

Томский государственный
архитектурно-строительный университет

ТОМСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНОГО
УНИВЕРСИТЕТА

№ 5 2021
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

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

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

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

К СВЕДЕНИЮ АВТОРОВ И ЧИТАТЕЛЕЙ

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

Решение Президиума Высшей аттестационной комиссии Минобрнауки России от 17.06.2011 г.

Электронные версии журнала «Вестник ТГАСУ» представлены на сайтах «Научная электронная библиотека»: www.elibrary.ru; «Российская книжная палата»: <https://online.bookchamber.ru/book/ru/>; «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, а также на сайте «Вестник ТГАСУ»: <https://vestnik.tsuab.ru>

Научное издание

ВЕСТНИК ТГАСУ № 5 – 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 22.10.2021. Формат 70×108/16. Гарнитура Таймс. Дата выхода: 28.10.2021.
Уч.-изд. л. 11,05. Усл. печ. л. 13,13. Тираж 200 экз. Цена: свободная.
Зак. № 106.

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

16+

© 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

№ 5 2021
SCIENTIFIC AND TECHNICAL JOURNAL

Published since April 1999

This image shows a full page of blank, lined paper. It features approximately 20 evenly spaced horizontal black lines across its entire width, providing a template for writing or drawing. The margins are consistent on all sides.

EDITORIAL STAFF

Lyakhovich L.S., DSc, Professor, RAACS Academician, Chief Editor, Head of Structural Mechanics Dept., TSUAB; lls@tsuab.ru, Tomsk, Russia
Akimov P.A., DSc, Professor, RAACS Academician, RAACS Chief Academic Secretary; pavel.akimov@gmail.com, Moscow, Russia
Belostotskii A.M., DSc, Professor, RAACS Corresponding Member, Director General Research Center StaDiO; 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, Moscow, Russia
Chernyshov E.M., DSc, Professor, RAACS Academician, Chairman of the Presidium of RAACS Central Regional Branch; chem@vgasu.vrn.ru, Voronezh, Russia
Chiaia B., PhD, Professor, Politecnico di Torino (Polytechnic University of Turin); 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, Novosibirsk, Russia
Dzyubo V.V., DSc, Professor, Department of Water Supply and Sewage Systems, TSUAB; 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, Tomsk, Russia
Efimenko S.V., DSc, Dean of Road Engineering and Construction Faculty, TSUAB; 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, Moscow, Russia
Girardot M.C., DSc, Professor, Engineering Dept., International Telematic University UNINETTUNO; g.cennamo@uninettunouniversity.net, Roma, Italy
Gnyrya A.I., DSc, Professor, RAACS Adviser, Head of Construction Engineering Technology Dept., TSUAB; tsp_1gasu@mail.ru, Tomsk, Russia
Il'ichev V.A., DSc, Professor, RAACS Academician, RAACS Vice President; ilyichev@raasn.ru, Moscow, Russia
Inzhutov I.S., DSc, Professor, Director School of Engineering and Construction, SibFU; linzhutov@sfu-kras.ru, Krasnoyarsk, Russia
Kopanitsa N.O., DSc, Professor, Building Materials and Technologies Dept., TSUAB; 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, Haifa, Israel
Kudryakov A.I., DSc, Professor; RAACS Adviser, Head of Construction Engineering Technology Dept., TSUAB (Tomsk, Russia); kudryakov@tsuab.ru
Kuspyak O.G., DSc, Professor; RAACS Adviser, Head of Reinforced Concrete and Masonry Structures Dept., TSUAB; kumpyak@yandex.ru, Tomsk, Russia
Lezhava I.G., DSc, Professor, RAACS Academician, RAACS Vice President, Moscow Architectural Institute (State Academy); lezhavailia@gmail.com, Moscow, Russia
Morozov V.I., DSc, Professor, RAACS Corresponding Member, Head of Engineering Constructions Dept., SPSUACE; morozov@spbgasu.ru, St-Petersburg, Russia
Ovsyannikov S.N., DSc, Professor, Head of Architecture of Civil and Industrial Buildings Dept., TSUAB; ovssn@tsuab.ru, Tomsk, Russia
Plachidi L.L., DSc, A/Professor, Engineering Dept., International Telematic University UNINETTUNO; 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, Tomsk, Russia
Pustovetov G.I., DSc, Professor, RAACS Correspondent Member, Adviser Novosibirsk State University of Architecture, Design and Fine Arts; 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, Novosibirsk, Russia
Shubin I.L., DSc, RAACS Corresponding Member, Director Structural Physics Research Institute, RAACS; niisf@niisf.ru, Moscow, Russia
Tsvetkov N.A., DSc, Professor, Head of Heat and Gas Supply Dept., TSUAB; nac@tsuab.ru, Tomsk, Russia
Travush V.I., DSc, Professor, RAACS Vice President, RAACS Academician; travush@mail.ru, Moscow, Russia
Vlasov V.A., DSc, Professor, Rector, TSUAB; rector@tsuab.ru, Tomsk, Russia
Volokitin G.G., DSc, Professor, Head of Applied Mechanics and Materials Science Dept., TSUAB; 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, Novosibirsk, Russia

INFORMATION FOR AUTHORS AND READERS

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

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

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

Scientific Edition

VESTNIK TOMSKOGO GOSUDARSTVENNOGO ARKHITEKTURNO-STROITEL'NOGO UNIVERSITETA
JOURNAL OF CONSTRUCTION AND ARCHITECTURE № 5 – 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: 22.10.2021. Paper size: 70×108/16. Typeface: Times New Roman Issue date: 28.10.2021.
Published sheets: 11,05. Conventional printed sheets: 13,13. Print run: 200 copies Price: free.
Order N 106.

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



© Tomsk State University
of Architecture and Building, 2021

С О Д Е Р Ж А Н И Е

АРХИТЕКТУРА И ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВО

Григорьева Л.М. Особенности проектирования промышленных предприятий для субъектов малого и среднего предпринимательства на примере ЮФО (ЮФУ, г. Ростов-на-Дону).....	9
Исмагилова С.Х., Сивцев А.В., Закирова Ю.А. Градостроительное формирование рекреационно-туристических кластеров в прибрежной зоне р. Лены Республики Саха (Якутия) (КГАСУ, г. Казань, МАРХИ, г. Москва)	23
Гусакова Н.В., Минаев Н.Н., Прокофьева Г.И., Ярлакабов А.А. Разработка базовой и вариативных моделей управления развитием малоэтажного жилищного строительства в России (ТГАСУ, НИ ТГУ, г. Томск)	37
Макиянская П.С., Скуднева М.В. Факторы формирования архитектурно-планировочной структуры домов культуры в г. Новосибирске (НГУАДИ, СО РАН, г. Новосибирск).....	50

СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ, ЗДАНИЯ И СООРУЖЕНИЯ

Бочкарева О.С., Еренчинов С.А., Зимакова Г.А., Каспер Е.А. Структурно-механическая модель бетона с ортотропным армированием спиралевидной фиброй (ТИУ, г. Тюмень)	59
---	----

СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ

Матвиенко О.В., Литвинова А.Е. Исследование установившегося течения высокопарафинистого битумного вяжущего, описываемого моделью Балкли – Гершеля, в цилиндрической трубе (ТГАСУ, НИ ТГУ, г. Томск).....	71
Шеховцов В.В., Скрипникова Н.К., Семеновых М.А., Бакшанский Р.Ю. Плазменный метод получения стеклокристаллических материалов (ТГАСУ, г. Томск).....	86
Горкольева Д.С., Копаница Н.О. Торфовермикулитовые смеси для производства теплоизоляционного гранулированного материала (ТГАСУ, г. Томск).....	93
Кудяков А.И., Стешенко А.Б., Душенин Н.П., Рябцева Н.Е. Теплоизоляционный цементный пенобетон неавтоклавного твердения с золой гидроудаления (ТГАСУ, г. Томск).....	105

Крутилин А.А., Крапчетова Т.В., Инькова Н.А., Пахомова О.К. Использование ферритно-кальциевого шлака в качестве железосодержащего компонента при производстве портландцементного клинкера (Себряковский филиал ВолгГТУ, АО «Себряковцемент», г. Михайловка).....	118
---	-----

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

Картопольцев А.В., Картопольцев В.М., Кухаренко С.А. К вопросу о динамическом коэффициенте (ООО «ДИАМОС», ТГАСУ, г. Томск)	127
Лукашевич В.Н., Лукашевич О.Д., Мокшин Р.И. Преимущества структурообразования дисперсно-армированных органоминеральных смесей (ТГАСУ, г. Томск)	142

C O N T E N T S

ARCHITECTURE AND URBAN PLANNING

Grigor'eva L.M. Architecture of industrial buildings for small and medium business in Southern Federal District (Rostov-on-Don).....	9
Ismagilova S.H., Sivtsev A.V., Zakirova Yu.A. Urban development of recreational and tourist centres in the Lena coastal area (Yakutia) (Kazan, Moscow).....	23
Gusakova N.V., Minaev N.N., Prokof'eva G.I., Yarlakabov A.A. Development of basic and variable models for development control for low-rise housing in Russia (Tomsk).....	37
Makiyanskaya P.S., Skudneva M.V. Architecture and planning factors of houses of culture in Novosibirsk (Novosibirsk)	50

BUILDING AND CONSTRUCTION

Bochkareva O.S., Erenchinov S.A., Zimakova G.A., Kasper E.A. Structural and mechanical model of spiral fiber-reinforced concrete (Tyumen).....	59
---	----

CONSTRUCTION MATERIALS AND PRODUCTS

Matvienko O.V., Litvinova A.E., Firsanov N.S. Stabilized flow rate of high-paraffin asphalt cement in cylindrical pipe (Tomsk).....	71
Shekhovtsov V.V., Skripnikova N.K., Semenovych M.A., Bakshanskii R.Yu. Plasma-assisted production of glass-ceramic materials (Tomsk)	86
Gorkoltseva D.S., Kopanitsa N.O. Peat-vermiculite compositions for granulated material production (Tomsk).....	93
Kudyakov A.I., Steshenko A.B., Dushenin N.P., Ryabtseva N.E. Heat-insulating non-autoclaved lightweight concrete with hydraulic ash removal (Tomsk).....	105

Krutilin A.A., Krapchetova T.V., Inkova N.A., Pakhomova O.K. Calcium-ferritic slag as iron-based component in cement clinker production (Mikhailovka).....	118
---	-----

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

Kartopoltsev A.V., Kartopoltsev V.M., Kukhareno S.A. Towards the dynamic coefficient (Tomsk).....	127
--	-----

Lukashevich V.N., Lukashevich O.D., Mokshin R.I. Structure formation of dispersion hardened organomineral mixtures (Tomsk)	142
---	-----

АРХИТЕКТУРА И ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВО

УДК 725

DOI: 10.31675/1607-1859-2021-23-5-9-22

*Л.М. ГРИГОРЬЕВА,
Южный федеральный университет*

ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ ДЛЯ СУБЪЕКТОВ МАЛОГО И СРЕДНЕГО ПРЕДПРИНИМАТЕЛЬСТВА НА ПРИМЕРЕ ЮФО

В статье указаны наиболее острые проблемы промышленной архитектуры субъектов малого и среднего бизнеса, подтвержденные данными анкетирования специалистов в этой области.

Описан механизм влияния ключевого, на сегодняшний день, временного фактора. Раскрыт принцип мелкомасштабного функционального зонирования. Изложены предлагаемые автором пространственный и временной алгоритмы проектирования предприятий, позволяющие предупредить возникновение данных проблем.

Предложенные алгоритмы дадут возможность существенно повысить эффективность проектных решений промышленных предприятий малого и среднего предпринимательства.

Ключевые слова: промышленная архитектура; архитектура ЮФО; экономические факторы; временной фактор; алгоритм проектирования; методика проектирования; зона развития промышленного предприятия; зонирование; архитектурно-инвестиционная стратегия.

Для цитирования: Григорьева Л.М. Особенности проектирования промышленных предприятий для субъектов малого и среднего предпринимательства на примере ЮФО // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2021. Т. 23. № 5. С. 9–22.

DOI: 10.31675/1607-1859-2021-23-5-9-22

*L.M. GRIGOR'EVA,
Southern Federal University*

ARCHITECTURE OF INDUSTRIAL BUILDINGS FOR SMALL AND MEDIUM BUSINESS IN SOUTHERN FEDERAL DISTRICT

The article identifies the most relevant problems of industrial architecture of small and medium business, confirmed by the survey data obtained by specialists in this field. The influence of the key time factor is described. The principle of small-scale functional zoning is shown. The proposed spatial and time algorithms of the enterprise design allow preventing these problems.

Keywords: industrial architecture; Southern Federal District; architecture; economic factors; time factor; design algorithm; design methodology; industrial enterprise; zoning; investment.

For citation: Grigor'eva L.M. Osobennosti proektirovaniya promyshlennykh predpriyatii dlya sub'ektov malogo i srednego predprinimatel'stva na primere YuFO [Architecture of industrial buildings for small and medium business in Southern Federal District]. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture. 2021. V. 23. No. 5. Pp. 9–22. DOI: 10.31675/1607-1859-2021-23-5-9-22

Актуальные проблемы промышленной архитектуры субъектов малого и среднего предпринимательства в ЮФО

Архитектура производственных зданий для субъектов малого и среднего предпринимательства является активно развивающимся направлением на сегодняшний день, особенно на территории ЮФО [1, 2]. Однако в этой сфере наблюдается значительное количество проблем [3, 4], связанных с конфликтом между потребностями технологического процесса, а также экономической стратегии развития предприятия и архитектурно-пространственным решением и традиционным методом проектирования [5].

Было проведено анкетирование специалистов ЮФО, работающих в сфере промышленной архитектуры, с целью уточнения круга наиболее актуальных проблем. В исследовании приняли участия следующие специалисты: 55 % архитекторов, проектировщиков, 25 % экспертов Главгосэкспертизы России, 20 % представителей собственников промышленных предприятий [6].

Экспертное мнение подтвердило, что заказчики новых промышленных зданий – субъекты малого и среднего бизнеса, располагая ограниченным инвестиционным капиталом, вынуждены выбирать экономичные проектные решения на этапе строительства. А скорость изменения общей социально-экономической ситуации в итоге приводит к скорой модернизации новых промышленных зданий и нередко к изменению части проектной документации еще на стадии проектирования и согласования. Процесс постоянной совместной работы заказчика и проектировщика над архитектурным и инвестиционным проектами предприятия является нормой и продолжается на всех этапах жизненного цикла здания. Однако такой подход к организации работы проектировщика, несмотря на свою обоснованность, еще не устоялся в общественном мнении. Принцип последовательных стадий проектирования и идея существования абсолютного законченного проектного решения являются традиционными.

По результатам исследования наиболее остро стоящими проблемами были названы:

- необходимость модернизации нового или еще недостроенного промышленного здания – так посчитали 42,18 % от общего числа респондентов;
- отсутствие достаточных средств у собственника (застройщика) для воплощения инновационного проектного решения – 37,7 %;
- отсутствие возможности у заказчика использовать новейшие строительные материалы и технологии для создания более энергоэффективных зданий на стадии проектирования и строительства – 20 %;

– моральное устаревание проектной документации промышленного здания еще на стадии проектирования – 11,1 %.

Временной фактор в развитии промышленной архитектуры

На основе результатов анкетирования и всестороннего анализа архитектуры исследуемых объектов сделан вывод о существовании непосредственных связей с выбором того или иного планировочного и конструктивного решения и временным фактором [7, 8]. Чётко прослеживается естественная тенденция развития от подчёркнуто экономичных и функциональных к более дорогостоящим, респектабельным и в то же время более выгодным в эксплуатации архитектурным решениям на всевозможных уровнях [9, 10]. Можно сказать, что жизнь компании, ее естественное развитие воплощается в архитектуре, и это воплощение происходит в рекордно короткие сроки.

Порой реорганизация и модернизация как технологической составляющей, так и материальной ограждающей оболочки становятся постоянно текущим процессом. Фактически в промышленную архитектуру внедряется многократно описанный в теории бизнеса принцип «акулы», которая, чтобы жить, всегда должна оставаться на плаву. Современное производственное предприятие должно постоянно модернизироваться и таким образом оставаться эффективным и выполнять свою основную функциональную задачу [11, 12].

Временной фактор развития архитектуры обусловлен стадией развития предприятия. Многие описанные выше факторы складываются в четкие группы, соответствуя каждому из трех периодов.

1. Функционально-минималистический архитектурный этап в период инвестиционного строительства. На стадии проектирования, строительства и формирования нового предприятия экономичность и принцип «минимальной достаточности» являются господствующими. На этом этапе главенствуют такие из описанных ранее факторов: традиционный уровень энергосбережения, внутригородское размещение, совмещенная градостроительная схема без распределения внутренних потоков и т. д.

2. Развивающийся архитектурный этап в период выхода компании «из нуля». Архитектурная оптимизация на всех уровнях, от планировочного до изменения качества ограждающих конструкций, соответствует стратегии увеличения прибыли. И следующая группа факторов формируется из более сложных и затратных архитектурно-строительных мер, но более направленных на долгосрочную перспективу развития.

3. Этап живой архитектуры в период стабильного развития компании. Для данного этапа характерно повышение комфортности производственной среды, обращение к архитектурной эстетике, а главное – готовность пространства следовать за постоянно изменяющимися потребностями производства.

Временной фактор в архитектуре современного промышленного предприятия становится ключевым, т. к. меняет значимость всех предыдущих факторов в зависимости от этапа жизнедеятельности предприятия. Приоритетность того или иного фактора находится в сложной взаимосвязи со всеми остальными. Непрогнозируемые внешние колебания социально-экономической среды могут привести к необходимости резкой смены инвестиционного курса малого предприятия, а вследствие этого – и к смене задач проектирования.

Концептуальная модель и этапы жизненного цикла промышленного предприятия

При рассмотрении динамики структурных изменений промышленных предприятий важно определить изменяемые и неизменяемые составляющие производственных зданий и сооружений, а также прогнозируемые временные границы этих изменений.

Таким образом, необходимо расчленить структуру промышленного предприятия на функциональные зоны с учётом возможности реорганизации, выявить наиболее эффективные в этих условиях виды блокировки функциональных зон и обозначить этапы жизненного цикла промышленного предприятия (рис. 1).

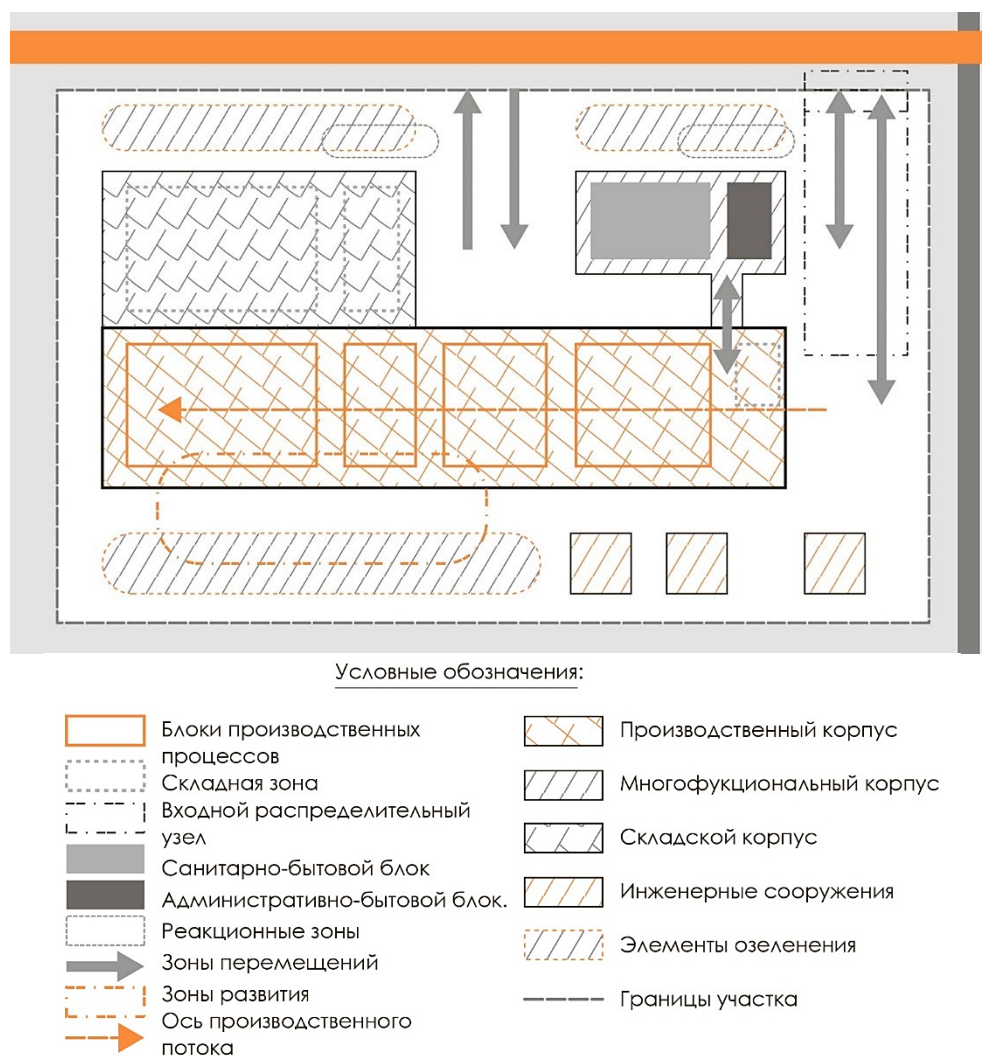


Рис. 1. Сема предприятия с мелкомасштабным зонированием

Функционально-структурные элементы предприятия (рис. 1):

- направление производственного потока (ось производственного потока) – композиционная траектория, последовательно соединяющая все производственные помещения;
- блоки производственных процессов (технологические переделы) могут быть представлены как отдельными цехами, так и отдельными внутрицеховыми зонами;
- входной распределительный узел – помещения контрольно-пропускной группы и зоны начального распределения внутренних потоков (включая зону разгрузки и погрузки при использовании внутризаводского транспорта);
- складская зона представлена отдельно зоной хранения сырья и зоной хранения готовой продукции;
- санитарно-бытовой блок для персонала, занятого на производстве;
- административно-бытовой блок;
- рекреационные зоны – внутризаводские помещения кратковременного отдыха, а также элементы озеленения и благоустройства;
- зоны перемещений – коридоры, галереи и прочие пространственные элементы для организации людских потоков, а также подъездные пути для внутризаводского или обычного транспорта, внутризаводские противопожарные проезды;
- зоны развития – пространства наиболее вероятной реорганизации, а также пространства для размещения строительных материалов и строительной техники в период модернизации.

Оперируя указанными элементами при создании генерального плана предприятия, можно обеспечить пространственные возможности трансформации здания в период модернизации.

Функциональные зоны на предприятиях субъектов малого и среднего бизнеса располагаются часто в пределах одного строительного объема. Для более рационального использования пространства необходимо опираться на более мелкие или сгруппированные элементы, такие как направление (ось) производственного потока, блоки производственных процессов, входной распределительный узел, зоны перемещения и зоны развития.

Данный принцип направлен на изменение восприятия пространства промышленного предприятия и связан с особенностями климатических условий Юга России. Необходимо осуществлять проектирование всего пространства (внешнего и внутреннего) как единого целого. Такие мелкомасштабные и составные зоны, как входной и распределительный узлы, зоны перемещения, зоны развития, располагаются по обе стороны от наружных стен, объединяя внутренние помещения и прилегающие территории.

Этапы жизненного цикла промышленного предприятия

В своем развитии производственное здание проходит цикл последовательных этапов.

Проектирование и строительство. Начальный этап инвестирования, максимальное сокращение сроков которого является одной из постоянных насущных проблем промышленной архитектуры.

Период технологической актуальности. Начинается с момента ввода здания в эксплуатацию и продолжается до тех пор, пока технология не претерпит столь существенных изменений, что войдет в конфликт со своей пространственной оболочкой. В течение XX в. этот срок сменился с 50 до 20 лет. На сегодняшний день можно говорить о периоде в 7–5 лет как о средней технологической актуальности промышленного предприятия.

