., Kisov D., Kartopoltsev A.V., Kolmakov B.D. Dinamicheskie ispytaniya stalezhelezobetonnykh mostov s uchedom vliyaniya defektov proezzhei chasti [Dynamic tests of composite bridges with pavement defects]. *Vestnik of Tomsk State University of Architecture and Building*. No. 5. 2016. Pp. 178–193. (rus)
11. Kartopoltsev A.V., Kolmakov B.D. K voprosu o kolebanii sistemy avtomobil' – proletnoe stroenie pri sovpadenii tsentrov mass i zhestkosti [Vehicle/span system oscillation at coincident centre of mass and stiffness]. *Vestnik of Tomsk State University of Architecture and Building*. 2016. No. 6. Pp. 251–259. (rus)
12. Yakubovich V.A., Starzhinsky V.M. Parametricheskii rezonans v lineinykh sistemakh [Parametric resonance in linear systems]. Moscow, 1987. 328 p. (rus)
13. Kartopoltsev V.M., Safronov V.M., Kartopoltsev A.V., Kolmakov B.D. Opredelenie dinamicheskikh napryazhenii i deformatsii v stalezhelezobetonnykh mostakh [Stress-strain state of composite bridges]. *Vestnik of Tomsk State University of Architecture and Building*. 2016. No. 3. Pp. 194–204. (rus)
14. Landau L.D., Lifshits E.M. Teoriya uprugosti. Teoreticheskaya fizika [Theory of elasticity. Theoretical physics], in 10 vol. Moscow: Nauka, 1987. 248 p. (rus)
15. Kartopoltsev A.V., Kolmakov B.D., Zgolichev M.V. K voprosu o dissipativnosti deformirovaniya balok proletnykh stroenii mostov [Dissipative deformation of bridge span beams]. *Vestnik of Tomsk State University of Architecture and Building*. 2016. No. 2. Pp. 194–199. (rus)
16. Vsestoronno-podvizhnaya opornaya chast' OChShS-P-410-75. Proekt 1815. KMD-101.04. OOO “K° Lyum'er LTD”. Tekhnicheskii passport [Movable support part of OCHSHS-P-410-75. Project N 1815. Technical passport]. No. 2. 2020. 6 p. (rus)
17. Gridnev S.Y., Borovkov D.V. Opredelenie podatlivosti mostovykh rezino-metallicheskih opornykh chastei v usloviyakh vsestoronnego deformirovaniya [Rubber-metal yield supports under uniform deformation]. *Nauchnyi vestnik VGASU. Stroitel'stvo i arkhitektura bridge*. 2009. No. 1 (13). Pp. 83–91. (rus)
18. Bochkarev N.N., Kartopoltsev A.V. Tekhnicheskaya vibrodiagnostika proletnykh stroenii mostov [Vibration diagnostics of bridge spans]. In: Sbornik trudov XX sessii rossiiskogo akusticheskogo obshchestva: akustika rechi. Meditsinskaya i biologicheskaya akustika. Arkhitekturnaya i stroitel'naya akustika. Shумы i vibratsii. Aeroakustika (*Coll. Papers 20th Session of Russian Acoustical Society' Speech Acoustics. Medical and Bi-ological Acoustics. Architectural and Construction Acoustics. Noises and Vibrations. Aeroacoustics*). Moscow, 2008. V. 3. Pp. 228–233. (rus)
19. Li D.V., Kartopoltsev V.M. K voprosu dinamicheskoi raboty proletnykh stroenii mostov so skvoznoi stenкой [Towards the dynamic behavior of truss bridge spans]. *Vestnik of Tomsk State University of Architecture and Building*. 2015. Pp. 194–201. (rus)
20. Zhao Jian, Belutskiy I.Yu., Yatsura V.G. Otrazhenie vozdeistviya vremennoi nagruzki v dinamicheskom koeffitsiente pri raschete avtodorozhnykh mostov [Impact reflection of temporary load in dynamic coefficient in road bridge analysis]. *Uchenye zametki TOGU*. 2013. V. 4. No. 4 Pp. 1657–1661. (rus)

**Сведения об авторах**

*Картопольцев Андрей Владимирович*, канд. техн. наук, доцент, ООО «ДИАМОС», 634003, г. Томск, пер. Соляной, 24/1, [diamos@mail.ru](mailto:diamos@mail.ru)

*Картопольцев Владимир Михайлович*, докт. техн. наук, профессор, ООО «ДИАМОС», 634003, г. Томск, пер. Соляной, 24/1, [diamos@mail.ru](mailto:diamos@mail.ru)

*Кухаренко Светлана Александровна*, ст. преподаватель, Томский государственный архитектурно-строительный университет, 634003, г. Томск, пл. Соляная, 2, [kaf\\_most@mail.ru](mailto:kaf_most@mail.ru)

**Authors Details**

*Andrei V. Kartopoltsev*, PhD, A/Professor, ООО "DIAMOS", 24/1, Solyanoy Alley, 634003, Tomsk, Russia, [diamos@mail.ru](mailto:diamos@mail.ru)

*Vladimir M. Kartopoltsev*, DSc, Professor, ООО "DIAMOS", 24/1, Solyanoy Alley, 634003, Tomsk, Russia, [diamos@mail.ru](mailto:diamos@mail.ru)

*Svetlana A. Kukhachenko*, Senior Lecturer, Tomsk State University of Architecture and Building, 2, Solyanaya Sq., 634003, Tomsk, Russia, [kaf\\_most@mail.ru](mailto:kaf_most@mail.ru)