Модернизация. Становится неизбежным следующим этапом существования предприятия. Затраты на нее напрямую зависят от проектного решения, выбранного на начальном этапе.

В зависимости от внешних экономических факторов, временных рамок и степени их влияния на производственный процесс можно выделить несколько типов модернизации:

- технологическая – связана только с частичным изменением производственного процесса и никак не сказывается на здании или его составляющих;
- инновационная – требует усиления или реорганизации части инженерных коммуникаций для удовлетворения потребностей нового производственного оборудования;
- архитектурная – здание претерпевает незначительные изменения, предусмотренные исходным архитектурно-инвестиционным проектом;
- архитектурно-планировочная – модернизация здания требует новой стадии проектирования и реконструкции.

Эффективность проектного решения промышленного предприятия можно определить в тех временных границах, в которых будет достаточно производить многократные технические, инновационные и архитектурные модернизации здания без необходимости прибегать к этапу нового проектирования. Таким образом, необходимо расчленение процесса модернизации на несколько более мелких значимых этапов.

В современных условиях можно выделить следующие этапы модернизации промышленного предприятия:

1. Выявление проблемы – период, когда предприятие работает на исходной проектной мощности, однако назревает потребность повышения его эффективности. На этом этапе выявляется необходимый тип модернизации, достаточно ли будет технического перевооружения инженерных коммуникаций или потребуются продолжительные строительные работы.

2. Проектирование изменений – эффективность данного периода во многом зависит от наличия исходной проектной документации. На данном этапе также определяются последующие стадии строительных работ:

- подготовительные строительные работы без остановки производственного процесса;
- основные строительные работы, требующие остановки производства;
- основные строительные работы, происходящие параллельно с производственным процессом;
- завершающие работы, выполняемые после запуска обновленной производственной линии;
- определение будущего направления развития – в момент завершения процесса модернизации проектировщик должен определить новый вектор возможного развития предприятия.

Включение плана модернизации в стартовый проект нового промышленного предприятия становится необходимостью, подтверждаемой корреляцией значимых факторов, влияющих на производственное здание на различных этапах его жизненного цикла.

Прогнозирование факторов, определяющих тенденции развития предприятия

В ходе развития предприятия естественным образом возникают конфликты между потребностями производства и его пространственной оболочкой, вызванные изменением значимости факторов, определяющих их архитектуру. Корреляция значимости факторов возникает под воздействием изменений внешней социально-экономической среды, а также в результате перехода предприятия с одного жизненного цикла на другой.

Успешность каждого проекта промышленного предприятия напрямую зависит от его адаптивности, приспособления к изменившейся ситуации – возможности трансформации. Объемно-планировочное решение должно обладать свойством пространственной «гибкости» на гораздо более глубоком новом качестве, поскольку изменчивость среды как на социально-экономическом, так и на градостроительном уровне – на сегодняшний день основное стабильное свойство. Таким образом, общие принципы проектирования опираются не на принадлежность к той или иной функциональной, градостроительной или какой-либо другой схеме, а на тот или иной фактор, являющийся доминирующим на конкретном этапе развития предприятия.

Современный проект промышленного предприятия должен включать в себя возможности для различного развития пространственной структуры предприятия, а также учитывать временной фактор. Вычленив некое основное ядро, проектировщик должен закладывать свойство «изменчивости» в исходный проект здания.

На уровне генерального плана принцип вариантного изменения функций зон развития определяет траектории дополнительных производственных потоков, размер и конфигурацию зон развития, выявляет центры тяготения для расширения или перемещения складской и санитарно-бытовой зон.

Конечной практической задачей является выявление тех конструктивных элементов (наружных, внутренних стен, частей перекрытий и кровли) и частей инженерных коммуникаций (отрезков трубопровода, кабелей, трансформационных узлов), которые подвергнутся модернизации с наибольшей степенью вероятности (будут демонтированы частично или полностью). Части конструкций, которые подвергнутся модернизации с наибольшей вероятностью, следует проектировать заранее к ней приспособленными.

Как процесс экономического планирования, так и процесс формирования промышленного предприятия методом архитектурного проектирования должны быть постоянными и циклическими. Его основная цель – предотвращение кризиса до его возникновения. Его задача – стремиться к тому, чтобы архитектурный конфликт между возможностями промышленного здания и потребностями производства постоянно смещался во времени в неопределенное будущее.

Архитектурно-инвестиционное проектирование – это процесс анализа, направленный на исследование предприятия как пространственной структуры и среды, в которой она функционирует, развивающийся в реальном времени. Результатом данного анализа становится стратегия развития архитектуры предприятия, предотвращающая возникновение конфликта между предприятием и средой. Создание и следование данной стратегии позволит существенно повысить эффективность предприятия и конечную прибыль собственника.

Двухфазная схема архитектурно-строительных инвестиций призвана существенно сократить объем капиталовложений в производство и продлить сроки существования предприятия. При объединении двух этапов жизненного цикла здания – эксплуатации без потребности модернизации и проектной подготовки к ней в будущем – уровень затрат может быть существенно снижен, а изменения в структуре здания носить поэтапный и точечный характер (рис. 2).

Двухфазная стратегия архитектурно-строительных инвестиций



Рис. 2. Сема двухфазной стратегии архитектурно-строительных инвестиций

Модернизация предприятия, подготовленная таким образом, будет носить фрагментарный, адресный характер и потребует значительно меньших затрат на реализацию. Проектная подготовка к модернизации должна проводиться в период стабильной прибыли и быть нацелена на ее поддержание.

На уровне генерального плана этот принцип проектирования для своей реализации нуждается в площадках для хранения строительных материалов и строительного инвентаря в составе зон развития. Таким образом, на этапе первоначального проектирования должно быть предусмотрено специфическое пространство, способное принять со временем отложенные функции по хранению материалов и выполнению строительных работ. Успешная компоновка такого пространства позволит сократить внутренние потоки, избежать реорганизации потоков в период модернизации, что в конечном счете приведет к снижению затрат и увлечению энергоэффективности.

Вариантное изменение функций зон развития позволит сформировать пространства, назначение которых может постоянно меняться. Так, заложенная на этапе первичного проектирования зона развития может иметь в своем составе территорию, на первом этапе заполненную наружным озеленением, в период первой модернизации спустя 3–5 лет – стать вспомогательной строительной площадкой для выполнения работ внутри цехов, в период второй модернизации – частью внутрицехового пространства или частью зоны коммуникации.

Но также данная зона при выборе иной стратегии развития, будучи использована как строительная площадка, может вновь вернуть себе первоначальные функции – рекреационной территории, заполненной элементами озеленения.

Алгоритмы проектирования промышленных предприятий в рамках двухфазной схемы архитектурно-строительных инвестиций. Временной алгоритм

В соответствии с выявленными закономерностями развития современных промышленных предприятий и сформулированными принципами их проектирования предлагаются пространственный и временной алгоритмы проектирования.

Первая фаза: первоначальное проектирование основывается на экономической стратегии, заданной собственником предприятия, и технологической схеме производства, соответствующей профилю деятельности.

1. Постановка цели проектирования – процесс выявления наиболее значимых факторов, определяющих формирование данного предприятия в заданных собственником технологических и экономических условиях.

2. Анализ возможности развития предприятия – выявление наиболее вероятных тенденций технологического развития данного производства и опосредованное определение возможности будущего архитектурного конфликта, а также формулирование проектных мер, создающих возможности для пространственного развития предприятия.

3. Выбор площадки строительства должен учитывать выбранный заказчиком вид градостроительной схемы (совмещенная, удаленная), предусматривать возможность использования климатических особенностей для повышения энергоэффективности будущего здания.

4. Компоновка функциональных зон – непосредственный процесс проектирования промышленного предприятия на основе комбинаторного расположения основных функциональных элементов (оси производственного потока,

технологических участков производства, санитарно-бытовых и складских помещений и т. д.).

5. Создание стратегии пространственного развития – процесс создания пространственных возможностей промышленного здания для эффективной будущей трансформации. Создание стратегии начинается с анализа тенденций возможного развития предприятия, вычленения наиболее вероятных вариантов пространственной реорганизации и наиболее «конфликтных» со сформированным изначально проектным решением.

6. Разработка конструктивного решения современного промышленного предприятия опирается на выявленные зоны развития. Необходимо внедрение в целостную пространственную структуру участков конструкций, способных к легкой трансформации, однако производственное здание в целом должно отвечать всем нормам безопасности, иметь надежный устойчивый каркас и быть энергоэффективным.

Вторая – возобновляемая фаза: архитектурно-инвестиционное проектирование, профессиональное сопровождение функционирования и развития предприятия, необходимое для его успешного существования.

1. Анализ работы предприятия, выявление потенциальных проблем – процесс, осуществляемый в период, последующий за выходом предприятия на проектную мощность, на стадии его успешного существования и создания максимальной прибыли. Как было отмечено ранее, архитектурно-инвестиционная стратегия является естественным продолжением экономической стратегии, она направлена на предотвращение формирования непреодолимого конфликта между структурой производственного здания и технологическим процессом производства. Срок морального устаревания производственного здания должен сдвигаться в неопределенное будущее и соответствовать сроку физического износа капитального строительства.

2. Выявление необходимости, цели и задач модернизации предприятия. Когда технологический тип модернизации исчерпывает себя и возникает необходимость инновационной или архитектурной модернизации, задача архитектора – четко определить цели, задачи и границы архитектурно-строительных изменений.

3. Выбор оптимального проектного решения в период 2-й фазы локализован зонами развития, запроектированными в ходе работы на 1-м этапе, хотя возможно нежелательное расширение границ этих зон. Необходимо выявить наиболее эффективные проектные меры, максимально повышающие эффективность самого предприятия на различных уровнях (энергоэффективности, экологичности, технологичности), но при этом свести пространственную реорганизацию к минимальным действиям, по возможности предотвратить даже кратковременную остановку производственного процесса.

Пространственный алгоритм

Пространственный алгоритм проектирования современного промышленного предприятия соответствует стадиям компоновки функциональных зон временного алгоритма, создания стратегии пространственного развития и разработки конструктивного решения на стадии начального проектирования, а также выявления целей и задач модернизации предприятия, выбора эффективного проектного решения.

Пространственный алгоритм окончательно реализуется в этапах создания рабочей проектной документации. Пространственный алгоритм состоит из разноплановой проектной деятельности.

I. Подготовительный этап – процесс определения технологических потребностей функциональных элементов предприятия. Расчет необходимых площадей и высот помещений на основе габаритов производственного оборудования, потребности в нормируемом количестве санитарно-бытового оборудования, радиусов нормируемых зон безопасности.

II. Этап пространственного проектирования. Пространственный алгоритм в первую очередь опирается на преемственность действий, заложенную в традиционный архитектурный принцип функционального зонирования, состоит из последовательности проектирования следующих элементов предприятия:

1. Ось производственного потока. Первоначальным этапом размещения всех элементов промышленного здания является определение направления, характера движения и протяженности потока основного технологического процесса. По мнению автора, наиболее эффективным решением (если нет технологических ограничений) является задание оси производственного потока либо кругового замкнутого характера, либо перпендикулярно удаляющейся от основной проезжей части таким образом, чтобы обеспечить централизованный или поперечный тип блокировки помещений соответственно.

2. Блоки технологических участков производства формируются на основе технологической схемы, являющейся частью задания на проектирование. Также, как отмечено ранее, технологические участки в масштабе предприятий субъектов малого и среднего бизнеса редко разделены в отдельные строения или цеха. Тем важнее соблюдение норм безопасности технологического процесса средствами проектирования.

3. Охранно-санитарные отступы можно назвать отдельными элементами проекта современного промышленного предприятия, поскольку они влияют на конфигурацию планировок не меньше, чем рассчитанные по нормативам необходимые площади. Соблюдение норм безопасности раздвигает внутренние границы производственных пространств и является конфликтующим условием для экономически обусловленной тенденции к компактности проектных решений. Грамотное использование территорий, сформированных охранно-санитарными условиями, является ключом к созданию энергоэффективных производственных зданий.

4. Санитарно-бытовой блок должен быть размещен таким образом, чтобы исключить влияние зон развития самого производства. Однако номенклатура и площади необходимых помещений должны учитывать возможности размещения дополнительного персонала в будущем.

5. Зоны развития. При их компоновке в составе проекта важно определить оптимальное процентное соотношение внутренних и внешних пространств их составляющих, а также выбрать оптимальное применение для этих пространств в период до прогнозируемой модернизации.

6. Входной распределительный узел является точкой привязки оси производственного потока к внешним транспортным городским сетям. Его грамот-

ное расположение и конфигурация существенно сократят протяженность внутренних потоков.

7. Зоны хранения обладают достаточно высокой вероятностью подвергаться модернизации в первую очередь, поэтому желательно их непосредственное примыкание к зонам развития.

8. Транспортные и людские потоки формируются на основе расположения остальных функциональных элементов, однако несут в себе самостоятельную экономическую значимость, поэтому следует трансформировать или смещать прочие функциональные зоны с целью сокращения внутренних потоков.

9. Элементы озеленения и благоустройства являются самостоятельным необходимым элементом производственной среды, однако могут размещаться в первоначальных зонах развития. Особое значение имеет прямая взаимосвязь элементов озеленения с мерами использования климатических особенностей земельного участка для повышения уровня энергоэффективности промышленного здания.

Данная последовательность размещения функциональных зон является наиболее эффективной, поскольку стремится исключить необходимость возврата с любого этапа проектирования на предыдущий.

III. Проектирование конструкций – это этап определения границ, конфигураций и технических особенностей зданий предприятия в соответствии с запроектированными зонами развития.

Выводы

Применение предложенных алгоритмов может позволить существенно повысить эффективность проектных решений промышленных предприятий малого и среднего предпринимательства и является в своем роде универсальным для различных видов перерабатывающей промышленности.

Применение двухфазной схемы архитектурно-строительных инвестиций существенно повышает эффективность проектного решения и экономичность как производственного здания, так и предприятия в целом.

Однако подобная проектная работа требует расширения профессиональных компетенций промышленного архитектора, изменения его роли от простого исполнителя задач, поставленных заказчиком, к непосредственному создателю стратегии развития предприятия. Ключевым является временной фактор развития архитектуры предприятия, вытекающий из высокой динамики изменений технологической линии. Проектирование современного промышленного предприятия, особенно для субъектов малого и среднего предпринимательства, должно опираться на возможности, предоставляемые новым элементом генерального плана – зоной развития, обеспечивающей пространственную гибкость на качественно новом уровне.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Самойлова М.А., Исаева Е.А., Иванченко Н.Н., Пастухова В.Р., Расташанская С.В., Васильева О.В., Плуталова Т.В., Михайлова С.А., Потапова Е.В. Инвестиционно-строительная деятельность в Ростовской области за 2017 год // Статистический бюллетень. Ростов-на-Дону : Ростовстат, 2019. С. 4.
2. Самойлова М.А., Исаева Е.А., Иванченко Н.Н., Пастухова В.Р., Расташанская С.В., Васильева О.В., Плуталова Т.В., Михайлова С.А., Потапова Е.В. О результатах работы предпри-

- ятий и организаций Ростовской области по промышленным видам деятельности за январь–май 2019 года // Статистический бюллетень. Ростов-на-Дону : Ростостат, 2019. С. 2.
3. *Теблов Р.А.* Тенденции развития промышленности в регионах Южного федерального округа // Экономический вестник Ростовского государственного университета. 2008. № 6. С. 292–296.
 4. *Российская Федерация. Правительство.* Общие вопросы промышленной политики: некоторые важные результаты и показатели 2016 года: Правительственная справка. URL: <http://government.ru/info/27205/> (дата обращения: 07.07.2017).
 5. *Григорьева Л.М., Иевлева О.Т.* Энергоэффективность как формообразующий фактор современной промышленной архитектуры в климатических условиях юга России // Инженерный вестник Дона. 2019. № 1. URL: ivdon.ru/magazine/archive/n1y2019/5740
 6. *Григорьева Л.М., Иевлева О.Т.* Особенности социальных и экономических условий развития промышленности ЮФО, их роль в архитектуре современного производственного здания // Инженерный вестник Дона. 2019. № 6. URL: ivdon.ru/magazine/archive/N6y2019/6064
 7. *Тимофеев А.В.* Принципы формирования архитектуры предприятий пищевой промышленности юга России // *Architecture and Modern Information Technologies*, «Архитектура и современные информационные технологии : международный электронный научно-образовательный журнал. 2014. № 4. URL: <http://srv-lnx-001.marhi.ru/AMIT/2014/4kvart14/timofeev/abstract.php> (дата обращения: 07.07.2017).
 8. *Петров Л.С.* Проектирование производственных зданий с изменяющейся технологией // Промышленное строительство. 1980. № 5. С. 16.
 9. *Кологривова Л.Б., Дробкин Г.М.* Гибкие здания для производств с многократно меняющейся технологией // Промышленное строительство. 1982. № 6. С. 3.
 10. *Hendrickson C.* Project Management for Construction: Pittsburgh // Department of Civil and Environmental Engineering. Carnegie Mellon University, 1998. URL: <http://pmbook.ce.cmu.edu/> (дата обращения: 07.07.2017).
 11. *Osman Attmann.* Green Architecture // Advanced Technologies and Materials. USA, New York : McGraw-Hill Education, 2010.
 12. *Graham Bizley.* Architecture in Detail. USA, Burlington : Architectural Press is an imprint of Elsevier, 2007.

REFERENCES

1. *Samoilova M.A., Isaeva E.A., Ivanchenko N.N., Pastukhova V.R., Rastashanskaya S.V., Vasil'eva O.V., Plutalova T.V., Mikhailova S.A., Potapova E.V.* Investitsionno-stroitel'naya deyatel'nost' v Rostovskoi oblasti za 2017 god [Investment and construction activities in the Rostov region in 2017]. Rostov-on-Don: Rostovstat, 2019. P. 4. (rus)
2. *Samoilova M.A., Isaeva E.A., Ivanchenko N.N., Pastukhova V.R., Rastashanskaya S.V., Vasil'eva O.V., Plutalova T.V., Mikhailova S.A., Potapova E.V.* O rezul'tatakh raboty predpriyatii i organizatsii Rostovskoi oblasti po promyshlennym vidam deyatel'nosti za yanvar'-mai 2019 goda [Outcomes of industrial activities of enterprises and organizations in the Rostov region in January and May 2019]. Rostov-on-Don: Rostovstat, 2019. P. 2. (rus)
3. *Teblor R.A.* Tendentsii razvitiya promyshlennosti v regionakh Yuzhnogo federal'nogo okruga [Trends in industrial development in the Southern Federal District]. *Ekonomicheskii vestnik Rostovskogo gosudarstvennogo universiteta*. 2008. No. 6. Pp. 292–296. (rus)
4. Rossiiskaya Federatsiya. Pravitel'stvo. Obshchie voprosy promyshlennoi politiki: nekotorye vazhnye rezul'taty i pokazateli 2016 goda: Pravitel'stvennaya spravka [General industrial policy issues: Some important results and indicators for 2016. Government Brief]. Available: <http://government.ru/info/27205/> (accessed July 7, 2017). (rus)
5. *Grigor'eva L.M., Ievleva O.T.* Energoeffektivnost' kak formoobrazuyushchii faktor sovremennoi promyshlennoi arkhitektury v klimaticheskikh usloviyakh yuga Rossii [Energy efficiency as a formative factor of modern industrial architecture in climatic conditions in the South of Russia]. *Inzhenernyi vestnik Dona*. 2019. No. 1. Available: ivdon.ru/magazine/archive/n1y2019/5740 (rus)
6. *Grigor'eva L.M., Ievleva O.T.* Osobennosti sotsial'nykh i ekonomicheskikh uslovii razvitiya promyshlennosti YuFO, ikh rol' v arkhitekture sovremennogo proizvodstvennogo zdaniya [So-

- cio-economic conditions of industrial development in the Southern Federal District, their role in modern industrial building architecture]. *Inzhenernyi vestnik Dona*. 2019. No. 6. Available: ivdon.ru/ru/magazine/archive/N6y2019/6064 (rus)
7. *Timofeev A.B.* Printsipy formirovaniya arkhitektury predpriyatii pishchevoi promyshlennosti yuga Rossii [Principles of formation of food industry enterprise architecture in the South of Russia]. *Mezhdunarodnyi elektronnyi nauchno-obrazovatel'nyi zhurnal*. Available: <http://srv-linx-001.marhi.ru/AMIT/2014/4kvart14/timofeev/abstract.php> (accessed July 7, 2017). (rus)
 8. *Petrov L.S.* Proektirovanie proizvodstvennykh zdaniy s izmenyayushcheisya tekhnologiei [Design of industrial buildings with changed technology]. *Promyshlennoe stroitel'stvo*. 1980. No. 5. P. 16. (rus)
 9. *Kologrivova L.B., Drabkin G.M.* Gibkie zdaniya dlya proizvodstv s mnogokratno menyayushcheisya tekhnologiei [Flexible buildings for production facilities with repeatedly changing technology]. *Promyshlennoe stroitel'stvo*. 1982. No. 6. P. 3. (rus)
 10. *Hendrickson Ch.* Project management for construction. Pittsburgh: Department of Civil and Environmental Engineering. Carnegie Mellon University, USA, 1998, 752 p.
 11. *Attmann O.* Green architecture. Advanced technologies and materials. New York: McGraw-Hill Education, USA, 2010.
 12. *Bizley G.* Architecture in detail. Burlington: Architectural Press is an imprint of Elsevier, USA, 2007.

Сведения об авторе

Григорьева Лидия Михайловна, ассистент, Южный федеральный университет, 344006, г. Ростов-на-Дону, ул. Большая Садовая, 105/42, lmgrigoreva@sfedu.ru

Author Details

Lidiya M. Grigor'eva, Assistant Lecturer, Southern Federal University, 105/42, Bol'shaya Sadovaya Str., 344006, Rostov-on-Don, Russia, lmgrigoreva@sfedu.ru

УДК 711.25(911.6)

DOI: 10.31675/1607-1859-2021-23-5-23-36

*С.Х. ИСМАГИЛОВА¹, А.В. СИВЦЕВ², Ю.А. ЗАКИРОВА¹,**¹Казанский государственный архитектурно-строительный университет,**²Московский архитектурный институт (Государственная академия)*

ГРАДОСТРОИТЕЛЬНОЕ ФОРМИРОВАНИЕ РЕКРЕАЦИОННО-ТУРИСТИЧЕСКИХ КЛАСТЕРОВ В ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЕ Р. ЛЕНЫ РЕСПУБЛИКИ САХА (ЯКУТИЯ)

Актуальность исследования обусловлена необходимостью социально-экономического развития и территориального планирования обжитых территорий Крайнего Севера в России. Развитие сферы туризма в Республике Саха (Якутия), создание туристических зон в экстремальных природно-климатических условиях является одним из востребованных направлений. Определение оптимальных зон, подходящих для внешнего и внутреннего туризма, выявление их особенностей, необходимой инфраструктуры требуют комплексного градостроительного исследования. Приречные территории весьма актуальны в связи с наличием перспективных объектов для осуществления туризма и организации рекреационных возможностей, но на данном этапе отсутствуют исследования, которые в перспективном развитии должны быть использованы в создании системы рекреационно-туристических кластеров путем градостроительного освоения прибрежной территории р. Лены.

Цель исследования – выявление характерных особенностей градостроительного развития системы рекреационно-туристических кластеров в прибрежной зоне р. Лены Республики Саха (Якутия), выработка рекомендаций по формированию функционально-пространственной организации рекреационно-туристических кластеров и реализации проектных решений рекреационных центров по выявленным типам кластеров.

Основные результаты исследования состоят в представлении ключевых принципов градостроительного развития рекреационно-туристических кластеров прибрежной территории р. Лены Республики Саха (Якутия), разработке структурно-пространственной модели системы кластеров и проектных предложений по архитектурно-планировочной организации центров рекреационно-туристических кластеров.

Значимость полученных результатов для архитектуры и градостроительства состоит в том, что впервые разработаны градостроительные принципы формирования рекреационно-туристической системы кластеров в прибрежной зоне р. Лены в Республике Саха (Якутия), выявлены приемы архитектурно-планировочных решений центров рекреационно-туристических кластеров на основе ранее опубликованной авторами кластерной типологии с учетом природно-климатической дислокации.

Ключевые слова: рекреация; туризм; кластер; Республика Саха (Якутия); прибрежная зона; р. Лена.

Для цитирования: Исмагилова С.Х., Сивцев А.В., Закирова Ю.А. Градостроительное формирование рекреационно-туристических кластеров в прибрежной зоне р. Лены Республики Саха (Якутия) // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2021. Т. 23. № 5. С. 23–36.
DOI: 10.31675/1607-1859-2021-23-5-23-36

S.H. ISMAGILOVA¹, A.V. SIVTSEV², Yu.A. ZAKIROVA¹,

¹Kazan State University of Architecture and Engineering,

²Moscow Architectural Institute (State Academy)

URBAN DEVELOPMENT OF RECREATIONAL AND TOURIST CENTRES IN THE LENA COASTAL AREA (YAKUTIA)

The paper studies the socio-economic and urban development of inhabited territories of the Far North in Russia. The urban development in Yakutia (Russia) and creation of tourist centres in extreme climatic conditions is currently very popular. The areas suitable for external and internal tourism require the infrastructure and comprehensive urban planning. The aim of this work is to identify the characteristics of the urban development of the recreational and tourist centres in the coastal area of the Lena in Yakutia, give recommendations for functional and spatial organization of such centres and implement the design solutions for the identified center types.

Research findings include the key principles of the urban development in the coastal area of the Lena, the development of its structural and spatial model, and design solutions for the architectural and planning organization of these centres.

The novelty of this work is the first-time development of the urban planning principles for the recreational and tourist centres in the coastal area of the Lena in Yakutia and architectural and planning solutions for the recreation and tourist centers based on the previously studied typology regarding the climatic conditions of this region.

Keywords: recreation; tourism; centre; the Republic of Sakha (Yakutia); coastal area; Lena River.

For citation: Ismagilova S.H., Sivtsev A.V., Zakirova Yu.A. Gradostroitel'noe formirovanie rekreatsionno-turisticheskikh klasterov v pribrezhnoi zone r. Leny Respubliki Sakha (Yakutiya) [Urban development of recreational and tourist centres in the Lena coastal area (Yakutia)]. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture. 2021. V. 23. No. 5. Pp. 23–36.

DOI: 10.31675/1607-1859-2021-23-5-23-36

Введение

Социально-экономический процесс освоения труднодоступного Арктического региона страны включает не только общее развитие территорий с учетом специфики природно-климатических факторов, но и развитие туристической инфраструктуры, существенно отличающейся по характеру организации от регионов с благоприятными природно-климатическими условиями. Актуальность развития данного направления находит подтверждение в государственной поддержке развития отрасли туризма, выраженной в федеральных программах, что способствует развитию и регулированию туристической деятельности¹, а также в разработанных нормативно-правовых документах, предусматривающих стратегические направления развития рекреационно-туристической деятельности для Республики Саха (Якутия)².

¹ Подпрограмма «Туризм» государственной программы Российской Федерации «Экономическое развитие и инновационная экономика» // Федеральное агентство по туризму: [официальный сайт]. URL: <https://tourism.gov.ru/>; Программа доступных путешествий // Федеральное агентство по туризму: [официальный сайт]. URL: <https://tourism.gov.ru/>

² Развитие предпринимательства и туризма в Республике Саха (Якутия) на 2020–2024 годы: государственная программа Республики Саха (Якутия). URL: <https://docs.cntd.ru/document/561697734>

Изучены работы, направленные на анализ проблем и выявление подходов по формированию градостроительных систем Арктического региона [1–3]. Исследования направлены на поиск устойчивых моделей существования северных поселений с учетом специфики региона и выработку градостроительных принципов планировки и застройки поселений Крайнего Севера в современных условиях [4]. В настоящее время вопросы развития туризма в Якутии рассматриваются в отдельных публикациях, посвященных обоснованию предпосылок развития туризма в республике [5, 6], выявлению проблематики, связанной с формированием данного направления [7], вопросам охраны природных и культурных достопримечательностей [8, 9], анализу нематериального культурного наследия и его роли в развитии туризма в регионе [10]. В исследованиях также предлагается решать проблемы развития Арктической территории путем создания зон опережающего развития [11]. Обзор имеющихся теоретических источников свидетельствует об отсутствии достаточного исследовательского и проектного материала, посвященного вопросам градостроительной организации рекреационно-туристической инфраструктуры в Якутии. В связи с возросшим интересом к экстремальному и внутреннему туризму в данном регионе страны, при отсутствии полноценной инфраструктуры обслуживания туристов, очевидна необходимость осуществления исследований для выработки рекомендаций по градостроительной организации рекреационно-туристических объектов и систем с учетом специфики региональных условий Севера.

В республике Саха (Якутия) в качестве наиболее перспективного региона для развития рекреационно-туристической деятельности представляются территории прибрежной зоны р. Лены, обладающие ярко выраженными природно-климатическими, культурно-историческими, этнографическими и прочими условиями. Река протяженностью 4400 км, проходящая через 10 улусов, является основным транспортным коридором, связывающим территории с наибольшей концентрацией объектов, вызывающих туристический спрос.

В работе в качестве основного метода для градостроительной организации рекреационно-туристической системы в прибрежной зоне р. Лены в Якутии было предложено использование кластерного подхода, как одного из наиболее актуальных направлений пространственно-территориального и экономического развития региона [12–14]. Это достаточно широко используемый инструмент в отечественной и зарубежной практике при формировании территориальных образований с выраженным функциональным назначением – медицинским, образовательным, туристическим [15, 16]. Рассмотрены работы, направленные на изучение кластерного подхода при формировании туристско-рекреационной инфраструктуры [17–19].

Объект исследования – выявление особенностей градостроительного формирования системы рекреационно-туристических кластеров в прибрежной зоне р. Лены Республики Якутия. На основе результатов исследования в пределах рассматриваемой зоны было выявлено три улуса, являющихся наиболее перспективными с точки зрения формирования рекреационно-туристических кластеров:

- Хангаласский улус, на основе которого предлагается организация арктического туристического кластера;
- Кобяйский улус, на основе которого предлагается организация этнокультурного кластера;

– Булунский улус, на основе которого предлагается создание природно-туристического кластера.

Река Лена, являющаяся природно-территориальными каркасом, объединяющим огромное географическое пространство для формирования единой рекреационно-туристической системы, обеспечит доступность рекреационно-туристических центров и объектов, а также позволит связать кластеры между собой.

Цель исследования – выработка рекомендаций по градостроительному развитию рекреационно-туристических кластеров в Приленской зоне Якутии и представление проектных решений рекреационно-туристических центров выявленных типов кластеров.

Были поставлены следующие задачи:

1. Представить предложения по формированию функционально-пространственной организации рекреационно-туристических кластеров в пределах трех улусов прибрежной территории р. Лены – Хангаласском, Кобяйском и Булунском.

2. Представить принципы градостроительного развития рекреационно-туристической системы региона и приемы архитектурно-планировочных решений центров рекреационно-туристических кластеров на основе обобщения результатов проектных предложений.

Материалы и методы

Методика исследования построена на системном подходе и включает:

– определение основных принципов градостроительного формирования рекреационно-туристических кластеров в прибрежной зоне р. Лены на основе обобщения результатов комплексного анализа потенциальных условий рассматриваемых территорий;

– структурно-пространственное моделирование системы рекреационно-туристических кластеров и их центров, формируемых в прибрежной зоне р. Лены;

– проектное моделирование по архитектурно-планировочным решениям центров рекреационно-туристических кластеров в Хангаласском, Кобяйском и Булунском улусах.

Информационным и методическим материалом для разработки рекомендаций по градостроительному формированию рекреационно-туристических кластеров в прибрежной зоне р. Лены явились программные документы социально-экономического развития Республики Саха (Якутия)³, анализ которых показал значительный ресурсный потенциал – природно-географический, культурно-этнографический и социально-экономический для дальнейшего развития рекреационно-туристической системы в республике, а также выявил ос-

³ Стратегия социально-экономического развития Республики Саха (Якутия) до 2032 года с целевым видением до 2050 года // Электронный фонд Правовой и нормативно-технической документации: [сайт]. URL: <http://docs.cntd.ru/>; Положение об уникальных озерах Республики Саха (Якутия) республиканского значения // Электронный фонд Правовой и нормативно-технической документации: [сайт]. URL: <http://docs.cntd.ru/>; Об особо охраняемых природных территориях Республики Саха (Якутия): Закон Республики Саха (Якутия) // Электронный фонд Правовой и нормативно-технической документации: [сайт]. URL: <http://docs.cntd.ru/>; Развитие предпринимательства и туризма в Республике Саха (Якутия) на 2020–2024 годы // Электронный фонд Правовой и нормативно-технической документации: [сайт]. URL: <http://docs.cntd.ru/>

новые проблемы, требующие решения, к числу которых относятся: 1) неразвитость внешней и внутренней транспортной инфраструктуры; 2) сезонность туристического потока; 3) отсутствие профессиональных кадров в индустрии; 4) низкий уровень инфраструктурного обслуживания туристов.

Исследование предпосылок градостроительного формирования рекреационно-туристической системы в Якутии позволило предложить формирование модели трех туристических кластеров на основе улусов, расположенных в прибрежной зоне р. Лены:

- арктического туристического кластера в Булунском улусе, находящемся за полярным кругом и отличающемся уникальными природно-ландшафтными условиями, с центром в пгт Тикси. Инфраструктуру туристического обслуживания предлагается формировать на основе совершенствования имеющихся объектов города и использования мобильного фонда;

- этнокультурного кластера в Кобяйском улусе, территории которого обладают разнообразием природных условий и сохраняющимися этническими традициями местного населения. Центр размещения туристов предлагается создать в живописных окрестностях пгт Сангар, являющегося транспортным и административным центром района;

- природно-рекреационного кластера в Хангаласском улусе – лидирующей территории по организации рекреаций и туризма в республике благодаря широкому выбору объектов природного и этнографического туризма, а также размещению здесь столицы Якутии, являющейся главным транспортным узлом и местом средоточия обслуживающих туристических объектов. Инфраструктуру рекреационно-туристического обслуживания предлагается развивать путем создания стационарных туристических баз вблизи достопримечательных природных и этнографических комплексов.

Исследование авторов представлено в статье «Предпосылки градостроительного развития рекреационно-туристических кластеров в Республике Саха (Якутия)» [20].

Результаты

Комплексный анализ территорий, предлагаемых для развития рекреационно-туристических кластеров, произведен с учетом наиболее важных условий, влияющих на их градостроительное решение: природно-климатических, инфраструктуры обслуживания и транспорта, достопримечательностей и уникальных природных объектов.

Оценка инфраструктуры обслуживания показала полное отсутствие или минимальное наличие объектов рекреационно-туристического назначения – гостиниц, туристических баз и центров туризма во всех рассматриваемых улусах. В Хангаласском улусе объекты обслуживающей инфраструктуры сосредоточены главным образом в административном центре в г. Покровске, а имеющиеся достопримечательности, находящиеся в значительном удалении от центра, необходимой обслуживающей инфраструктурой не обеспечены. В административном центре Кобяйского улуса п. Сангар специальной инфраструктуры обслуживания туристов не имеется. В Булунском улусе инфраструктура туристического обслуживания в пгт Тикси также не предусмотрена и требует развития с учетом особых природно-климатических условий.

Оценка транспортного обслуживания показала, что во всех исследуемых улусах отмечается отсутствие дорог и мостов, слабое развитие речного сообщения (отсутствуют причалы и речпорты), а также воздушного сообщения ввиду нехватки полос для малой авиации, отсутствие дорог, подводющих к туристическим объектам. Требуется развитие транспортных связей как внутри каждого из кластеров, так и внешних коммуникаций между туристическими кластерами.

Оценка имеющихся достопримечательностей показала широкий диапазон возможностей для развития туризма в каждом из предлагаемых кластеров, отличающихся уникальными природными, климатическими и культурными особенностями. Наиболее развитым по степени туристического освоения достопримечательных мест является Хангаласский улус с объектом всемирного наследия национальным парком «Ленские столбы», зоопарком «Орто-Дойду», бизонарием и другими природными и национально-культурными объектами. В Кобяйском улусе – природный парк «Усть-Вилуйский», в Булунском – государственный природный заповедник «Усть-Ленский» и скалистые отроги Верхоянского хребта – «Чекуровские щеки».

Обобщение результатов комплексного анализа выявленных типов рекреационно-туристических кластеров прибрежной зоны р. Лены, проведенного с учетом влияния природно-климатических, инфраструктурных, социально-культурных и экономических условий, позволило определить следующие принципы устойчивого градостроительного развития рекреационно-туристической системы региона:

- принцип «связности» (или доступности) заключающийся в развитии системы коммуникаций, обеспечивающей надежные сообщения как внутри отдельных кластеров, так и в «межкластерных» связях путем использования современных и традиционных транспортных средств, приспособленных к местным природным условиям;

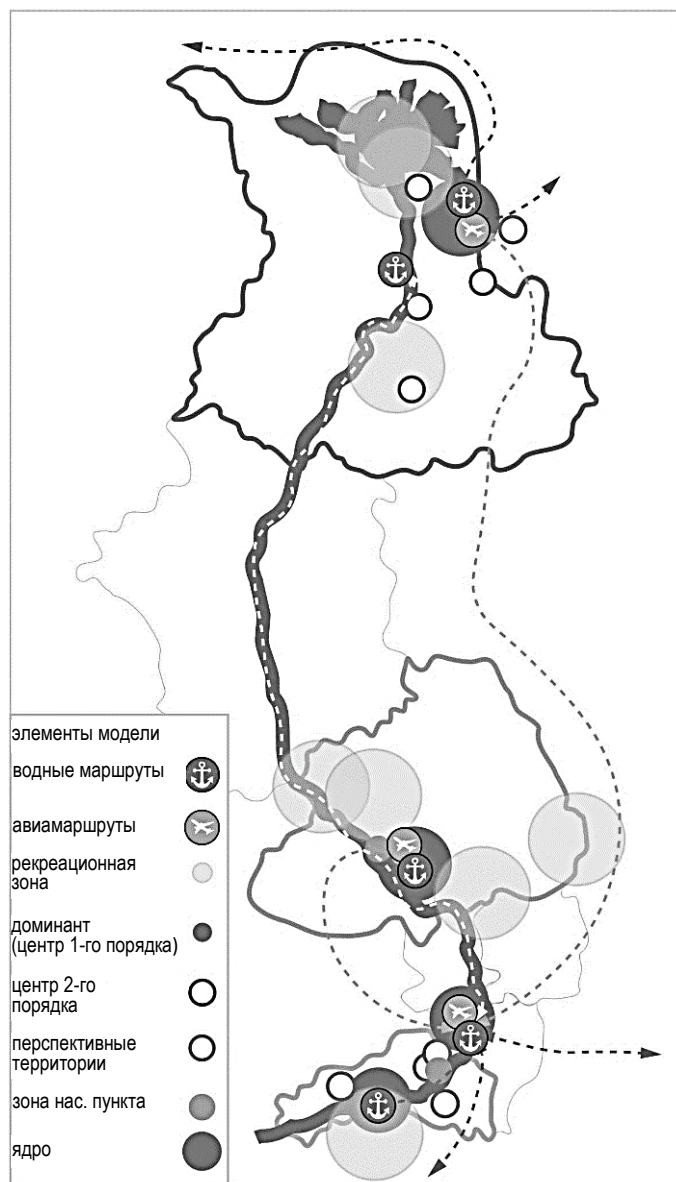
- принцип «гибкости», заключающийся в обеспечении функционально-структурных изменений объектов обслуживающей инфраструктуры туристических кластеров, учитывающей сезонные и климатические колебания туристических потоков;

- принцип «идентичности», заключающейся в сохранении местного национально-культурного своеобразия при реконструкции и новом строительстве туристических объектов;

- принцип «экономической эффективности», заключающийся в обеспечении окупаемости инвестиционных вложений в рекреационно-туристическую отрасль.

Модель структурно-пространственной организации системы кластеров на территории прибрежной зоны р. Лены, показанная на рисунке, разработана на основе результатов комплексного анализа, представляющих направления дальнейшего развития системы. Предлагаемая пространственная организация рекреационно-туристической системы Приленской зоны представляет собой систему кластеров, границы каждого из которых совпадают с границами территорий улусов. Каждый из кластеров формируется как самодостаточная система, состоящая из центрального ядра – главного туристического центра, вторичных узловых элементов, зон активности туристического процесса и связу-

ющих коммуникаций. Основу кластера составляют изначально сложившиеся рекреационно-туристические территории, которые поэтапно развиваются за счет вовлечения новых объектов либо реорганизации имеющихся.



Модель рекреационно-туристического каркаса

Таким образом, предлагаемая модель представляет собой ядерную структуру, имеющую ареальное строение, циркуляция туристического процесса осуществляется несколькими маршрутами, но притяжение потока происходит к месту прибытия и отбытия туристов.

Выделяется основное ядро кластера – доминант либо центр первого порядка, подчиняющий себе центры второго порядка, которые напрямую взаимодействуют с рекреационными зонами и перспективными территориями. Пространственная организация рекреационно-туристической системы представляет собой совокупность туристических центров и туристических маршрутов, учреждений рекреационной сферы, образующих пространственно-организованную структуру для формирования полномасштабного туризма на территории кластеров. Связующим элементом системы кластеров становится р. Лена.

В работе представлены проектные предложения по архитектурно-градостроительной организации центров рекреационно-туристических кластеров.

1. Арктический кластер. Туристический центр Булунского улуса предлагается создать на основе совершенствования имеющейся инфраструктуры обслуживания Тикси – гостиницы, ресторана, достопримечательностей города. Однако в связи с тем, что основные места притяжения туристов: арктические территории, заповедники, море Лаптевых, горные и лесные районы – размещены на значительном удалении и не имеют постоянной дислокации, в качестве основного способа формирования туристических объектов предлагается использовать мобильный фонд. Это передвижные сборно-разборные или контейнерные блоки, которые могут быстро монтироваться в различных природных ситуациях, не нарушая хрупкости экосистемы. Мобильный тип организации туристических центров позволяет варьировать пространственные решения в зависимости от ситуации: местоположения, сезонности и массовости посещений.

2. Этнокультурный кластер. Туристический центр в Кобяйском улусе предлагается создать в окрестностях п. Сангар, являющегося транспортным и административным узлом района, который также сохраняет культурные традиции коренных народов Севера – кочевой образ жизни и основной вид деятельности – оленеводство. Предлагаемый этнотуристический поселок выполнен с учетом эстетических и архитектурно-планировочных традиций народов Севера с использованием традиционных жилищ эвенков и эвенов. Жилая зона состоит из стационарной части – компактного универсального объема, включающего жилые и обслуживающие помещения, и мобильной (временной), представляющей собой национальное жилище местных народов.

3. Природно-рекреационный кластер. Туристический центр в Хангаласком улусе, известный природным памятником – Ленские столбы, представляется стационарным поселением, состоящим из центрального объема, включающего обслуживающие и жилые помещения. Туристическая база отражает философию якутской жизни и соединяет элементы современного и традиционного стиля в жилище и ритуальных зонах. Данный туристический центр, находящийся в центральном улусе Якутии и имеющий относительно короткие связи с Якутском, рассчитан на наиболее стабильный и многочисленный поток туристов.

Проведенная проектно-исследовательская работа позволила выявить следующие приемы по формированию архитектурно-планировочных решений рекреационных центров в рассмотренных улусах:

1. Организация кластеров с учетом взаимодействия системы транспорта, инфраструктуры обслуживания, объектов туризма и достопримечательностей в экстремальных природно-климатических условиях.

2. Отражение в функционально-планировочной структуре центров культурно-бытовых особенностей коренных народов Севера: якутов, эвенков, эвенков, юкагиров – путем создания зон проведения праздничных ритуалов, хозяйственно-бытовых угодий и мест проживания туристов в традиционных типах жилища.

3. Обеспечение рекреационных центров различными видами транспорта, рассчитанными на экстремальные природно-климатические условия и на преодоление различных расстояний в местных природно-географических условиях: малая авиация, снегоходы, олени и собачьи упряжки, средства водного перемещения.

4. Использование архитектурных объектов, способных гибко приспосабливаться к изменяющимся условиям эксплуатации, – мобильных трансформируемых и быстровозводимых сооружений.

5. Обеспечение контекстуального подхода в архитектурно-планировочных решениях рекреационно-туристических центров путем использования элементов национального орнамента, устоявшихся художественных приемов в архитектуре и предметах народного быта и промыслов.

6. Использование традиционной архитектуры, присущей северным народам, с характерными формами и параметрами, ориентацией по странам света, включением в структуру туристических центров специфических функциональных зон и объектов.

Решение основных задач по развитию туристической системы кластеров в Приленской зоне планируется к 2050 г. путем поэтапной реализации комплекса мероприятий последовательного освоения территорий от южного – «природно-рекреационного» кластера к северному – «арктическому». Реализация предусматривает: внесение предложений в стратегический план развития территорий; привлечение инвестиций; реконструкцию и модернизацию существующей транспортной инфраструктуры; создание условий для осуществления строительных проектов.

По времени выполнение работ упорядочено следующим образом:

1-й этап (2020–2030 гг.) – достройка и усовершенствование существующих объектов туристического обслуживания в природно-рекреационном кластере;

2-й этап (2030–2040 гг.) – формирование новых туристических центров и маршрутов в этнокультурном кластере;

3-й этап (2040–2045 гг.) – формирование новых туристических центров и маршрутов в арктическом кластере;

4-й этап (2045–2050 гг.) – завершение строительства объектов туристической индустрии в этнокультурном и арктическом кластерах, формирование доступной и комфортной туристической среды, улучшение транспортной доступности, туристической навигации и благоустройство территорий рядом с объектами показа.

Мероприятия будут направлены на дальнейшую диверсификацию туристических предложений, освоение новых рекреационных зон, а также увеличение отечественных и зарубежных туристических потоков.

Заключение

В работе выявлены основные принципы развития градостроительных систем рекреационно-туристических кластеров, формируемых в прибрежной

зоне р. Лены в Якутии: арктического – в Булунском улусе, этнокультурного – в Кобяйском улусе и природно-рекреационного – в Хангаласском улусе – на основе результатов комплексного анализа потенциала каждого из рассмотренных районов. Это принципы «связности», «гибкости», «идентичности» и «экономической эффективности», реализация которых в трех различных по природно-климатическим, социально-экономическим и инфраструктурным особенностям рекреационно-туристических кластерах будет способствовать устойчивому развитию системы.

Проведенное исследование позволило сформировать универсальную модель пространственной организации системы рекреационно-туристических кластеров и их центров, размещаемых в прибрежной зоне р. Лены, а также представить проектные предложения по архитектурно-градостроительной и функционально-планировочной организации рекреационно-туристических центров на территории арктического, этнокультурного и природно-рекреационного кластеров. Разработанные рекомендации по формированию рекреационно-туристической системы объектов, предлагаемые для Приленской зоны Якутии, могут быть применены в дальнейших исследованиях и градостроительной практике развития туризма в республике.

Основные выводы по работе состоят в следующем:

1. Прибрежная зона р. Лены, являющаяся одним из знаковых природных объектов Якутии, основным транспортным коридором региона, включает районы, где наблюдается основная концентрация туристических объектов. Пространственная организация рекреационно-туристической системы Приленской зоны формируется системой кластеров. Это Булунский, Кобяйский и Хангаласский улусы, на базе которых рекомендуется создание рекреационно-туристических кластеров. Предложена общая модель структурно-пространственной организации системы кластеров на территории прибрежной зоны р. Лены. Каждый природно-туристический кластер включает центральное ядро, зону активности туристического процесса и связующих коммуникаций. Представлены проектные предложения по архитектурно-градостроительной организации центров рекреационно-туристических кластеров в пределах трех улусов прибрежной территории р. Лены: Хангаласском, Кобяйском и Булунском. Арктический кластер (туристический центр Булунского улуса) характеризуется мобильным типом организации, адаптивностью и гибкостью пространственных решений в связи с распределенным расположением мест притяжения туристов. Этнокультурный кластер (туристический центр в Кобяйском улусе) вблизи п. Сангар формируется стационарной частью и мобильной (временной). Природно-рекреационный кластер (туристический центр в Хангаласском улусе) представляется стационарным поселением, состоящим из центрального объема, включающего обслуживающие и жилые помещения.

2. Результаты проведенного исследования природно-климатических особенностей, социально-экономических, культурно-этнографических условий в улусах прибрежной зоны р. Лены позволили определить ключевые принципы градостроительного развития системы рекреационно-туристических кластеров, которые явились основой для разработки модели пространственной организации системы рекреационно-туристических кластеров, формируемых в прибрежной

зоне р. Лены, и их центров: принцип «связности» (или доступности), принцип «гибкости», принцип «идентичности», принцип «экономической эффективности».

3. Проектные предложения, разработанные для трех рекреационно-туристических центров в Булунском улусе, представляющем арктический кластер, в Кобяйском улусе, представляющем этнокультурный кластер, в Хангаласском улусе, представляющем природно-рекреационный кластер, позволили определить общие приемы по формированию архитектурно-планировочных решений центров рекреационно-туристических кластеров, заключающиеся:

- в комплексном решении вопросов организации транспорта, обслуживания, объектов туризма с учетом специфики природно-климатических условий региона;

- учете культурно-бытовых особенностей коренных народов региона при формировании объектов рекреационно-туристического обслуживания;

- использовании гибких функционально-пространственных структур при формировании рекреационно-туристических центров, приспособленных к сезонным колебаниям туристического спроса;

- использовании современных и традиционных транспортных средств для обслуживания туристов, рассчитанных на экстремальные природно-климатические условия;

- учете местных традиций, присущих северным народам, при новом строительстве объектов рекреационно-туристического обслуживания;

- контекстуальности архитектурно-планировочных решений объектов рекреационно-туристической системы.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Благоделева О.М.* Прогнозы градостроительного развития Арктической зоны Республики Саха (Якутия) // *Архитектура и строительство России*. 2017. № 3. С. 5–25.
2. *Комплексные исследования природной среды Арктики и Антарктики* : тезисы докладов Международной научной конференции. г. Санкт-Петербург, 2–4 марта 2020 г. Санкт-Петербург: ГНЦ РФ ААНИИ, 2020. 408 с.
3. *Благоделева О.М.* Теоретические поиски и практика формирования систем расселения северных территорий России // *Академический вестник УралНИИпроект РААСН*. 2017. № 1. С. 23–28.
4. *Шубенков М.В., Благоделева О.М.* В поиске градостроительных принципов развития северных поселений // *Градостроительство*. 2015. № 3 (37). С. 76–81.
5. *Григорьев В.А., Ахметшин А.А.* О предпосылках развития туризма в Республике Саха (Якутия) // *Экономическая эффективность природоохранной деятельности: теория и практика* : материалы 10-й Международной конференции Рос. об-ва экономики. Москва: ЗАО Изд-во «Экономика», 2009. 295 с.
6. *Егоров П.Н., Морова И.А., Полянская Н.Я.* Перспективы развития туристического рынка Республики Саха (Якутия). Санкт-Петербург : Изд-во Санкт-Петербургского университета управления и экономики, 2014. 156 с.
7. *Алексеев В.В.* Некоторые аспекты проблемы развития туризма в Республике Саха (Якутия) // *Российское предпринимательство*. 2008. Т. 9. № 7. С. 146–150.
8. *Толстых О.Н.* Характеристика ООПТ северных территорий на примере Республики Саха и территории Нунавут // *Актуальные проблемы развития туризма*. 2020. С. 374–382.
9. *Наумова Ю.В.* Роль особо охраняемых природных территорий в развитии Арктического пространства РФ // *Глобальные проблемы Арктики и Антарктики*. 2020. С. 525–530.

10. Андреева Е.В., Яковлева К.В. Семиотический подход в формировании туристического дискурса Республики Саха (Якутия) // Человек и культура. 2020. № 6. С. 10–21. DOI: 10.25136/2409-8744.2020.6.34304
11. Рац Г.И., Гаврильева С.А. Опыт создания территорий опережающего развития в Республике Саха (Якутия) // Теория и практика общественного развития. 2018. № 8 (126). С. 70–75. DOI: 10.24158/tipor.2018.8.13
12. Fundeanu D.D. Innovative regional cluster, model of tourism development // Procedia Economics and Finance. 2015. Т. 23. С. 744–749. DOI: 10.1016/S2212-5671(15)00501-8
13. Tourist Clusters, Destinations and Competitiveness: Theoretical issues and empirical evidences // Routledge. / F. Capone (ed.). 2015. 202 p. DOI: org/10.4324/9781315709536
14. Faizova G., Kozhevnikova N., Kashipova G., Zinurova G., Egorova E. Factors of functioning and development of tourist clusters at regional level // European Research Studies. The Role of Clustering in Provision of Economic Growth (Special Issue). 2015. V. XVIII. I. 3. P. 91–102.
15. Veretekhina S.V., Shinkareva O.V., Kozhaev Ju.P., Telepchenkova N.V., Kuznetsova E.A., Zaitseva N.A. Evaluation methodology of the multiplier effect for the region as the result of the cluster formation // Eurasian Journal of Analytical Chemistry. 2017. 12 (Special Issue). P. 533–547. DOI: 10.12973/ejac.2017.00188a
16. Бахарева О.В., Романова А.И. Институты инновационного развития региона. Москва: ООО «Научно-издательский центр ИНФРА-М», 2019. 150 с. DOI: 10.12737/monography_59636d74d4e641.92396576
17. Orlov A.K. Implementation of megaprojects for the creation of tourist clusters in Russia based on the concept of energy efficiency and sustainable construction // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. IOP Publishing. 2017. Т. 90. № 1. 012060. DOI: 10.1088/1755-1315/90/1/012060
18. Fetisova O.V., Kurchenkov V.V. The mechanism of implementing the strategy of development of regional tourist and recreational clusters // Perspectives on the use of New Information and Communication Technology (ICT) in the Modern Economy. Springer, Cham. 2017. С. 810–816. DOI: 10.1007/978-3-319-90835-9-93
19. Zhilenko V.Y. et al. Conceptual foundation for the development of tourist clusters in Russia // International Journal of Economic Perspectives. 2017. Т. 11. № 3.
20. Сивцев А.В., Исмаилова С.Х., Закирова Ю.А. Предпосылки градостроительного развития рекреационно-туристических кластеров в Республике Саха (Якутия) // Известия КГАСУ. 2021. № 1 (55). С. 96–108. DOI: 10.52409/20731523_2021_1_96

REFERENCES

1. Blagodeteleva O.M. Prognozy gradostroitel'nogo razvitiya Arkticheskoy zony Respubliki Saha (Yakutiya) [Urban development forecasts of Sakha Arctic zone]. *Arkhitektura i stroitel'stvo Rossii*. 2017. No. 3. Pp. 5–25. (rus)
2. Kompleksnye issledovaniya prirodnoi sredy Arktiki i Antarktiki: tezisy dokladov Mezhdunarodnoi nauchnoi konferentsii (Proc. Int. Sci. Conf. 'Comprehensive Research of Natural Conditions of the Arctic and the Antarctic'). Saint-Petersburg, March 2–4, 2020. 408 p. (rus)
3. Blagodeteleva O.M. Teoreticheskie poiski i praktika formirovaniya sistem rasseleniya severnykh territorij Rossii [Theoretical search and practice of the formation settlement in the territory of Russian North]. *Akademicheskij vestnik UralNIIProekt RAASN*. 2017. No. 1. Pp. 23–28. (rus)
4. Shubenkov M.V., Blagodeteleva O.M. V poiske gradostroitel'nykh principov razvitiya severnykh poselenij [Urban planning principles of northern settlement development]. *Gradostroitel'stvo*. 2015. No. 3 (37). Pp. 76–81. (rus)
5. Grigorev V.A., Akhmetshin A.A. O predposylkah razvitiya turizma v Respublike Saha (Yakutiya) [Prerequisites for the development of tourism in the Republic of Sakha (Yakutia)]. In: *Ekonomicheskaya effektivnost' prirodoohrannoj deyatel'nosti: teoriya i praktika: Materialy 10-j Mezhdunarodnoj konferencii Rossijskogo obshchestva ekonomiki (Proc. Int. Sci. Conf. 'Economic Efficiency of Environmental Protection Activities')*. Moscow: Ekonomika. 2009. 295 p. (rus)
6. Egorov P.N., Morova I.A., Polyanskaya N.Ya. Perspektivy razvitiya turisticheskogo rynka Respubliki Saha (Yakutia) [Prospects for the development of tourist market in the Republic of Sakha (Yakutia)]. Saint-Petersburg: University of Management and Economics, 2014. 156 p. (rus)

7. Alekseev V.V. Nekotorye aspekty problem razvitiya turizma v Respublike Sakha (Yakutiya) [Some aspects of tourism development in the Republic of Sakha (Yakutia)]. *Rossiyskoe predprinimatel'stvo*. 2008. V. 9. No.7. Pp. 146–150. (rus)
8. Tolstykh O.N. Kharakteristika OOPT severnykh territorij na primere Respubliki Saha i territorii Nunavut [Characteristics of protected areas of Northern territories (Sakha) and the Nunavut territory]. *Aktual'nye problemy razvitiya turizma*. 2020. Pp. 374–382. (rus)
9. Naumova Y.V. Rol' osobo ohranyaemykh prirodnykh territorij v razvitii Arkticheskogo prostranstva RF [The role of specially protected natural areas in the Arctic territories belonging to the Russian Federation]. *Global'nye problemy Arktiki i Antarktiki*. 2020. Pp. 525–530. (rus)
10. Andreeva E.V., Yakovleva K.V. Semioticheskiy podhod v formirovanii turisticheskogo diskursa Respubliki Saha (Yakutiya) [Semiotic approach to the tourist discourse of the Republic of Sakha (Yakutia)]. *Chelovek i kul'tura*. No. 6. 2020. Pp. 10–21. DOI: 10.25136/2409-8744.2020.6.34304 (rus)
11. Rats G.I., Gavrilyeva S.A. Opyt sozdaniya territorii operezhayushchego razvitiya v Respublike Saha (Yakutiya) [Creation of priority development areas in the Republic of Sakha (Yakutia)]. *Teoriya i praktika obshchestvennogo razvitiya*. 2018. No. 8 (126). Pp. 70–75. DOI: 10.24158/tipor.2018.8.13
12. Fundeanu D.D. Innovative regional cluster, model of tourism development. *Procedia Economics and Finance*. 2015. V. 23. Pp. 744–749. DOI: 10.1016/S2212-5671(15)00501-8
13. Capone F. (Ed.). Tourist clusters, destinations and competitiveness: Theoretical issues and empirical evidences. Routledge, 2015. 202 p. DOI: org/10.4324/9781315709536
14. Faizova G., Kozhevnikova N., Kashipova G., Zinurova G., Egorova E. Factors of functioning and development of tourist clusters at regional level. *European Research Studies*. 2015. V. XVIII. No. 3. Special issue on the Role of Clustering in Provision of Economic Growth. Pp. 91–102.
15. Veretekhina S.V., Shinkareva O.V., Kozhaev Ju. P., Telepchenkova N.V., Kuznetsova E.A., Zaitseva N.A. Evaluation methodology of the multiplier effect for the region as the result of the cluster formation. *Eurasian Journal of Analytical Chemistry*. 2017. 12. Pp. 533–547. DOI: 10.12973/ejac.2017.00188a
16. Bakhareva O., Romanova A. Instituty innovatsionnogo razvitiya regiona [Institutes of regional innovative development]. Moscow: INFRA-M, 2019. 150 p. DOI: 10.12737/monography_59636d74d4e641.92396576 (rus)
17. Orlov A.K. Implementation of megaprojects for the creation of tourist clusters in Russia based on the concept of energy efficiency and sustainable construction. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2017. V. 90. No. 1. 012060. DOI: 10.1088/1755-1315/90/1/012060
18. Fetisova O.V., Kurchenkov V.V. The mechanism of implementing the strategy of development of regional tourist and recreational clusters. Perspectives on the use of New Information and Communication Technology in the Modern Economy. Cham: Springer, 2017. Pp. 810–816. DOI: 10.1007 / 978-3-319-90835-9-93
19. Zhilenko V.Y., et al. Conceptual foundation for the development of tourist clusters in Russia. *International Journal of Economic Perspectives*. 2017. V. 11. No. 3.
20. Sivcev A.V., Ismagilova S.H., Zakirova Y.A. Predposylki gradostroitel'nogo razvitiya rekreacionno-turisticheskikh klasterov v Respublike Saha (Yakutiya) [Prerequisites for the development of recreational and tourist clusters in the Republic of Sakha (Yakutia)]. *Izvestiya KGASU*. 2021. No. 1 (55). Pp. 96–108. DOI: 10.52409/20731523_2021_1_96 (rus)

Сведения об авторах

Исмагилова Светлана Харисовна, канд. архитектуры, доцент, Казанский государственный архитектурно-строительный университет, 420043, г. Казань, ул. Зелёная, 1, s2368600@yandex.ru

Сивцев Александр Васильевич, аспирант, Московский архитектурный институт (государственная академия), 107031, г. Москва, ул. Рождественка, 11/4, к. 1, стр. 4, sivtsev_av@mail.ru

Закирова Юлия Александровна, канд. архитектуры, доцент, Казанский государственный архитектурно-строительный университет, 420043, г. Казань, ул. Зелёная, 1, jzakirova@gmail.com

Authors Details

Svetlana Kh. Ismagilova, PhD, A/Professor, Kazan State University of Architecture and Engineering, 1, Zelenaya Str., 420043 Kazan, Tatarstan, Russia, s2368600@yandex.ru

Aleksandr V. Sivtsev, Research Assistant, Moscow Architectural Institute (State Academy), 11, Rozhdestvenka Str., 107031, Moscow, Russia, sivtsev_av@mail.ru

Yulia A. Zakirova, PhD, A/Professor, Kazan State University of Architecture and Engineering, 1, Zelenaya Str., 420043 Kazan, Tatarstan, Russia, jzakirova@gmail.com

УДК 332.82

DOI: 10.31675/1607-1859-2021-23-5-37-49

Н.В. ГУСАКОВА¹, Н.Н. МИНАЕВ²,
Г.И. ПРОКОФЬЕВА¹, А.А. ЯРЛАКАБОВ¹,

¹Томский государственный архитектурно-строительный университет,

²Национальный исследовательский

Томский государственный университет

РАЗРАБОТКА БАЗОВОЙ И ВАРИАТИВНЫХ МОДЕЛЕЙ УПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЕМ МАЛОЭТАЖНОГО ЖИЛИЩНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА В РОССИИ

Проведено исследование по разработке эффективной управленческой модели развития малоэтажного жилищного строительства, целью которого является разработка базовой и вариативных моделей управления развитием малоэтажного жилищного строительства для решения ключевых социально-экономических задач развития территорий. Данные разработки могут быть применены при реализации региональных программ развития малоэтажного жилищного строительства на различных типах территорий для социально значимых категорий граждан. Разработанные региональные модели малоэтажного жилищного строительства соответствуют требованиям современной комфортной среды проживания: энергоэффективности, комфорта и безопасности, экономической целесообразности. Разработанные модели управления развитием малоэтажного жилищного строительства как составные элементы организационно-экономического механизма на удаленных территориях особых климатических режимов для социально значимых категорий граждан могут стать основой для реализации новых региональных программ развития малоэтажного жилищного строительства, направленных на обеспечение интенсификации освоения перспективных территорий комплексной застройки и приоритетов социально-экономического развития регионов. Данные модели позволяют обеспечить недорогим, комфортным и энергоэффективным жильем на удаленных территориях с неблагоприятными климатическими условиями категории граждан, занятых в социально значимых отраслях.

Ключевые слова: управленческая модель развития малоэтажного жилищного строительства; уровень социально-экономического развития; региональные программы развития; социально значимые категории граждан; малоэтажное строительство; базовые и вариативные управленческие модели.

Для цитирования: 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. DOI: 10.31675/1607-1859-2021-23-5-37-49

N.V. GUSAKOVA¹, N.N. MINAEV²,
G.I. PROKOF'EVA¹, A.A. YARLAKABOV¹,

¹Tomsk State University of Architecture and Building,

²National Research Tomsk State University

DEVELOPMENT OF BASIC AND VARIABLE MODELS FOR DEVELOPMENT CONTROL FOR LOW-RISE HOUSING IN RUSSIA

The paper is devoted to the development of the effective management model for low-rise housing construction. **Purpose:** The aim of this work is to develop basic and variable models

for development control for low-rise housing to solve the socio-economic problems in Russia. **Novelty:** The proposed models for development control for low-rise housing as a constituent element of the organizational and economic mechanism in remote areas of Russia underlie the implementation of new regional programs for the development of low-rise housing aimed at the intensive socio-economic development of the regions. **Application fields:** The implementation of regional development programs of low-rise housing in various territories for socially significant categories of citizens. **Research implications:** The proposed models will provide inexpensive, comfortable, and energy efficient housing in remote areas with unfavorable climatic conditions for citizens employed in socially significant industries. The developed regional models of low-rise housing meet the requirements for living in energy efficient, comfortable, and economically feasible environment.

Keywords: management model; low-rise housing; socio-economic development; regional development programs; socially significant citizens; basic and variable models.

For citation: 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.

DOI: 10.31675/1607-1859-2021-23-5-37-49

Введение

Важность решения жилищной проблемы обосновывается и подтверждается совокупностью федеральных и территориальных документов стратегического отраслевого планирования, принятых за последние годы, где главным принципом является «ориентированность на гражданина, повышение его удовлетворенности условиями жизни и деятельности» [1, 2].

Реализуемые проекты комплексного освоения и развития территорий для массового малоэтажного строительства предусматривают согласованное развитие жилищного строительства и необходимой инженерной, социальной и дорожной инфраструктур с учетом прогнозов по размещению новых производств и созданию новых рабочих мест. Они направлены на формирование комфортной среды для населения, благоустройство мест пребывания детей, повышение безопасности и создание условий для реализации культурной и досуговой деятельности населения [3, 4].

Отдельно следует отметить, что малоэтажное строительство в последние годы развивается быстрыми темпами, но в то же время это происходит стихийно, нет системности. Необходимо показать, какие инструменты финансирования, организационные механизмы могут упорядочить этот процесс.

В связи с этим необходима разработка эффективной управленческой модели развития малоэтажного жилищного строительства, нацеленной на решение важной социально-экономической задачи – обеспечения недорогим, комфортным и энергоэффективным жильем. Особую актуальность данной проблеме придает глубокий дефицит такого жилья на удаленных территориях с неблагоприятными климатическими условиями для категорий граждан, занятых в социально значимых отраслях (образование, здравоохранение, культура и т. д.) [5].

В целях решения обозначенной задачи был разработан алгоритм формирования региональных программ развития малоэтажного жилищного строи-

тельства, включающий в себя выделение субъектно-объектных связей, порядок и логику построения региональных программ [6].

В настоящее время существует проблема – отсутствие кадрового потенциала для социально значимых отраслей. В малых городах и поселениях эта проблема стоит наиболее остро и нарастает с каждым годом. Реализация алгоритма разработки региональной программы развития малоэтажного жилищного строительства становится жизнеспособной, когда на основе базовой модели предложены вариативные модели реализации программ развития малоэтажного жилищного строительства [7].

Для формирования вариативных моделей управления развитием малоэтажного жилищного строительства на удаленных территориях особых климатических режимов необходимо решение следующих задач:

- увеличение занятости населения при одновременном сокращении оттока населения из них;
- создание комфортности проживания;
- стабилизация демографической структуры и создание предпосылок для роста населения [8].

Следовательно, для того чтобы учесть разные особенности территорий и поселений, а также их уровень социально-экономического развития (СЭР), разделим территории на 4 группы поселений (таблица):

- 1) крупное поселение с высоким уровнем СЭР;
- 2) крупное поселение с низким уровнем СЭР;
- 3) малое поселение с высоким уровнем СЭР;
- 4) малое поселение с низким уровнем СЭР.

Поселения в зависимости от уровня СЭР

Наименование	Название поселения	Собственные доходы бюджета, млн руб.	Численность, тыс. чел.	Доходы на человека, тыс. руб.
1. Крупное поселение с высоким уровнем СЭР	Поселок Пангоды (ЯНАО)	468,075	11,140	42,02
2. Крупное поселение с низким уровнем СЭР	Бакcharское сельское поселение (Томская область)	94,240	6,457	14,59
3. Малое поселение с высоким уровнем СЭР	Село Красноселькуп (Тюменская область)	363,119	3,87	93,82
4. Малое поселение с низким уровнем СЭР	Юргинское сельское поселение (Кемеровская область)	12,168	4,543	2,68

Примечание. Таблица составлена Н.В. Гусаковой на основании [9, 10].

Вариативность моделей управления определяется критериями вхождения в ту или иную группу поселения.

Методология

Базовая модель управления развитием малоэтажного жилищного строительства взаимодействия центрального объекта управления и основных субъектов направлена на строительство малоэтажных домов блокированного типа. При реализации малоэтажного инвестиционно-строительного проекта права и обязанности субъектов четко разграничены. Базовая модель представлена на рис. 1 [11].



Рис. 1. Базовая модель управления развитием малоэтажного жилищного строительства (составлено Н.В. Гусаковой)

Центральным объектом управления является малоэтажный дом блокированного типа. Субъектами управления выступают социально значимые и прочие категории граждан, органы государственной власти всех уровней, организации, осуществляющие весь цикл строительства и эксплуатации. Каждый субъект по-своему заинтересован в решении своей задачи, граждане – в получении жилья, органы власти – в решении социально-экономической задачи, организации – в получении выгоды.

Взаимодействие между субъектами социально значимых и прочих категорий граждан и органами государственной власти является предпосылкой для разработки программы развития МС. Для осуществления реализации программы органы власти обеспечивают координацию деятельности по подготовке и реализации программных мероприятий, а также по анализу и рациональному использованию средств федерального и регионального бюджетов [12].

Взаимодействие между органами государственной власти и организациями, осуществляющими весь цикл строительства и эксплуатации, основывается на системе договорных отношений. В результате заключения между застройщиком и органом местного самоуправления договора о развитии застроенной территории в целях строительства жилья экономического класса и выполнения ряда условий такого договора (подготовка документации по планировке, разработка проекта и др.) государственный заказчик утверждает перечни целевых индикаторов и показателей для реализации программных мероприятий [13].

Органы власти и потенциальные арендаторы подписывают договор, регулирующий отношения, связанные с разрешением на временное пользование дома. В рамках заключаемого соглашения арендатор (социально значимые категории граждан) освобождается от платы за содержание квартиры (за исключением оплаты тепла, воды и электричества), но обязуется самостоятельно поддерживать, ремонтировать помещения.

По истечении 5 лет арендаторы имеют право получить блок-секцию в собственность, но с условием обременения (без права продажи). По истечении 10 лет полное право владения переходит собственнику.

Взаимодействие между социально значимыми и прочими категориями граждан и организациями, осуществляющими весь цикл строительства и эксплуатации, основывается на заключении договора на обслуживание.

Во всех вариативных моделях в первую очередь жилье предоставляется социально значимым категориям граждан и категориям граждан по решению местной администрации, затем уже может быть рассмотрена заявка на самостоятельную покупку такого жилья в малоэтажном доме блокированного типа.

Рыночная (вариативная) модель управления: крупное поселение с высоким уровнем СЭР

По просьбе регионального оператора администрация поселения подает заявку на необходимое количество квартир (блок-секций) для обеспечения жильем социально значимых категорий граждан.

Субъекты, желающие стать участниками программы, подают заявку региональному оператору на получение таких квартир (блок-секций). Региональный оператор производит предварительный отбор кандидатов в программу с использованием инновационных картотек или баз данных (если они имеются в наличии), рассматривает представленные заявки от администрации и граждан льготных категорий и отбирает наиболее подходящие из них для проведения конкурсных процедур (рис. 2).

Представленная модель наиболее эффективна в поселениях, имеющих большую численность населения (от 10 до 5 тыс. чел.), и соответствует 1-й группе по уровню СЭР. По уровню СЭР данная модель чаще всего используется в малых городах или крупных районных центрах. Модель управления в данном случае является наиболее децентрализованной, т. к. поселение крупное и имеет высокий уровень СЭР, но и в меньшей степени нуждается в привлечении кадров для социально значимых отраслей (медицина, образование, культура, спорт). В этой модели могут принимать участие все выделенные субъекты базовой управленческой модели. На этих территориях малоэтажный дом блокированного типа предоставляется с предчистовой отделкой [14].

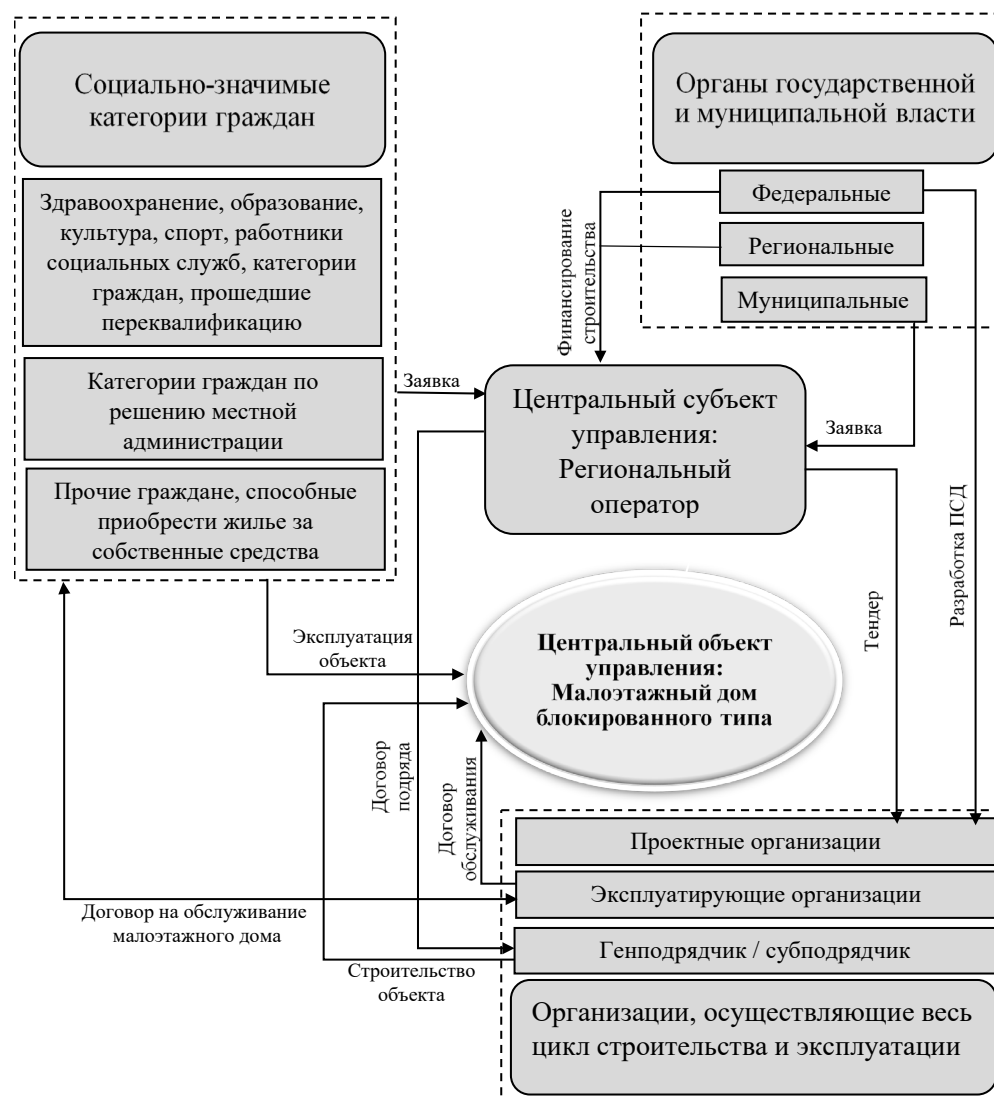


Рис. 2. Рыночная (вариативная) модель управления (составлено Н.В. Гусаковой)

Децентрализованная (вариативная) модель управления: крупное поселение с низким уровнем СЭР

Представленная модель наиболее эффективна в поселениях, имеющих большую численность населения (от 10 до 5 тыс. чел.), и соответствует 2-й группе по уровню СЭР (рис. 3).

По уровню СЭР данная модель чаще всего используется в малых городах или крупных районных центрах. Модель управления в этом случае является менее децентрализованной, т. к. поселение крупное, но с низким уровнем по социально-экономическому развитию. В этой модели могут принимать участие

все выделенные субъекты базовой управленческой модели. На этих территориях малоэтажный дом блокированного типа для льготных категорий граждан предоставляется в чистовой отделке, дополнительной опцией является оплата коммунальных услуг (водоснабжение, электроэнергия, теплоснабжение [15].



Рис. 3. Децентрализованная (вариативная) модель управления (составлено Н.В. Гусаковой)

Централизованная (вариативная) модель управления: малое поселение с высоким уровнем СЭР

Представленная модель наиболее эффективна в поселениях, имеющих небольшую численность населения (до 5 тыс. чел.), и соответствует 3-й группе по уровню СЭР (рис. 4).

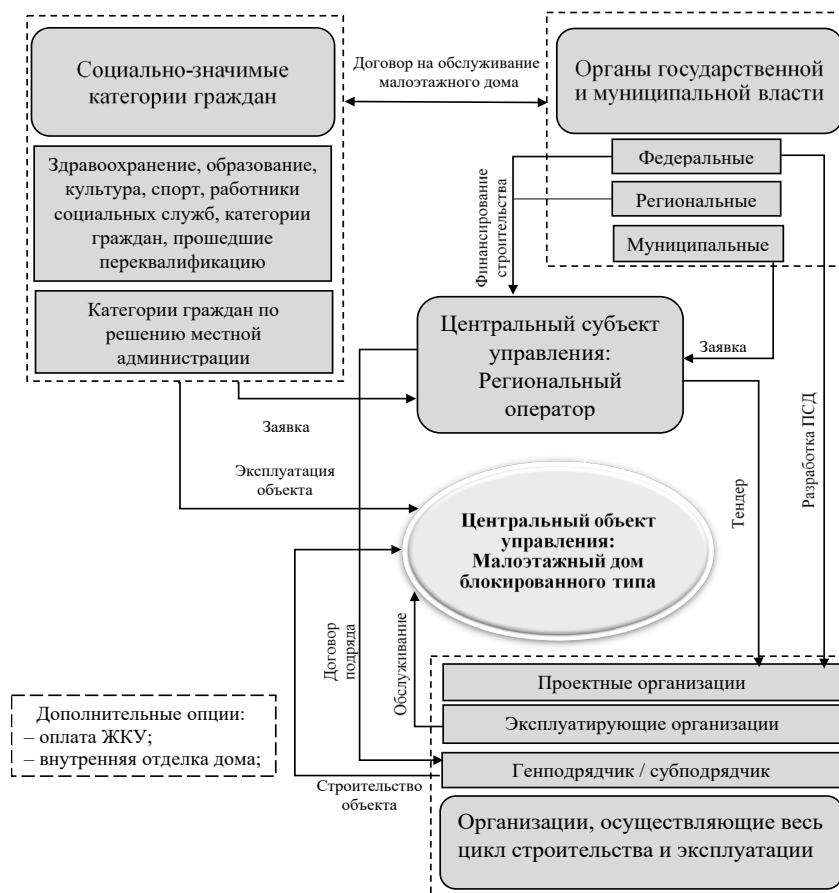


Рис. 4. Централизованная (вариативная) модель управления (составлено Н.В. Гусаковой)

По уровню СЭР данная модель чаще всего используется на удаленных территориях. Модель управления в данном случае является менее централизованной, т. к. поселение малое, но с высоким уровнем СЭР. В этой модели могут принимать участие все выделенные субъекты базовой управленческой модели. На этих территориях малоэтажный дом блокированного типа предоставляется в чистовой отделке.

Социальная (вариативная) модель управления: малое поселение с низким уровнем СЭР

Этот вариант формируемой вариативной модели управления является смешанным, т. к. отражает интегральную комбинацию второго, третьего и четвертого вариантов вариативных моделей управления. Отличительной особенностью этой модели является то, что она предусматривает гибкость в принятии решения в зависимости от особенности территории.

В данной модели предполагается участие только той части субъектов, к которой относятся льготные категории граждан, нуждающиеся в улучшении жилищных условий и работающие в области медицины, образования и культуры.

Представленная модель наиболее эффективна в поселениях, имеющих небольшую численность населения (до 5 тыс. чел.), и соответствует 4-й группе по уровню СЭР.

По уровню СЭР данная модель используется на кризисных удаленных территориях. У населения отсутствует покупательский спрос из-за недостаточности денежных средств. Модель управления в данном случае является наиболее социальной, т. к. поселение отсталое по социально-экономическому развитию и в большей степени нуждается в привлечении кадров для социально значимых отраслей (медицина, образование, культура, спорт). Степень участия государства в этой модели является максимальной и основывается на дополнительных опциях: помимо предоставления жилья, внутренней отделки помещений и оплаты коммунальных услуг, предоставляется возможность использования служебного транспорта (если позволяют условия территории). Экономически оптимальным вариантом является строительство нескольких блоков в одном месте, вариативная модель представлена на рис. 5.

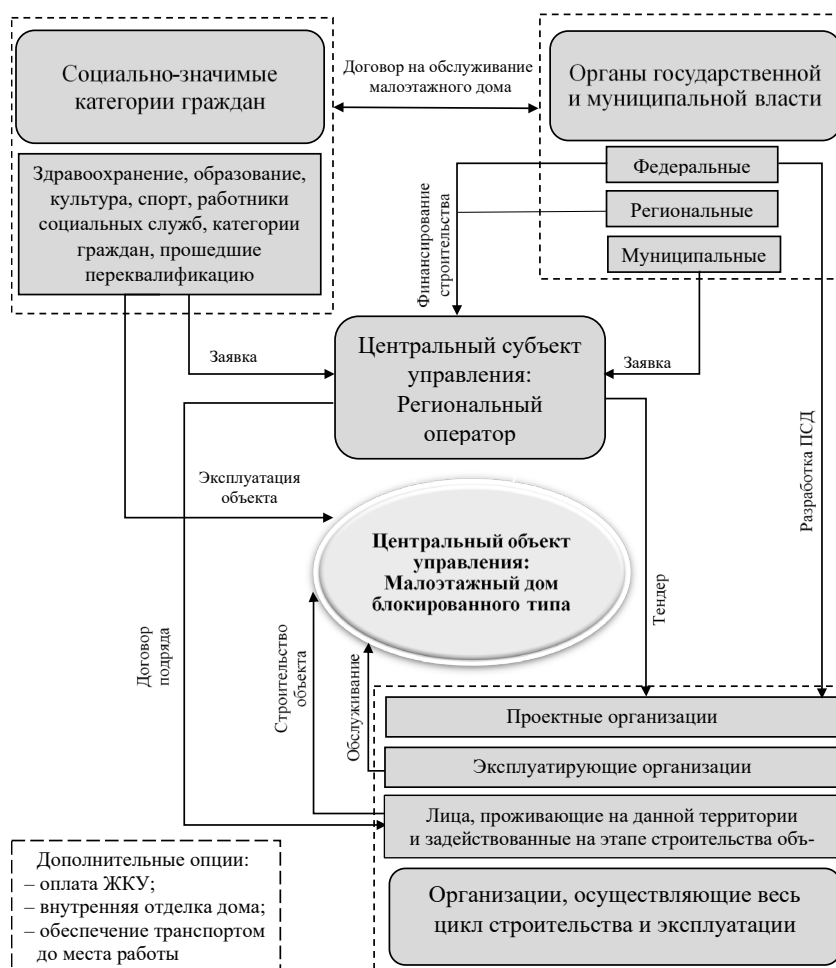


Рис. 5. Социальная (вариативная) модель управления (составлено Н.В. Гусаковой)

В связи с отсутствием точки роста на таких территориях крупным строительным компаниям нецелесообразно заходить в малые поселения, где предполагается строительство объектов. Поэтому эту функцию может взять на себя региональный оператор, имея лицензию на проведение строительно-монтажных работ, все необходимые строительные материалы и малую механизацию, наличие необходимого пакета проектно-сметной документации. Региональный оператор нанимает людей из числа местных жителей для строительства малоэтажных зданий блокированного типа по проекту, разработанному исходя из индикаторов (количество блок-секций, площадь). Таким образом, в предлагаемой модели одновременно решается вопрос как со строительством объектов на данной территории, так и созданием дополнительных рабочих мест [16].

Возможен еще один вариант модели управления, он может быть реализован, когда граждане (независимо от их социального статуса) самостоятельно, за свой счет или заемные средства покупают предлагаемый объект недвижимости. В этой модели органы власти не участвуют, их участие заключается в строительном, экологическом контроле и соблюдении всех правил при строительстве. Граждане напрямую заключают договор со строительными компаниями о строительстве малоэтажного дома блокированного типа. Реализация такой модели возможна в первой и второй группах населения по уровню СЭР [17].

Таким образом, представленные базовая и вариативные модели управления позволят обеспечить социально значимые категории граждан недорогим, комфортным и энергоэффективным жильем на удаленных территориях с неблагоприятными климатическими условиями. Разработка эффективной управленческой модели развития малоэтажного жилищного строительства, нацеленной на решение важной социально-экономической задачи – обеспечение недорогим, комфортным и энергоэффективным жильем, должна иметь комплексный подход. Особую актуальность данной проблеме придает глубокий дефицит такого жилья на удаленных территориях с неблагоприятными климатическими условиями для категорий граждан, занятых в социально значимых отраслях.

Для того чтобы учесть различные особенности и специфику поселений, включающую уровень социально-экономического развития (СЭР), было проведено разделение поселений на 4 группы по критериям размера поселения (крупное, малое), собственных доходов поселения и численности населения. Это позволило разработать 4 вариативные модели.

Анализируя разработанные вариативные модели управления развитием МЖС, можно сделать вывод, что реализация той или иной модели в первую очередь зависит от численности населения и уровня СЭР поселения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Стратегия развития строительной отрасли РФ до 2030 года*. URL: <http://stroystrategy.ru/#docs>
2. *Российская Федерация. Правительство*. Об утверждении государственной программы Российской Федерации «Обеспечение доступным и комфортным жильем и коммунальными услугами граждан Российской Федерации» : Постановление Правительства РФ № 1710 от 30.12.2017 (с изменениями на 26 мая 2021 г.). URL: <https://docs.cntd.ru/document/556184998>

3. Zharova E.A., Minaev N.N., Filushina K.E., Gusakov A.M., Gusakova N.V. Formation of a regional process management model for energy efficiency of low-rise residential construction // *Mediterranean Journal of Social Sciences*. 2015. V. 6. № 3. P. 155–160.
4. Филушина К.Э., Гусакова Н.В., Гусakov А.М., Минаев Н.Н., Добрынина О.И., Ярлакабов А.А. Разработка теоретической модели развития малоэтажного жилищного строительства в России // *Экономика и предпринимательство*. 2017. № 5-1 (82). С. 792–796.
5. Бузырев В.В., Владимиров С.А., Бузырев А.В. Ускорение решения жилищной проблемы в регионах Российской Федерации на основе внедрения инноваций в строительстве // *Жилищное строительство*. 2017. № 10. С. 6–10.
6. Гусакова Н.В. Малоэтажное строительство, как инструмент социально-экономического развития территорий // *Перспективы развития фундаментальных наук : сборник научных трудов XVIII Международной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых*. Томск, 2021. С. 28–30.
7. Казейкин В.С., Баронин С.А., Черных А.Г., Андросов А.Н. Проблемные аспекты развития малоэтажного жилищного строительства России / под общ. ред. В.С. Казейкина, С.А. Баронина. Москва : ИНФРА-М, 2011. 278 с.
8. Никитина Т.И. Прогнозирование уровня устойчивого социально-экономического развития сельских территорий на основе стратегического планирования // *Аграрный Вестник Урала*. 2019. № 10. С. 69–78.
9. Федеральная служба государственной статистики. URL: <https://rosstat.gov.ru>
10. Федеральная служба государственной статистики. URL: http://www.gks.ru/scripts/db_inet2/passport/table.aspx?opt=696084102019
11. Гузикова Л.А., Плотнокова Е.В., Колесников А.М. Оценка эффективности реализации жилищной политики в регионах России // *Экономика и экологический менеджмент*. 2017. № 4. С. 3–15.
12. Прокофьев К.Ю. Механизм реализации государственной жилищной политики на региональном уровне // *Региональная экономика: теория и практика*. 2016. № 3. С. 31–36.
13. Титов С.А., Бирюков А.П. Перспективы реализации проектов и программ реорганизации производственных территорий крупных российских городов // *Фундаментальные исследования*. 2015. № 12-1. С. 202–207.
14. Лысенко А.В. Социально-экономический эффект от реализации инновационных проектов в малоэтажном жилищном строительстве // *Вестник Забайкальского государственного университета*. 2015. № 2 (117). С. 136–142.
15. Швыденко Н.В. Методика оценки социально-экономической эффективности строительства молодежных жилищных комплексов // *Инженерный вестник Дона*. 2010. № 4 (14). С. 170–180.
16. Проваленова Н.В. Формирование методологии исследования социальной инфраструктуры сельских территорий // *Вестник НГИЭИ*. 2020. № 6 (109). С. 129–138.
17. 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. T. 983. С. 174–184.

REFERENCES

1. Strategiya razvitiya stroitel'noy otrasli RF do 2030 goda [Development policy of construction industry of the Russian Federation until 2030]. Available: <http://stroystategy.ru/#docs> (rus)
2. Ob utverzhenii gosudarstvennoy programmy Rossiyskoy Federatsii "Obespecheniye dostupnym i komfortnym zhil'yem i kommunal'nymi uslugami grazhdan Rossiyskoy Federatsii" [Approval of the governmental program of the Russian Federation "Providing citizens of the Russian Federation with affordable and comfortable housing and communal services"]. Postanovleniye Pravitel'stva RF N 1710, 30.12.2017. Available: <https://docs.cntd.ru/document/556184998> (rus)
3. Zharova E.A., Minaev N.N., Filushina K.E., Gusakov A.M., Gusakova N.V. Formation of a regional process management model for energy efficiency of low-rise residential construction. *Mediterranean Journal of Social Sciences*. 2015. V. 6. No. 3. Pp. 155–160.
4. Filyushina K.E., Gusakova N.V., Gusakov A.M., Minaev N.N., Dobrynina O.I., Yarlakabov A.A. Razrabotka teoreticheskoy modeli razvitiya maloetazhnogo zhilishchnogo stroitel'stva v Rossii

- [Development of theoretical model of low-rise housing in Russia]. *Ekonomika i predprinimatel'stvo*. 2017. No. 5-1 (82). Pp. 792–796. (rus)
5. *Buzyrev V.V., Vladimirov S.A., Buzyrev A.V.* Uskoreniye resheniya zhilishchnoy problemy v regionakh Rossiyskoy Federatsii na osnove vnedreniya innovatsiy v stroitel'stve [Accelerating solution of housing problem in regions of the Russian Federation through innovations in construction]. *Zhilishchnoye stroitel'stvo*. 2017. No. 10. Pp. 6–10. (rus)
 6. *Gusakova N.V.* Maloetazhnoye stroitel'stvo, kak instrument sotsial'no-ekonomicheskogo razvitiya territoriy [Low-rise construction as a tool for socio-economic development of territories]. In: *Perspektivy razvitiya fundamental'nykh nauk. Sbornik nauchnykh trudov XVIII Mezhdunarodnoy konferentsii studentov, aspirantov i molodykh uchenykh (Proc. 18th Int. Sci. Conf. of Students and Young Scientists 'Prospects of Fundamental Sciences Development')*. Tomsk, 2021. Pp. 28–30. (rus)
 7. *Kazeykin V.S., Baronin S.A., Chernykh A.G., Androsov A.N.* Problemnyye aspekty razvitiya maloetazhnogo zhilishchnogo stroitel'stva Rossii [Problematic aspects of low-rise housing development in Russia], V.S. Kazeykina and S.A. Baronina, Eds., Moscow: INFRA-M, 2011. 278 p. (rus)
 8. *Nikitina T.I.* Prognozirovaniye urovnya ustoychivogo sotsial'no-ekonomicheskogo razvitiya sel'skikh territoriy na osnove strategicheskogo planirovaniya [Forecasting the level of sustainable socio-economic development of rural areas based on strategic planning]. *Agrarnyy Vestnik Urala*. 2019. No. 10. Pp. 69–78. (rus)
 9. Federal'naya sluzhba gosudarstvennoy statistiki [Federal State Statistics Service]. Available: <https://rosstat.gov.ru> (rus)
 10. Federal'naya sluzhba gosudarstvennoy statistiki [Federal State Statistics Service]. Available: www.gks.ru/scripts/db_inet2/passport/table.aspx?opt=696084102019 (rus)
 11. *Guzikova, L.A., Plotnikova Ye.V., Kolesnikov A.M.* Otsenka effektivnosti realizatsii zhilishchnoy politiki v regionakh Rossii [Effectiveness of housing policy implementation in the regions of Russia]. *Ekonomika i ekologicheskiy menedzhment*. 2017. No. 4. Pp. 3–15. (rus)
 12. *Prokof'yev K.Yu.* Mekhanizm realizatsii gosudarstvennoy zhilishchnoy politiki na regional'nom urovne [Mechanism of implementation of state housing policy at the regional level]. *Regional'naya ekonomika: teoriya i praktika*. 2016. No. 3. Pp. 31–36. (rus)
 13. *Biryukov A.P.* Perspektivy realizatsii proyektov i programm reorganizatsii proizvodstvennykh territoriy krupnykh rossiyskikh gorodov [Prospects for project implementation of reorganization of industrial areas of major Russian cities]. *Fundamental'nyye issledovaniya*. 2015. No. 12-1. Pp. 202–207. (rus)
 14. *Lysenko A.V.* Sotsial'no-ekonomicheskiy effekt ot realizatsii innovatsionnykh proyektov v maloetazhnom zhilishchnom stroitel'stve [Socio-economic effect of innovative projects in low-rise housing]. *Vestnik Zabaykal'skogo gosudarstvennogo universiteta*. 2015. No. 2 (117). Pp. 136–142. (rus)
 15. *Shvydenko N.V.* Metodika otsenki sotsial'no-ekonomicheskoy effektivnosti stroitel'stva molodezhnykh zhilishchnykh kompleksov [Methodology for assessing socio-economic effectiveness of construction of youth housing complexes]. *Inzhenernyy vestnik Dona*. 2010. No. 4 (14). Pp. 170–180. (rus)
 16. *Provalenova N.V.* Formirovaniye metodologii issledovaniya sotsial'noy infrastruktury sel'skikh territoriy [Methodology for studying social infrastructure of rural areas]. *Vestnik NGIEI*. 2020. No. 6 (109). Pp. 129–138. (rus)
 17. *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.

Сведения об авторах

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

Минаев Николай Николаевич, докт. экон. наук, профессор, Национальный исследовательский Томский государственный университет, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 36, nnminaev@mail.ru

Прокофьева Галина Ивановна, ст. преподаватель, Томский государственный архитектурно-строительный университет, 634003, г. Томск, пл. Соляная, 2, pgi7.7.1941@mail.ru

Ярлакабов Абдорбек Абдукахарович, магистрант, Томский государственный архитектурно-строительный университет, 634003, г. Томск, пл. Соляная, 2, Ibm-1@mail.ru

Authors Details

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

Nikolay N. Minaev, DSc, Professor, National Research Tomsk State University, 36, Lenin Ave., 634050, Tomsk, Russia, nnminaev@mail.ru

Galona I. Prokofyeva, Senior Lecturer, Research Assistant, Tomsk State University of Architecture and Building, 2, Solyanaya Sq., 634003, Tomsk, Russia, pgi7.7.1941@mail.ru

Abrorbek A. Yarlakabov, Graduate Student, Tomsk State University of Architecture and Building, 2, Solyanaya Sq., 634003, Tomsk, Russia, Ibm-1@mail.ru

УДК 725.82

DOI: 10.31675/1607-1859-2021-23-5-50-58

*П.С. МАКИЯНСКАЯ¹, М.В. СКУДНЕВА^{1,2},**¹Новосибирский государственный университет
архитектуры, дизайна и искусств имени А.Д. Крячкова,**²Сибирское отделение Российской академии наук*

ФАКТОРЫ ФОРМИРОВАНИЯ АРХИТЕКТУРНО-ПЛАНИРОВОЧНОЙ СТРУКТУРЫ ДОМОВ КУЛЬТУРЫ В Г. НОВОСИБИРСКЕ

Исследование посвящено проблемам формирования современной архитектурно-планировочной структуры домов культуры для людей различных возрастных категорий. Рассмотрены современные культурно-досуговые центры, проанализированы основные подходы в вопросах реновации архитектурно-планировочной структуры отечественных домов культуры, культурно-досуговых центров и кинотеатров, освещены проблемы проектирования в условиях сохранения сложившейся архитектурно-пространственной среды.

Тема исследования достаточно актуальна, т. к. здесь рассматриваются основные факторы формирования архитектурно-планировочной структуры домов культуры, а также проводится анализ социально-функционального насыщения пространства современных культурно-досуговых центров. Проблема организации досуговых центров состоит в том, что сохранившиеся центры культурно-массовой и просветительской работы советского периода перестали соответствовать современным критериям и показателям (нормативным, архитектурно-художественным, планировочным и социальным). Поэтому следует создавать современные центры, в которых архитектурно-планировочная организация будет соответствовать реализации широкого спектра интересов и творческих возможностей людей.

Цель работы заключается в изучении особенностей архитектурно-планировочной структуры домов культуры в г. Новосибирске для создания новых многофункциональных культурно-досуговых центров с учетом социокультурных потребностей жителей, а также современных тенденций в архитектуре.

Методика исследования основана на изучении, сравнении и систематизации отечественной литературы, интернет-ресурсов на тему истории архитектуры Новосибирска, анализе исторических, градостроительных, экономических, эстетических и социально-культурных данных, связанных с формированием архитектуры домов культуры, а также культурно-досуговых потребностей населения города.

В результате проведенного исследования выделены факторы, влияющие на формирование архитектурно-планировочной структуры домов культуры: функционально-планировочные, ландшафтно-визуальные, художественно-эстетические, социокультурные и др.

Исследование исторической стороны создания домов культуры в г. Новосибирске и современного опыта проектирования выявило, что данные объекты – это многофункциональные пространства, созданные для активных и увлеченных различными сферами творческой деятельности людей. Они являются местом получения вдохновения, творческой самореализации, интеллектуального и физического развития, проведения досуга, отдыха и общения, местом, где реализуются идеи прогрессивного общества XXI в.

Ключевые слова: дом культуры; культурно-досуговый центр; архитектурно-пространственная среда; архитектура; Новосибирск.

Для цитирования: Макиянская П.С., Скуднева М.В. Факторы формирования архитектурно-планировочной структуры домов культуры в г. Новосибирске // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2021. Т. 23. № 5. С. 50–58.

DOI: 10.31675/1607-1859-2021-23-5-50-58

P.S. MAKIYANSKAYA¹, M.V. SKUDNEVA^{1,2},

¹Novosibirsk State University of Architecture, Design and Fine Arts,

²Siberian Branch of The Russian Academy of Sciences

ARCHITECTURE AND PLANNING FACTORS OF CULTURAL CENTERS IN NOVOSIBIRSK

The paper studies the problems of the modern architecture and planning of houses of culture intended for people of different age. The paper considers modern culture and leisure centers, analyzes the main approaches to the renovation of the architecture and planning structure of houses of culture, culture and leisure centers and cinemas, and highlights the design problems in the conditions of preserving the architectural and spatial environment.

The paper considers the main formative factors of the architecture and planning structure of houses of culture and analyzes the social functions of modern culture and leisure centers. The organization of leisure centers is connected with preservation of cultural and educational centers of the Soviet period, that do not meet the modern criteria (normative, architectural, artistic, planning and social). It is therefore necessary to create modern centers, in which the architecture and planning will satisfy a wide range of interests and creative opportunities of people.

The purpose of the paper is to study the architecture and planning factors of houses of culture in Novosibirsk for the creation of new multifunctional culture and leisure centers, taking into account the socio-cultural needs of people as well as modern trends in architecture.

The research methodology includes a comparison and systematization of the literature, Internet resources on the history of architecture of Novosibirsk, analysis of historical, economic, aesthetic and socio-cultural data relating to the formation of the architecture of cultural centers as well as culture and leisure time of people in the city of Novosibirsk.

Research implication include the factors influencing the formation of the architecture and planning structure of houses of culture such as functional-planning, landscape-visual, artistic-aesthetic, socio-cultural, etc.

A study of the history of formation of houses of culture in Novosibirsk and the modern design experience show that these objects are multifunctional spaces created for active and enthusiastic people involved in various creative activities. Houses of culture are a place of inspiration, creative self-realization, intellectual and physical development, leisure, recreation and communication, a place where the ideas of a progressive society of the 21st century can be realized.

Keywords: house of culture; culture and leisure centers; architectural and spatial environment; architecture; Novosibirsk.

For citation: Makiyanskaya P.S., Skudneva M.V. Faktory formirovaniya arkhitekturno-planirovochnoi struktury domov kul'tury v g. Novosibirske [Architecture and planning factors of houses of culture in Novosibirsk]. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture. 2021. V. 23. No. 5. Pp. 50–58.

DOI: 10.31675/1607-1859-2021-23-5-50-58

Во все времена архитектура отражала интересы общества, моду, религию, социально-экономические аспекты и эстетические взгляды людей. Вопросам изучения основных подходов при проектировании многофункциональной планировочной структуры домов культуры на территории нашей страны посвящены различные исследования, в том числе работа А.В. Смирнова о формировании архитектуры культурно-досуговых центров в исторической среде, научная работа Н.М. Зеликиной по формированию центров культуры в планировочной структуре крупнейших городов и др. [1, 2].

Дома культуры как важный социальный объект стали активно развиваться в первой половине XX в. вместе с первыми домами-коммунами, домами-

кварталами и являлись неотъемлемой частью советского соцкультбыта. Цель настоящего исследования – анализ опыта в вопросах организации архитектурно-пространственной среды домов культуры в г. Новосибирске.

В начале своего становления и развития функционально-планировочная структура домов культуры включала театрально-зрелищные залы, лекционные помещения, библиотеки, воскресные школы и вечерние классы для обучения трудящихся. В первой половине XX в. дома культуры являлись центром проведения досуга и местом противодействия безграмотности для жителей города. Совместное проведение досуга, развитие творческого потенциала и общение помогали трудящимся обрести собственную индивидуальность, раскрыть свои способности и расширить мировоззрение.

Массовое развитие клубных учреждений началось в СССР с ноября 1920 г., когда декретом Совнаркома в системе Наркомпроса РСФСР был образован Главполитпросвет. Строительство клубов в г. Новосибирске было связано с основными этапами развития города и политикой государства, направленной на борьбу с неграмотностью рабочих, прибывших из сел и деревень, а также в целях улучшения качества проведения досуга, обучения культуре и политической агитации [3].

В течение 1920-х годов в г. Новосибирске были построены клубы для рабочих местной промышленности и железнодорожников: клуб «Металлист» в Закаменке, клуб железнодорожников «Транспортник», клуб Союза совторгслужащих (СТС) и другие, которые стали первыми центрами рабочей культуры в городе. ДК имени Октябрьской революции, созданный инженером И.А. Бурлаковым в 1928 г., был выполнен в конструктивистском стиле и стал третьим Домом культуры, построенным в Новосибирске [3, 4].

Во время Великой Отечественной войны, в связи с переездом приборостроительного завода в 1941 г., был основан ДК «Прогресс» [5].

В послевоенный период меняется отношение людей к досугу. Больше свободного времени появляется в связи с сокращением трудового дня на заводах и предприятиях, возрастает уровень образования, улучшаются жилищные условия граждан, соответственно, повышается интерес людей к культурно-досуговой деятельности.

В 1950–70 гг. в Новосибирске значительно расширилась сеть культурно-досуговых учреждений, а к середине 1950–60-х гг. их строительство приняло массовый характер.

В 1952 г. было завершено строительство ДК имени А.И. Ефремова, а в 1953 г. – здание ДК «Энергия», архитектором которых стал В.А. Добролюбов. Оба здания выполнены в классическом архитектурном стиле. ДК имени А.М. Горького, крупнейший Дом культуры своего времени в г. Новосибирске, был возведён к 1957 г. по типовому проекту (арх. А.С. Михайлов, В.С. Внуков) в формах классической архитектуры, олицетворяющей праздничность и торжественность [6, с. 38–39].

Дом культуры им. А.С. Попова был построен к 1957 г. по проекту архитектора К.К. Леонова. Время, в которое разрабатывался проект, определило архитектурную стилистику – фасады декорированы ордерными формами неоклассики, а его объемно-планировочное решение нетипично для клуба, само здание занимает почти целый квартал [Там же, с. 40].

В 60–70-е гг. XX в. государство стимулирует развитие различных форм несемейного общения, возрастает интерес людей к чтению газет, журналов, просмотру телепередач, посещению кинотеатров, театров, выставочных залов. В связи с территориальным развитием Новосибирска строятся новые культурно-досуговые учреждения.

Дом культуры «Академия» находится в Новосибирском Академгородке. Здание построено в 1962 г. С момента строительства оно находилось на балансе Областного управления Главкинопроката как кинотеатр «Москва». 21 декабря 1962 г. было принято решение о смене статуса на Дом культуры с новым названием – ДК «Академия». Площадь перед зданием в любое время года служила местом общественного притяжения, здесь проходили праздничные гулянья, фестивали, концерты и другие общественные мероприятия [7].

В 1969 г. построен ДК завода им. В.П. Чкалова (архитектор М.М. Пирогов). Автор проекта не был свободен в своих композиционных решениях, т. к. ему пришлось использовать уже существующие фундаменты и части ранее строящегося клубного здания. 22 января 1973 г. с оценкой «отлично» принят от строителей ДК «Строитель». Он построен по типовому проекту, в разработке его интерьеров участвовал архитектор Г.В. Гаврилов, а в украшении фасадов использованы мозаики художника В.Г. Кирьянова. ДК «Строитель» активно используется и в настоящее время. Здание ДК железнодорожников построено по типовому проекту, его местоположение выбрано неудачно, но архитектор В.П. Семейко успешно включил его объем в существующую застройку улицы. Ярко выраженная асимметрия фасада внешне выглядит скромно, а его монохромная сероватая цветовая гамма стеновых поверхностей не выделяет сооружение из общего фронта застройки улицы. При несколько измельченных формах и деталях фасад не претендует на монументальность, присущую общественным зданиям [6, с. 94–95, 122–123].

В XXI в. у людей появились новые интересы, и вместе с ними стали развиваться индустрии досуга и спорта, но большинство досуговых площадок, спортивно-развлекательных центров, кинотеатров, театров и клубов имеют типовую функциональную структуру, которая к тому же не отвечает запросам современного общества. При формировании сценариев развития многофункциональной структуры таких центров необходимо учитывать, что творчество и досуг – это важные «двигатели» в становлении личности человека. Каким станет будущее поколение, во многом определяется местом, где будут получены знания и где разовьются творческие и физические способности человека.

Отсутствие интереса к домам культуры как к площадкам для проведения досуга людей является острой проблемой в условиях отсутствия системного подхода к данному вопросу в настоящее время. В начале XXI в. интересы общества изменились, шагнули вперед технологии, соответственно, появились запросы и призывы к обновлению учреждений, отвечающих за проведение досуга.

На основе современного опыта проектирования культурно-досуговых центров было выявлено, что дома культуры – это многофункциональные пространства, где реализуются идеи развития прогрессивного общества XXI в. Они созданы для активных граждан и являются местом получения вдохновения, творческой самореализации, интеллектуального и физического развития, а также досуга, отдыха и общения.

Однако построенные еще в середине XX в. и до настоящего времени существующие дома культуры и культурно-досуговые центры стали устаревшей площадкой для самореализации, поэтому возникает вопрос о необходимости обновления функционально-планировочной структуры и архитектурной составляющей таких учреждений.

В настоящее время в г. Новосибирске нет комплексных площадок, которые включали бы различные культурные, спортивные и развлекательные функции и в то же время соответствовали новым архитектурно-планировочным стандартам. Проведенный в рамках исследования анализ архитектурно-планировочной структуры домов культуры Новосибирска выявил следующие проблемы:

1. Планировочная структура домов культуры не соответствует современным требованиям к составу помещений, объемно-планировочным решениям, которые отражены в нормативных регламентах и используются при проектировании досуговых центров.

2. Унификация и типологизация строительного производства способствовали развитию однотипной, массовой застройки, в том числе при строительстве общественных зданий, и, соответственно, утрате индивидуального архитектурного решения.

3. Возникновение новых конкурентоспособных объектов, коммерческих площадок, реализующих самые различные проекты – от традиционных кружков вокала и народного танца до ультрасовременных интерактивных медиавыставок, обостряет вопрос о том, какую именно функцию должны выполнять сегодня дома культуры.

4. Экономическая составляющая и коммерциализация современной сферы культуры, образования и досуга не позволяют проводить содержательный досуг, становятся преградой и ограничивают использование данных учреждений для среднестатистического жителя города (района).

На территории г. Новосибирска в разное время осуществлялись попытки решения проблемы домов культуры, связанной с созданием современной системы культурно-досуговых центров с новым функциональным наполнением и инновационной архитектурой. Проводились реконструктивные мероприятия по усовершенствованию и модернизации исторических зданий домов культуры, таких как ДК «Прогресс», ДК железнодорожников и др.

Анализ социально-исторических предпосылок возникновения и развития строительства домов культуры на территории г. Новосибирска показал, что большинство из них были созданы во времена СССР. В конце XX – начале XXI в. дома культуры и культурно-досуговые центры не строились, а для проведения культмассовых мероприятий по-прежнему использовались старые здания домов культуры, к числу таких относится ДК «Академия» в Новосибирском Академгородке и др.

Архитектурно-планировочное решение домов культуры зависело от исторических этапов развития города, а те, в свою очередь, влияли на их архитектурно-планировочное и стилистическое решение. Так, в зданиях 40–50-х гг. XX в. четко прослеживается сталинский ампир, который соединил элементы ренессанса, позднего классицизма, модернизма, конструктивизма и ар-деко. Здания сочетали в себе помпезность, роскошь, величественность и монументальность, активно использо-

вались архитектурные ордера с четкими пропорциями и обильным декором, советская символика, рабочие, колхозники и военные были главными героями барельефов и мозаик. К таким сооружениям можно отнести Дом детского творчества им. А.И. Ефремова, ДК «Энергия» и ДК имени А.М. Горького. Конец сталинскому ампиру положило постановление № 1871 ЦК КПСС и СМ СССР «Об устранении излишеств в проектировании и строительстве» от 4 ноября 1955 г. Стиль 60–80-х гг. XX в. можно описать как простой, минималистичный, созданный на основе новой индустрии и выражающий возможности современной техники. Если конструктивисты в свое время использовали в строительстве всё многообразие геометрических форм, то в поздней советской архитектуре доминирующее положение занял параллелепипед. Наиболее популярным строительным материалом долгие годы оставался бетон, до тех пор, пока в 70–80-е гг. XX в. с ним небезуспешно стали конкурировать конструкции из стекла и титана. Эти элементы прослеживаются в Доме культуры и творчества им. В.П. Чкалова, в ДК «Академия» и в ДК железнодорожников.

Изучив опыт проектирования домов культуры в г. Новосибирске, можно проследить, как постоянно менялись цели, которые ставили себе архитекторы, менялись средства для их достижения, развивались технологии, но при этом всегда присутствовало стремление к совершенствованию.

В настоящее время в г. Новосибирске функционирует 11 муниципальных домов и дворцов культуры. Однако не стоит забывать, что большинство домов культуры построено более 50 лет назад и на сегодняшний день одной из ключевых проблем остается их моральное и материальное устаревание. Архитектурные и интерьерные решения, эргономика зданий, их функциональное наполнение далеки от современных стандартов, недостаточность материально-технической базы, отсутствие современной организации пространства и зонирования прилегающей территории ограничивают возможности содержательного разнообразия форм организации досуга для населения [8].

Проведенный анализ домов культуры, созданных в Новосибирске на протяжении второй половины XX в., показывает, что социальные процессы, происходящие в обществе, приводят к появлению культурно-досуговых центров с разнообразными функциями. Современные дома культуры должны осуществлять деятельность в разных целях: просветительской работы для осуществления передачи, распространения культуры и знаний; интеллектуально-образовательной направленности и поддержки художественного любительского творчества; организации досуга и отдыха с учетом потребностей и интересов общества; удовлетворения общественных потребностей в сохранении и развитии традиционной народной культуры.

Многообразие деятельности домов культуры (музыкальные, хореографические и танцевальные классы, студии дизайна, театра, актерского, декоративно-прикладного и спортивного мастерства и др.) создает новые требования к размещению планировочных зон внутри этих зданий. В целом с зонами для общения и отдыха граждан они образуют планировочную структуру современных многофункциональных культурно-досуговых центров. Если функциональная и планировочная организация центров становится ясна при рассмотрении социальных процессов, происходящих в обществе, и после проведения социальных опросов,

то вопрос формирования архитектуры здания еще недостаточно изучен. Поэтому стоит обратить внимание на анализ архитектурных решений современных культурно-досуговых центров. При разработке проектных решений можно опираться на один из двух приемов:

- создание гармоничной архитектуры, которая подчиняется стилистике окружающей застройки и в сочетании с архитектурными формами и ландшафтом создаёт гармоничную среду;

- включение в архитектурное решение яркого акцента, при котором здание получит резонансную форму, цвет, стиль по сравнению с окружающей средой.

Оба приема находят отражение в экстерьере и интерьере создаваемых проектов зданий. В результате можно выделить основные принципы в формировании архитектурно-планировочной структуры домов культуры:

- принцип социокультурного проектирования, который связан с удовлетворением потребностей современного общества путем введения новых функций и площадок в пространство домов культуры;

- принцип взаимодействия архитектурно-планировочных решений с пространственно-ландшафтными особенностями участка, способствующий реализации взаимодействия домов культуры с объектами историко-культурного наследия, природным окружением;

- принцип размещения объектов с учетом градостроительных требований, связанных с особенностями перспективного развития территории.

В результате проведенного исследования были выделены факторы, влияющие на формирование архитектурно-планировочной структуры домов культуры:

- ландшафтно-визуальные факторы, характеризующие визуальную целостность исторической среды и определяющие архитектурные средства визуально-ландшафтной выразительности домов культуры;

- художественно-эстетические факторы, выявляющие вид объекта и задающие сценарий развития архитектурно-планировочной структуры домов культуры;

- социокультурные факторы, определяющие функциональные зоны домов культуры (досуговую, культурно-просветительскую, музейно-выставочную, функцию общественного питания и лаунджа).

Современный подход к вопросу проектирования архитектурно-планировочной структуры новых домов культуры существенно отличается от ранее использованных принципов. И это связано с многопрофильностью функций, трансформированностью пространства, индивидуальностью архитектурно-пространственного облика, связью открытых и закрытых пространств, новыми IT-технологиями. Перечисленные факторы и подходы основываются на переосмыслении основных принципов построения архитектурно-планировочных пространств домов культуры г. Новосибирска, сложившихся в советский период.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Зеликина Н.М. Формирование центров культуры в планировочной структуре крупнейших городов : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата архитектуры : 18.00.04. Москва, 1980.

2. *Смирнов А.В.* Принципы формирования архитектуры культурно-досугового центра в исторической среде : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата архитектуры : 05.23.21 / Смирнов Андрей Владимирович. Москва : ФГБОУ ВО ГУЗ, 2006.
3. *Духанов С.С.* Архитектура рабочих клубов и дворцов культуры города Новосибирска 1920 – первой половины 1950-х гг. : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата архитектуры : 18.00.01 / Духанов Сергей Сергеевич. Новосибирск : НГАХА, 2006. С. 5–6.
4. *Дом культуры имени Октябрьской революции* // Википедия. Свободная энциклопедия : [сайт]. URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Дом_культуры_имени_Октябрьской_революции (дата обращения: 21.02.2021).
5. *Прогресс* (Дворец культуры, Новосибирск) // Википедия. Свободная энциклопедия : [сайт]. URL: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Прогресс_\(дворец_культуры,_Новосибирск\)#:~:text=2%20Мероприятия,-История,предприятия%20появилась%20и%20культурная%20жизнь.](https://ru.wikipedia.org/wiki/Прогресс_(дворец_культуры,_Новосибирск)#:~:text=2%20Мероприятия,-История,предприятия%20появилась%20и%20культурная%20жизнь.) (дата обращения: 21.02.2021).
6. *Баландин С.Н.* Новосибирск: История градостроительства 1945–1985 гг. Новосибирск : Кн. изд-во, 1986. С. 38–40; 94–95; 122–123.
7. *Академия* (Дворец культуры, Новосибирск) // Википедия. Свободная энциклопедия. URL: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Академия_\(Дворец_культуры,_Новосибирск\)](https://ru.wikipedia.org/wiki/Академия_(Дворец_культуры,_Новосибирск)) (дата обращения: 16.02.2021).
8. *Фишер Л.В.* Перспективы развития домов культуры в современной городской среде // Развитие территорий. 2019. № 1 (15). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/perspektivy-razvitiya-domov-kultury-v-sovremennoy-gorodskoy-srede> (дата обращения: 17.02.2021).

REFERENCES

1. *Zelikina N.M.* Formirovanie tsentrov kul'tury v planirovochnoi strukture krupneishikh gorodov: avtoreferat dissertatsii na soiskanie uchenoi stepeni kandidata arkhitektury [Formation of centers of culture in planning structure of largest cities]. Moscow, 1980. (rus)
2. *Smirnov A.V.* Printsipy formirovaniya arkhitektury kul'turno-dosugovogo tsentra v istoricheskoi srede: avtoreferat dissertatsii na soiskanie uchenoi stepeni kandidata [Principles of architecture of culture and leisure centers in historical environment PhD Abstract]. Moscow, 2006. (rus)
3. *Dukhanov S.S.* Arkhitektura rabochikh klubov i dvortsov kul'tury goroda Novosibirsk 1920 – pervoi poloviny 1950-kh gg.: avtoreferat dissertatsii na soiskanie uchenoi stepeni kandidata arkhitektury [Architecture of workers' houses of culture in Novosibirsk in the 1920s and early 1950s. PhD Abstract]. Novosibirsk, 2006. Pp. 5–6. (rus)
4. *Dom kul'tury imeni Oktyabr'skoi revolyutsii* [The October Revolution House of Culture]. Available: https://ru.wikipedia.org/wiki/Дом_культуры_имени_Октябрьской_революции (accessed February 21, 2021). (rus)
5. *Progress* (dvorets kul'tury, Novosibirsk) [Palace of Culture in Novosibirsk]. Available: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Прогресс_\(дворец_культуры,_Новосибирск\)#:~:text=2%20Мероприятия,-История,предприятия%20появилась%20и%20культурная%20жизнь](https://ru.wikipedia.org/wiki/Прогресс_(дворец_культуры,_Новосибирск)#:~:text=2%20Мероприятия,-История,предприятия%20появилась%20и%20культурная%20жизнь) (accessed February 21, 2021). (rus)
6. *Balandin S.N.* Novosibirsk: Istoriya gradostroitel'stva 1945–1985 gg [Novosibirsk: History of urban planning in 1945–1985]. 1986. Pp. 38–40; 94–95; 122–123. (rus)
7. *Akademiya* (Dvorets kul'tury, Novosibirsk) [Academy (Palace of Culture, Novosibirsk)]. Available: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Академия_\(Дворец_культуры,_Новосибирск\)](https://ru.wikipedia.org/wiki/Академия_(Дворец_культуры,_Новосибирск)) (accessed February 16, 2021). (rus)
8. *Fisher L.V.* Perspektivy razvitiya domov kul'tury v sovremennoi gorodskoi srede [Development prospects of cultural centers in modern urban environment]. *Razvitie territorii*. 2019. No. 1 (15). Available: <https://cyberleninka.ru/article/n/perspektivy-razvitiya-domov-kultury-v-sovremennoy-gorodskoy-srede> (accessed February 17, 2021). (rus)

Сведения об авторах

Макиянская Полина Сергеевна, магистрант, Новосибирский государственный университет архитектуры, дизайна и искусств имени А.Д. Крячкова, 630099, г. Новосибирск, Красный проспект, 38, polly.maki1@gmail.com

Скуднева Марина Валерьевна, канд. архитектуры, доцент, Новосибирский государственный университет архитектуры, дизайна и искусств имени А.Д. Крячкова, 630099, г. Новосибирск, Красный проспект, 38; начальник Отдела благоустройства и озеленения, Сибирское отделение Российской академии наук, 630090, г. Новосибирск, пр. Академика Лаврентьева, 17, skudneva74@mail.ru

Authors Details

Polina S. Makiyanskaya, Graduate Student, Novosibirsk State University of Architecture, Design and Fine Arts, 38, Krasnyi Ave., 630099, Novosibirsk, Russia, polly.maki1@gmail.com

Marina V. Skudneva, PhD, A/Professor, Novosibirsk State University of Architecture, Design and Fine Arts, 38, Krasnyi Ave., 630099, Novosibirsk, Russia; Head of the Department of Landscaping and Landscaping, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, 17, Akademika Lavrent'eva Ave., 630090, Novosibirsk, Russia, skudneva74@mail.ru

СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ, ЗДАНИЯ И СООРУЖЕНИЯ

УДК 691.32

DOI: 10.31675/1607-1859-2021-23-5-59-70

*О.С. БОЧКАРЕВА, С.А. ЕРЕНЧИНОВ, Г.А. ЗИМАКОВА, Е.А. КАСПЕР,
Тюменский индустриальный университет*

СТРУКТУРНО-МЕХАНИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ БЕТОНА С ОРТОТРОПНЫМ АРМИРОВАНИЕМ СПИРАЛЕВИДНОЙ ФИБРОЙ

Под ортотропным армированием бетона понимается прием введения в состав бетона спиралевидной фибры.

Для решения задачи обобщения результатов исследования влияния геометрических параметров спиралевидной фибры на физико-механические характеристики бетона плотной структуры применен метод конечно-элементного моделирования.

Математическая модель фиброармированного бетона, основанная на методике проведения численного и экспериментального исследования, показывает, что получение композита с заданными свойствами и структурой обеспечивается при оптимальных параметрах спиралевидной фибры: длина – 20–30 мм, диаметр – 5 мм, расстояние между витками – 1,5 мм.

Ключевые слова: ортотропное армирование; спиралевидная фибра; бетон; математическая модель; метод конечных элементов; механические свойства.

Для цитирования: Бочкарева О.С., Еренчинов С.А., Зимакова Г.А., Каспер Е.А. Структурно-механическая модель бетона с ортотропным армированием спиралевидной фиброй // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2021. Т. 23. № 5. С. 59–70.

DOI: 10.31675/1607-1859-2021-23-5-59-70

*O.S. BOCHKAREVA, S.A. ERENCHINOV, G.A. ZIMAKOVA, E.A. KASPER,
Industrial University of Tyumen*

STRUCTURAL AND MECHANICAL MODEL OF SPIRAL FIBER-REINFORCED CONCRETE

Orthotropic concrete reinforcement is the addition of spiral fibers to concrete. Finite element modeling is used to study the influence of the spiral fiber geometry on the physical and mechanical properties of concrete. Based on the numerical and experimental research, the proposed mathematical model of fiber-reinforced concrete shows that the composite with the desired properties and structure is obtained with the optimum parameters of the spiral fiber namely 20-30 mm length, 5 mm diameter, and 1.5 mm distance between turns.

Keywords: orthotropic reinforcement; spiral fiber; concrete; mathematical model; finite-element method; mechanical properties.

For citation: Bochkareva O.S., Erenchinov S.A., Zimakova G.A., Kasper E.A. *Strukturno-Mekhanicheskaya Model' Betona S Ortotropnym Armirovaniem Spiralevidnoi Fibroi* [Structural and mechanical model of spiral fiber-reinforced concrete]. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture*. 2021. V. 23. No. 5. Pp. 59–70. DOI: 10.31675/1607-1859-2021-23-5-59-70

Введение

Современные бетоны, применяемые для возведения несущих конструкций зданий и сооружений, характеризуются достаточно высокой прочностью на сжатие [1–3], недостаточной прочностью на разрыв, имеют ограниченную пластичность и низкое сопротивление распространению трещин [4]. Для повышения устойчивости к распространению трещин создаются фибро- и дисперсно-армированные бетонные композиты, в которых слабая матрица армирована жесткими волокнами [5], при этом прочность бетона на растяжение увеличивается за счет использования волокон с высоким модулем упругости. По результатам научно-практических данных установлено, что введение синтетических волокон в бетонную смесь не приводит к заметному повышению характеристик, обеспечивающих трещиностойкость бетонного композита, что обусловлено деформативными характеристиками волокон. Незначительное влияние на величину нагрузки, которая приводит к возникновению трещин, оказывают гладкие стальные волокна [6], и поэтому существенного увеличения прочности на растяжение бетоны достигают за счет улучшения конструктивных параметров стальной фибры. Обобщение ряда научных данных по исследованию фибробетонов показало, что они обладают очевидными преимуществами, однако данные композиты имеют сложную полиструктурную организацию, в которой необходимо выделить масштабные уровни исследования для теоретического обобщения и дальнейшего углубления знаний по оптимизации конструктивно-геометрических параметров фибрового армирования [7], их взаимосвязи со структурными характеристиками исходного, как правило, модифицированного добавками химического и минерального типа, бетона.

Численное (компьютерное) моделирование свойств материалов является перспективным научным направлением [8–11]. Компьютерное моделирование бетона позволяет управлять его структурой, прогнозировать выходные характеристики – показатели качества, оценивать зависимость свойств от изменения рецептурно-технических факторов, проводить значительное количество вычислительных экспериментов с широким диапазоном варьируемых параметров при равенстве определенных начальных условий. Систематизация и обобщение теории и практики моделирования фибробетонов путем компьютерно-имитационного моделирования основаны на методиках проведения численного и натурного экспериментов, методах моделирования макроструктуры, обеспечивающих получение материала заданной структуры и свойств.

Среди всего разнообразия методов численного моделирования для решения инженерных задач, сопряженных с исследованием композиционных мате-

риалов, состоящих из нескольких компонентов, обладающих различными свойствами и содержащих элементы сложной геометрии, целесообразно использовать метод конечных элементов [12–15]. Преимущество данного метода заключается в возможности управления масштабным фактором сетки при разбиении области на конечные элементы.

В настоящей работе компьютерный анализ методом конечных элементов был произведен в среде ANSYS Workbench, широко применяемой для решения инженерных задач. Так, в работах [16, 17] посредством ANSYS проведен ряд численных экспериментов по исследованию зависимости упругих свойств композиционных материалов от процентного содержания армирующих волокон и характера их укладки.

При разбиении расчетной области на конечные элементы следует, с одной стороны, обеспечить их размеры достаточно малыми, чтобы получить достоверные результаты, и, с другой стороны, принять во внимание, что применение более крупных элементов сокращает ресурсоемкость вычислений. Для обеспечения этих двух условий был использован модуль ANSYS Material Designer. Данный модуль позволяет создавать для исследуемого материала представительный объемный элемент (representative volume element (RVE)) определенного типа, для которого выбираются свойства составляющих его компонентов. В результате расчетов получают механические характеристики элементарной ячейки структуры материала, которые позволяют оптимизировать необходимые параметры отдельных компонентов и в дальнейшем использовать полученные приведенные характеристики для моделирования макроструктуры.

Проведение численного эксперимента

Объектом исследования являлся композит, включающий матрицу из мелкозернистого бетона и спиралевидную фибру. Цель исследования заключалась в определении оптимальных геометрических параметров спиралевидной фибры, позволяющих достичь повышенных упруго-деформативных характеристик бетона плотной структуры с помощью модуля ANSYS Material Designer.

Для построения представительной элементарной ячейки была выбрана задаваемая пользователем структура (User Defined RVE). Трехмерная геометрическая модель элементарной ячейки, представляющая собой призму с заключенной в ней спиралевидной фиброй, была импортирована в Material Designer из AutoCAD. Далее были назначены материалы матрицы и спиралевидной фибры через сервис Engineering Data. В общей библиотеке материалов General Materials в качестве материала матрицы был назначен бетон, для спиралевидной фибры – сталь. Показатели качества исходных материалов представлены на рис. 1.

На следующем этапе численного эксперимента было произведено построение сетки представительного объемного элемента бетона с ортотропным армированием, визуализация которой представлена на рис. 2.

С помощью модуля ANSYS Material Designer произведен расчет деформативных характеристик материала, таких как модуль упругости, коэффициент Пуассона, и других параметров в осях X , Y и Z . За контролируемый показатель качества и параметр оптимизации исследуемого материала был принят модуль упругости.

а				б			
	A	B	C		A	B	C
1	Property	Value	Unit	1	Property	Value	Unit
2	Material Field Variables	Table		2	Material Field Variables	Table	
3	Density	2300	kg m ⁻³	3	Density	7850	kg m ⁻³
4	Isotropic Secant Coefficient of Thermal Expansion			4	Isotropic Secant Coefficient of Thermal Expansion		
6	Isotropic Elasticity			6	Isotropic Elasticity		
7	Derive from	Young's ...		7	Derive from	Young's ...	
8	Young's Modulus	30000	MPa	8	Young's Modulus	2E+05	MPa
9	Poisson's Ratio	0,18		9	Poisson's Ratio	0,3	
10	Bulk Modulus	1,5625E+10	Pa	10	Bulk Modulus	1,6667E+11	Pa
11	Shear Modulus	1,2712E+10	Pa	11	Shear Modulus	7,6923E+10	Pa
12	Tensile Yield Strength	0	MPa	12	Strain-Life Parameters		
13	Compressive Yield Strength	0	MPa	20	S-N Curve	Tabular	
14	Tensile Ultimate Strength	5	MPa	24	Tensile Yield Strength	250	MPa
15	Compressive Ultimate Strength	41	MPa	25	Compressive Yield Strength	250	MPa
16	Isotropic Thermal Conductivity	0,72	W m ⁻¹ ...	26	Tensile Ultimate Strength	460	MPa
17	Specific Heat, C _p	780	J kg ⁻¹ ...	27	Compressive Ultimate Strength	0	MPa
				28	Isotropic Thermal Conductivity	60,5	W m ⁻¹ ...
				29	Specific Heat, C _p	434	J kg ⁻¹ ...
				30	Isotropic Relative Permeability	10000	
				31	Isotropic Resistivity	1,7E-07	ohm m

Рис. 1. Характеристики исходных материалов:

а – материал матрицы – бетон; б – материал спиралевидной фибры – сталь

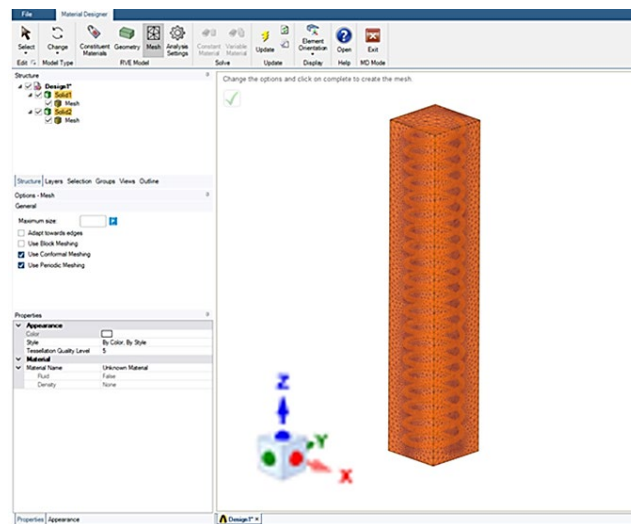


Рис. 2. Построенная сетка представительного объемного элемента бетона с ортотропным армированием

Для подтверждения достоверности полученных данных в модуле Static Structural расчетной платформы конечно-элементного анализа ANSYS Workbench был проведен сравнительный анализ деформаций, возникающих от действия единичной нагрузки, на трех моделях образцов-призм: контрольном, обладающем свойствами материала матрицы, а также двух моделях бетона – с импортированной геометрией, представляющей собой бетонную призму, армированную спиралевидной фиброй, с присвоением свойств соответствующих материалов, а также призмой с назначенными приведенными характеристиками бетона с ортотропным армированием, заимствованными из модуля ANSYS Material Designer. Модели образцов-призм представлены на рис. 3.

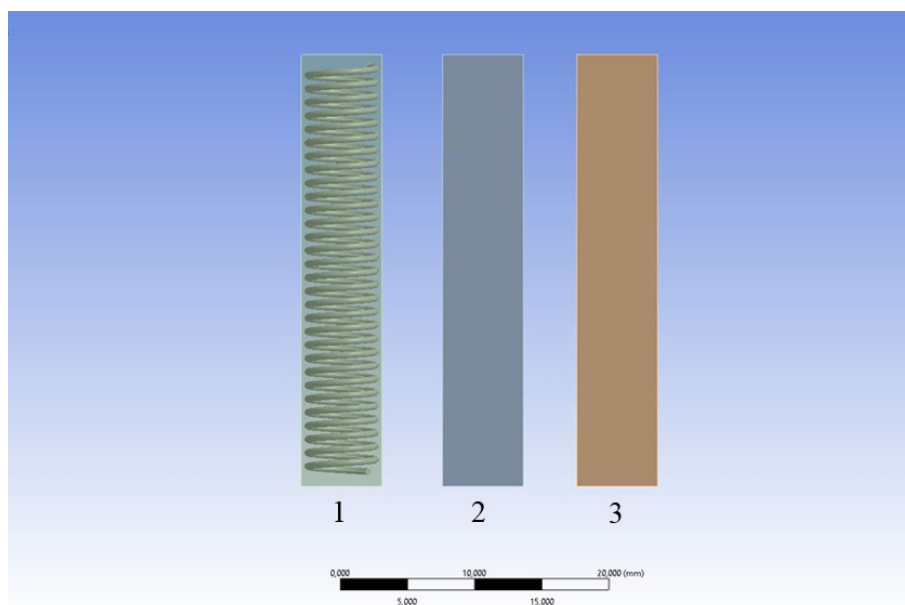


Рис. 3. Модели исследуемых на деформации образцов-призм:

1 – бетон с построенной геометрией, содержащей бетонную матрицу и спиралевидную фибру; 2 – материал с приведенными характеристиками бетона с ортотропным армированием из ANSYS Material Designer; 3 – контрольный состав со свойствами материала матрицы (бетон)

Результаты исследования

Определение оптимальной длины спиралевидной фибры с помощью модуля ANSYS Material Designer было произведено посредством расчета представительных объемных элементов с варьируемым параметром длины спиралевидной фибры в диапазоне от 5 до 55 мм с шагом 5 мм при постоянстве диаметра стальной проволоки, равного 0,5 мм, диаметра витков – 5 мм, расстояния между витками – 1,5 мм. Графическая интерпретация зависимости величины модуля упругости бетона от длины спиралевидной фибры в осях X , Y и Z представлена на рис. 4.

Согласно полученным результатам было выявлено, что увеличение длины спиралевидной фибры более 30 мм является нецелесообразным, т. к. не приводит к значительному повышению величины модуля упругости.

На следующем этапе было выявлено влияние диаметра спиралевидной фибры при варьировании данного параметра в диапазоне от 3 до 7 мм с шагом в 1 мм на значение модуля упругости бетона со спиралевидной фиброй при постоянстве диаметра стальной проволоки, равного 0,5 мм, длины фибры – 30 мм и расстояния между витками – 1,5 мм. Полученные результаты представлены в виде графической зависимости на рис. 5. Результаты численного эксперимента позволили диагностировать, что увеличение диаметра спиралевидной фибры приводит к снижению величины модуля упругости. За оптимальную величину диаметра спиралевидной фибры было принято 5 мм, что обусловлено

размером зерен мелкого заполнителя, входящего в состав матрицы мелкозернистого бетона, заключенного внутри спиралевидной фибры.

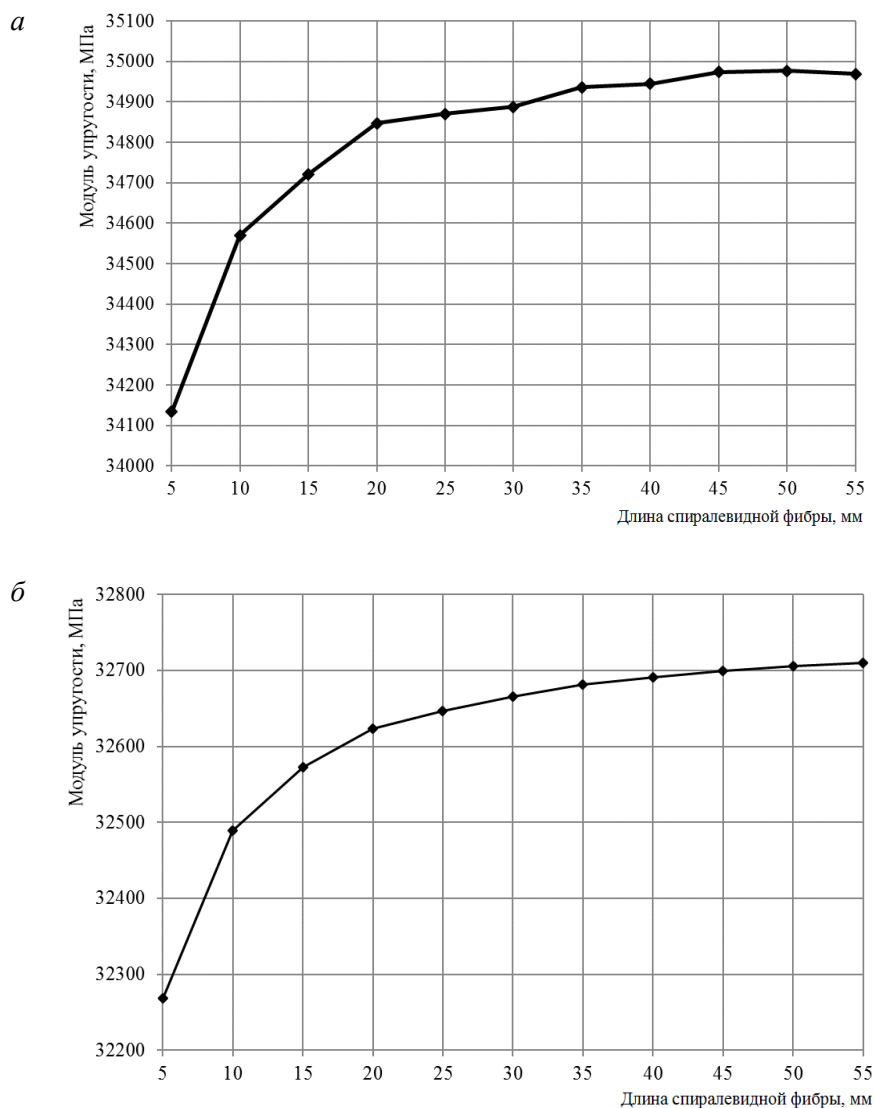


Рис. 4. Зависимость величины модуля упругости бетона от длины спиралевидной фибры: *а* – в осях *X, Y*; *б* – по оси *Z*

Было изучено влияние расстояния между витками спиралевидной фибры варьированием данного фактора в диапазоне от 1 до 3 мм с шагом 0,5 мм на значение модуля упругости бетона со спиралевидной фиброй при постоянстве диаметра стальной проволоки, равного 0,5 мм, длины спиралевидной фибры – 30 мм и диаметра – 5 мм. Результаты представлены на рис. 6. Полученные зависимости свидетельствуют о снижении величины модуля упругости с увели-

чением расстояния между витками пружины. Оптимальной для данного фактора была принята величина 1,5 мм, обеспечивающая заполнение пространства между витками растворной частью матрицы, содержащей мелкий заполнитель крупностью зерен до 1,5 мм.

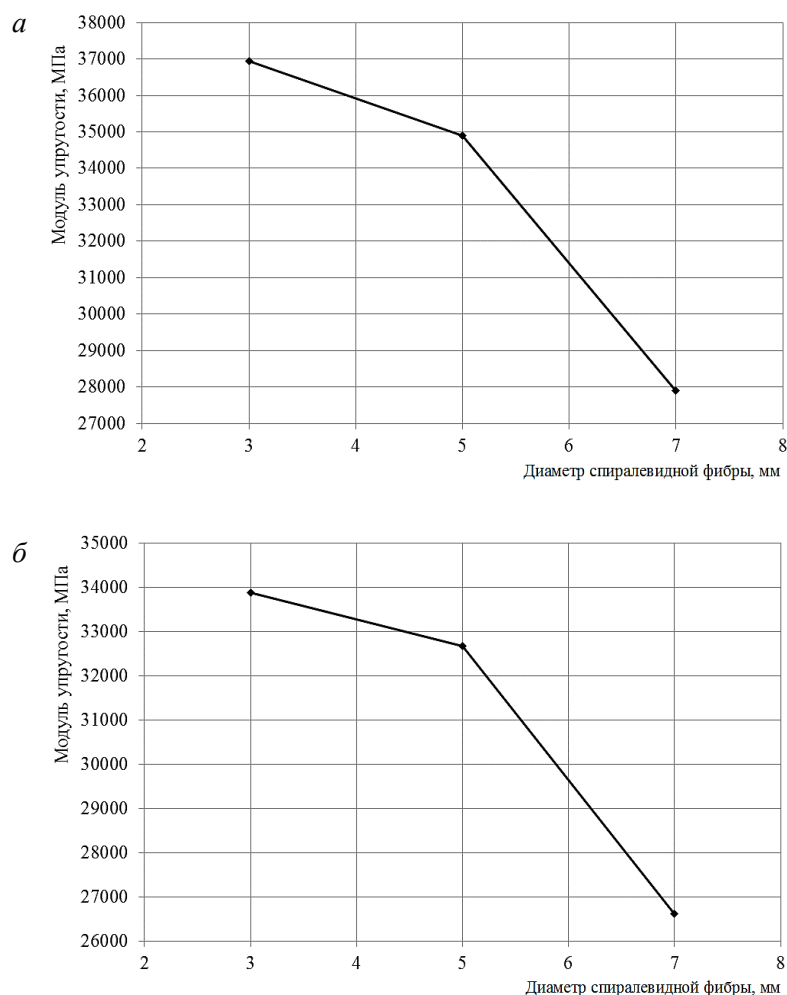


Рис. 5. Зависимость величины модуля упругости бетона от диаметра спиралевидной фибры:
а – в осях X , Y ; б – по оси Z

Оптимизация параметров спиралевидной фибры обеспечивает прирост модуля упругости вдоль ее длины на 9 %, поперек – на 16 % по сравнению с аналогичным параметром материала матрицы.

Для оценки адекватности полученных приведенных характеристик с помощью расчетного модуля ANSYS Static Structural были изучены деформации от действия единичной нагрузки трех моделей образцов-призм в соответствии с рис. 3. Результаты численного эксперимента представлены на рис. 7.

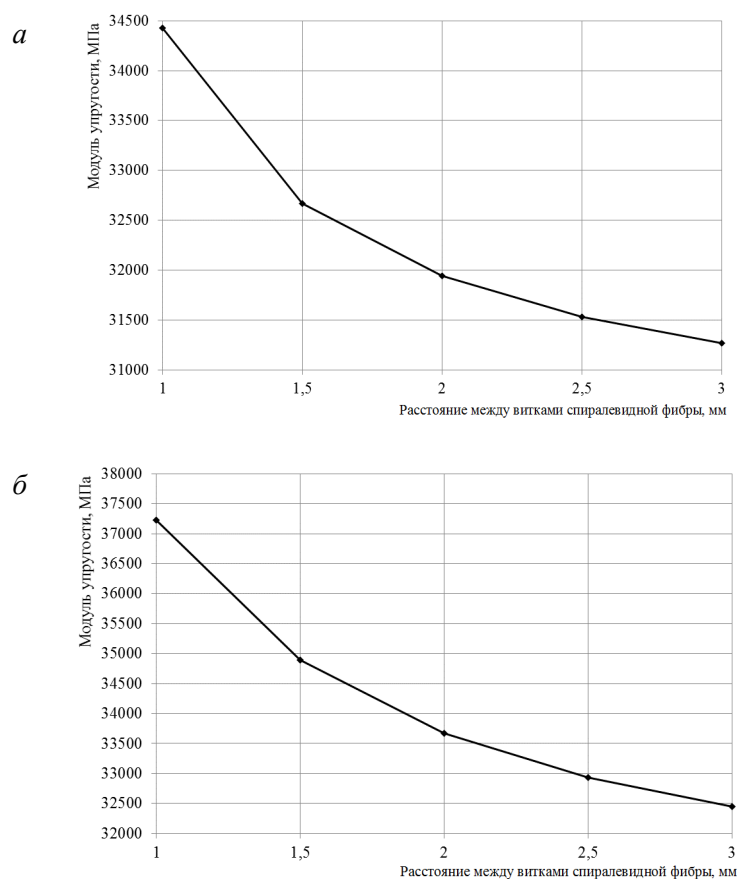


Рис. 6. Зависимость величины модуля упругости бетона от расстояния между витками спиральной фибры:
 а – в осях X, Y; б – по оси Z

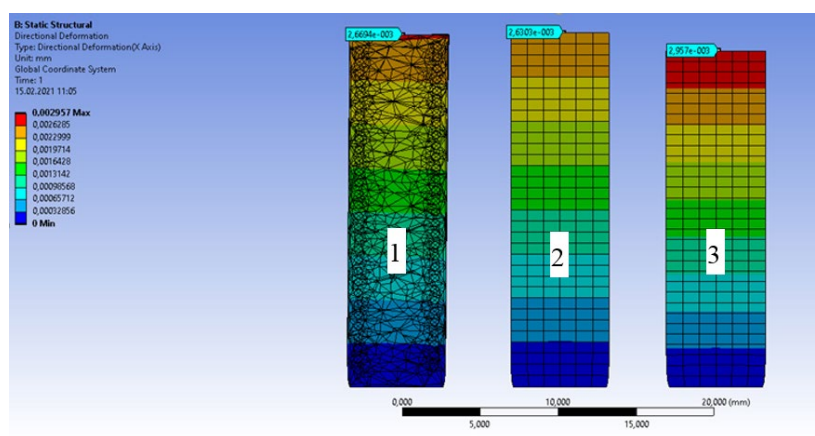


Рис. 7. Деформации моделей образцов-призм, рассчитанные с помощью ANSYS Static Structural (нумерация моделей образцов-призм соответствует рис. 3)

В результате компьютерного моделирования в пакете конечно-элементного анализа ANSYS Workbench проведен анализ и установлено, что близкие по величине значения деформаций для модели образца с импортированной геометрией и с приведенными характеристиками бетона со спиралевидной фиброй позволяют констатировать достоверность результатов. Деформация контрольного образца матричного бетона на 11 % превышает деформации композита со спиралевидной фиброй, что теоретически подтверждает эффективность применения бетона со спиралевидной фиброй.

Заключение

Описание сложно структурированного бетонного композита, связанное с представлением распределения в объеме, взаимной ориентации, а также совместной работы матричного бетона со спиралевидной фиброй, возможно за счет применения численных методов структурно-имитационного моделирования.

Использование метода конечных элементов позволяет обеспечить геометрическую и физическую реалистичность модели, отражающей назначение оптимальных геометрических параметров фибры в форме спиралевидного элемента, главные достоинства которого заключаются в повышении упруго-деформативных параметров бетона.

Эффективность работы обусловлена ортотропным воздействием данной фибры предлагаемой геометрии не только вследствие сцепления (сопротивления в осевом для фибры направлении), но и благодаря сопротивлению в поперечном направлении. По результатам произведенной серии численных экспериментов с помощью модуля ANSYS Material Designer были определены оптимальные параметры спиралевидной фибры в составе бетона. При сравнении величины модуля упругости исследуемого композиционного материала оптимальная длина спиралевидной фибры составила 20–30 мм, диаметр – 5 мм, расстояние между витками – 1,5 мм. Адекватность полученных результатов подтверждается соизмеримыми величинами деформаций от действия единичной нагрузки, определенными с помощью модуля ANSYS Static Structural, на моделях образцов-призм с импортированной геометрией двухкомпонентной системы и с приведенными характеристиками из ANSYS Material Designer.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Калашиников В.И.* Эволюция развития составов и изменение прочности бетонов. Бетоны настоящего и будущего. Часть 1. Изменение составов и прочности бетонов // *Строительные материалы*. 2016. № 1–2. С. 96–103.
2. *Калашиников В.И., Тараканов О.В., Кузнецов Ю.С., Володин В.М., Белякова Е.А.* Бетоны нового поколения на основе сухих тонкозернисто-порошковых смесей // *Materials Magazine of Civil Engineering*. 2012. № 8. С. 47–53.
3. *Gu C., Ye G., Sun W.* Ultrahigh performance concrete-properties, applications and perspectives // *Science China Technological Sciences*. 2015. V. 58. I. 4. P. 587–599.
4. *Сташевская Н.А., Окольников Г.Э., Асиков Д.М.* Обзор и анализ исследований применения высокопрочного фибробетона для высотного строительства // *Системные технологии*. 2017. № 23. С. 51–55.

5. Bruhwiler E., Denarie E. Rehabilitation of concrete structures using ultra-high performance fiber reinforced concrete // *Proceedings of Second International Symposium on Ultra-High Performance Fiber-Reinforced Concrete*. Kassel. 2008. P. 895–902.
6. Окольников Г.Э., Белов А.П., Слинкова Е.В. Анализ свойств различных видов фибробетонов // *Системные технологии*. 2018. № 26. С. 206–210.
7. Денисов А.В., Рогачев К.В., Иваненко С.В. Результаты проверки модели структуры фибробетона, разработанной для аналитического определения его термических и радиационных изменений, по экспериментальным данным усадки при твердении // *Науковедение : интернет-журнал*. 2016. Т. 8. № 4. URL: <http://naukovedenie.ru/PDF/43TVN416.pdf> (доступ свободный).
8. Jin L., Du X.-L. Meso numerical simulation of reinforced concrete members // *Shuili Xuebao*. 2012. V. 43. № 10. P. 1230–1242.
9. Shimanovsky A., Kuziomkina H., Pleskachevskii Yu., Yakubovich V. Finite element modeling of the cement matrix and filler grains interaction // *Technolog*. 2013. V. 5. № 4. P. 171–174.
10. Lippmann N., Steinkopff Th., Schmauder S., Gumbsch P. 3D-Finite-Element-modelling of microstructures with the method of multiphase elements // *Computational Materials Science*. 1997. V. 9. № 1–2. P. 28–35.
11. Wulf J., Schmauder S., Fischmeister H.F. Finite element modelling of crack propagation in ductile fracture // *Computational Materials Science*. 1993. V. 1. № 3. P. 297–301.
12. Князева Е.Н., Кукареко В.А., Александров В.Ю., Тимошенко Н.П. Применение метода конечных элементов при исследовании композиционных материалов. Подходы, методики, программные средства // *Механика машин, механизмов и материалов*. 2013. № 3 (24). С. 69–76.
13. Mohammadi Shah M., Komeili M., Phillion A.B., Milani A.S. Toward better understanding of the effect of fiber distribution on effective elastic properties of unidirectional composite yarns // *Computers and Structures*. 2016. № 163. P. 29–40.
14. Kurkin E.I., Sadykova V.O. Application of short fiber reinforced composite materials multilevel model for design of ultra-light aerospace structures // *Procedia Engineering*. 2017. № 185. P. 182–189.
15. Плескачевский Ю.М., Шимановский А.О. Компьютерное моделирование структуры и свойств композитов в нагруженных конструкциях // *Механика машин, механизмов и материалов*. 2016. № 1 (34). С. 41–51.
16. Соловьев А.Н., Зиборов Е.Н., Шевцов С.Н. Определение упругих свойств армированных композиционных материалов на основе конечно-элементного моделирования // *Наука Юга России*. 2016. Т. 12. № 2. С. 3–10.
17. Mishnev M.V., Korolev A.S., Zadorin A.A., Khoroshilov N.A. Based on the hybrid hot-curing epoxy binder fiberglass and evaluation of its effectiveness in load-bearing chimneys // *Строительство уникальных зданий и сооружений*. 2020. № 8 (93). С. 9302.

REFERENCES

1. Kalashnikov V.I. Evolyutsiya razvitiya sostavov i izmenenie prochnosti betonov. Betony nastoyashchego i budushchego. Chast' 1. Izmenenie sostavov i prochnosti betonov [Concrete compositions and concrete strength. Concretes of the present and future. Part 1. Concrete composition and strength]. *Stroitel'nye materialy*. 2016. No. 1–2. Pp. 96–103. (rus)
2. Kalashnikov V.I., Tarakanov O.V., Kuznetsov Yu.S., Volodin V.M., Belyakova E.A. Betony novogo pokoleniya na osnove sukhikh tonkozernisto-poroshkovykh smesei [Next generation concretes based on fine-grain dry powder mixes]. *Materials Magazine of Civil Engineering*. 2012. No. 8. Pp. 47–53. (rus)
3. Gu C., Ye G., Sun W. Ultrahigh performance concrete-properties, applications and perspectives. *Science China Technological Sciences*. 2015. V. 58. No. 4. Pp. 587–599.
4. Stashevskaya N.A., Okol'nikova G.E., Asikov D.M. Obzor i analiz issledovaniy primeneniya vysokoprochnogo fibrobetona dlya vysotnogo stroitel'stva. [Review and analysis of investigations of high-strength fibrous concrete applications for high-rise construction]. *Sistemnye tekhnologii*. 2017. No 23. Pp. 51–55. (rus)

5. Bruhwiler E., Denarie E. Rehabilitation of concrete structures using ultra-high performance fiber reinforced concrete. In: *Proc. 2nd Int. Symposium on Ultra-High Performance of Fiber-Reinforced Concrete*. Kassel. 2008. Pp. 895–902.
6. Okol'nikova G.E., Belov A.P., Slin'kova E.V. Analiz svoistv razlichnykh vidov fibrobetona [The properties of various types of fiber-reinforced concrete]. *Sistemnye tekhnologii*. 2018. No. 26. Pp. 206–210. (rus)
7. Denisov A.V., Rogachev K.V., Ivanenko S.V. Rezul'taty proverki modeli struktury fibrobetona, razrabotannoi dlya analiticheskogo opredeleniya ego termicheskikh i radiatsionnykh izmenenii, po eksperimental'nym dannym usadki pri tverdenii [The model of fiber-reinforced concrete structure for analytical determination of its thermal and radiation changes from the experimental data on shrinkage during curing]. *Naukovedenie*. 2016. V. 8. No 4. Available: <http://naukovedenie.ru/PDF/43TVN416.pdf>. (rus)
8. Jin L., Du X.-L. Meso numerical simulation of reinforced concrete members. *Shuili Xuebao*. 2012. V. 43. No. 10. Pp. 1230–1242.
9. Shimanovsky A., Kuziomkina H., Pleskachevskii Yu., Yakubovich V. Finite element modeling of the cement matrix and filler grains interaction. *Technology*. 2013. V. 5. No. 4. Pp. 171–174.
10. Lippmann N., Steinkopff Th., Schmauder S., Gumbsch P. 3D-finite-element-modelling of microstructures with the method of multiphase elements. *Computational Materials Science*. 1997. V. 9. No. 1–2. Pp. 28–35.
11. Wulf J., Schmauder S., Fischmeister H.F. Finite element modelling of crack propagation in ductile fracture. *Computational Materials Science*. 1993. V. 1. No. 3. Pp. 297–301.
12. Knyazeva E.N., Kukareko V.A., Aleksandrov V.Yu., Timoshenko N.P. Primenenie metoda konechnykh elementov pri issledovanii kompozitsionnykh materialov. Podkhody, metodiki, programmnye sredstva [Finite element method for investigation of composite materials. Approaches, methods, computer programs]. *Mekhanika mashin, mekhanizmov i materialov*. 2013. No. 3(24). Pp. 69–76. (rus)
13. Mohammadi Shah M., Komeili M., Phillion A.B., Milani A.S. Toward better understanding of the effect of fiber distribution on effective elastic properties of unidirectional composite yarns. *Computers and Structures*. 2016. V.163. Pp. 29–40.
14. Kurkin E.I., Sadykova V.O. Application of short fiber reinforced composite materials multilevel model for design of ultra-light aerospace structures. *Procedia Engineering*. 2017. V. 185. Pp. 182–189.
15. Pleskachevskii Yu.M., Shimanovskii A.O. Komp'yuternoe modelirovanie struktury i svoistv kompozitov v nagruzhennykh konstruksiyakh [Computer modeling of structure and properties of composites in loaded structures]. *Mekhanika mashin, mekhanizmov i materialov*. 2016. No. 1 (34). Pp. 41–51. (rus)
16. Solov'ev A.N., Ziborov E.N., Shevtsov S.N. Opredelenie uprugikh svoistv armirovannykh kompozitsionnykh materialov na osnove konechno-elementnogo modelirovaniya [Finite element modeling of elastic properties of reinforced composite materials]. *Nauka Yuga Rossii*. 2016. V. 12. No. 2. Pp. 3–10. (rus)
17. Mishnev M.V., Korolev A.S., Zadorin A.A., Khoroshilov N.A. Hybrid hot-curing epoxy binder fiberglass and evaluation of its effectiveness in load-bearing chimneys. *Stroitel'stvo unikal'nykh zdaniy i sooruzhenii*. 2020. No. 8 (93). 9302.

Сведения об авторах

Бочкарева Ольга Станиславовна, специалист, Тюменский индустриальный университет, 625000, г. Тюмень, ул. Володарского, 38, olga_bos09@mail.ru

Еренчинов Сергей Александрович, канд. техн. наук, доцент, Тюменский индустриальный университет, 625000, г. Тюмень, ул. Володарского, 38, erenchinov@yandex.ru

Зимакова Галина Александровна, канд. техн. наук, доцент, Тюменский индустриальный университет, 625000, г. Тюмень, ул. Володарского, 38, zimakovaga@tyuiu.ru

Каспер Елена Александровна, ст. преподаватель, Тюменский индустриальный университет, 625000, г. Тюмень, ул. Володарского, 38, elena-kasper@mail.ru

Authors Details

Olga S. Bochkareva, Specialist, Industrial University of Tyumen, 38, Volodarskii Str., 625000, Tyumen, Russia, olga_bos09@mail.ru

Sergey A. Erenchinov, PhD, A/Professor, Industrial University of Tyumen, 38, Volodarskii Str., 625000, Tyumen, Russia, erenchinov@yandex.ru

Galina A. Zimakova, PhD, A/Professor, Industrial University of Tyumen, 38, Volodarskii Str., 625000, Tyumen, Russia, zimakovaga@tyuiu.ru

Elena A. Kasper, Senior Lecturer, Industrial University of Tyumen, 38, Volodarskii Str., 625000, Tyumen, Russia, elena-kasper@mail.ru

СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ

УДК 665.455:006.354

DOI: 10.31675/1607-1859-2021-23-5-71-85

О.В. МАТВИЕНКО^{1,2}, А.Е. ЛИТВИНОВА², Н.С. ФИРСАНОВА²,

¹Томский государственный архитектурно-строительный университет,

²Национальный исследовательский

Томский государственный университет

ИССЛЕДОВАНИЕ РАСХОДНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК УСТАНОВИВШЕГОСЯ ТЕЧЕНИЯ ВЫСОКОПАРАФИНИСТОГО БИТУМНОГО ВЯЖУЩЕГО В ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ТРУБЕ*

В работе проведено исследование расходных характеристик течения битумного вяжущего, описываемого моделью Балкли – Гершеля, в цилиндрической трубе. Определена зависимость расхода жидкости от перепада давления. Установлено, что с ростом содержания парафинов и смол происходит увеличение предельного напряжения сдвига и консистенции среды, что приводит к уменьшению расходных характеристик при заданном перепаде давления.

Ключевые слова: реология; битумные вяжущие; вязкопластические среды; вязкость; неньютоновские жидкости; модель Балкли – Гершеля.

Для цитирования: Матвиенко О.В., Литвинова А.Е., Фирсанова Н.С. Исследование расходных характеристик установившегося течения высокопарафинистого битумного вяжущего в цилиндрической трубе // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2021. Т. 23. № 5. С. 71–85.
DOI: 10.31675/1607-1859-2021-23-5-71-85

O.V. MATVIENKO^{1,2}, A.E. LITVINOVA², N.S. FIRSANOVA²,

¹Tomsk State University of Architecture and Building,

²National Research Tomsk State University

STABILIZED FLOW RATE OF HIGH-PARAFFIN ASPHALT CEMENT IN CYLINDRICAL PIPE

The paper studies the flow rate of asphalt cement described by Herschel–Bulkley fluid in a cylindrical pipe. The dependence is suggested for the fluid flow rate and the pressure drop. It is found

* Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-31-90078.

that with increasing content of paraffins and resins, the yield stress and consistency of the medium increase, thereby leading to a decrease in the flow rate parameters at a given pressure drop.

Keywords: rheology; asphalt cement; viscoplastic media; viscosity; non-Newtonian fluid; Herschel–Bulkley fluid.

For citation: Matvienko O.V., Litvinova A.E., Firsanov N.S. Issledovanie raskhodnykh kharakteristik ustanovivshegosya techeniya vysokoparafinitogo bitumnogo vyazhushchego v tsilindricheskoi trube [Stabilized flow rate of high-paraffin asphalt cement in cylindrical pipe]. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture. 2021. V. 23. No. 5. Pp. 71–85.

DOI: 10.31675/1607-1859-2021-23-5-71-85

Введение

Одним из основных материалов, применяемых в дорожном строительстве, является асфальтобетон [1–3]. Структурообразующим компонентом асфальтобетонной смеси служит битумное вяжущее [4].

Углеводороды, входящие в битумные вяжущие, отличаются сложным составом и структурой [5]. Поскольку элементный состав битумов дает приближенное представление о возможных химических соединениях, входящих в их состав, предложено определять групповой химический состав вяжущих. Разделение различных соединений на группы основано на их избирательном отношении к растворителям и адсорбентам [6]. Из битумов обычно выделяют следующие группы углеводородов: масла, смолы (бензолные и спиртобензолные), асфальтены, реже асфальтогеновые кислоты и их ангидриды, карбены и карбоиды [7].

При использовании битумных вяжущих необходимо учитывать свойства и особенности структуры исходного материала. Течение битумов в диапазоне температур от 30 до 100 °С характеризуется неньютоновскими свойствами [8, 9]. Неньютоновское поведение характеризуется зависящей от скорости деформации сдвиговой вязкостью и происходит вследствие специфической молекулярной структуры битума [10, 11].

Движение макромолекул в жидких битумных вяжущих происходит относительно независимо друг от друга. Поэтому постоянные контакты между макромолекулами отсутствуют. Неньютоновское поведение таких сред обусловлено изменением формы их макромолекул в результате воздействия перепада давления. Увеличение концентрации макромолекул приводит к более частым контактам между макромолекулами и образованию сетки зацеплений, препятствующей сдвиговому течению [12, 13]. Содержание тяжелых углеводородов в битумном вяжущем характеризует показатель консистенции k . Чем больше значение k , тем большая доля тяжелых углеводородов содержится в среде и меньше ее текучесть.

Структуру макромолекул среды характеризует показатель нелинейности n [14]. Для простейшей модели макромолекул в виде упругих шаров показатель нелинейности $n = 1$, что соответствует модели ньютоновской жидкости. С увеличением длины и разветвленности макромолекул показатель нелинейности уменьшается.

Дисперсная фаза в битумном вяжущем в случае высокого содержания парафинов образует непрерывную трехмерную коагуляционную структуру [12, 15]. Эта структура обладает определенной прочностью, характеризуемой предельным напряжением сдвига σ_Y . Увеличение σ_Y повышает сопротивляемость среды сдвигу и уменьшает скорость сдвиговых деформаций.

Для описания деформационного поведения различных структурированных дисперсных сред существует множество реологических моделей, передающих в определенном диапазоне напряжений сдвига отдельные особенности реального течения [16–20].

Для одновременного учета нелинейности кривой течения и наличия предельного напряжения сдвига используется реологическое уравнение Балкли – Гершеля [15, 21, 22], которое представляет собой комбинацию нелинейно-вязкой модели Оствальда – де Вейля [12, 23–26] и вязкопластической модели Шведова – Бингама [20]:

$$\begin{aligned} \tau_{ij} &= 2 \left(KU^{n-1} + \frac{\sigma_Y}{U} \right) \dot{\epsilon}_{ij}, & \text{если } \sigma_Y < T, \\ \dot{\epsilon}_{ij} &= 0, & \text{если } T < \sigma_Y. \end{aligned} \quad (1)$$

Здесь τ_{ij} , $\dot{\epsilon}_{ij}$ – компоненты тензора напряжений и скоростей деформации;

$T = \sqrt{\tau_{ij}\tau_{ij}} / 2$ – интенсивность сдвиговых напряжений; U – интенсивность скоростей сдвиговых деформаций, которая определяется выражением [27, 28]:

$$U = \sqrt{2\dot{\epsilon}_{ij}^D \dot{\epsilon}_{ji}^D}, \quad (2)$$

где $\dot{\epsilon}_{ij}^D = \dot{\epsilon}_{ij} - \frac{1}{3}\dot{\epsilon}_{kk}\delta_{ij}$ – компоненты девиатора тензора скоростей деформации.

Цикл теоретических исследований процессов течения и модифицирования битумов в технологических устройствах проведен в работах [29–36]. В работах [29, 30] приведены результаты исследования процессов модифицирования битумов в кавитационно-смесительном диспергаторе и инжекторном смесителе. В работе [31] построена модель движения пузырька в закрученном потоке неньютоновской жидкости, что дает возможность оптимизировать процесс вспенивания битума, улучшая его свойства. В работах [32, 33] исследована кавитация в кавитационно-смесительном диспергаторе. В работе [34] разработана физико-математическая модель и выполнен расчет распада струи битума в закрученном потоке водной фазы. Показано, что рост закрутки потока приводит к интенсификации турбулентности в потоке и, следовательно, способствует более быстрому распаду струи. В работе [35] проведено численное исследование перехода к турбулентному режиму течения внутренних закрученных потоков битумных вяжущих. Исследованию смешения коаксиальных закрученных потоков для приготовления битумных дисперсных систем посвящена работа [36].

Настоящая работа является продолжением исследований течения высокопарафинистого битумного вяжущего [37]. Целью работы является определение расходных характеристик установившегося течения битумного вяжущего, описываемого моделью Балкли – Гершеля, в цилиндрическом канале.

Математическая модель течения битумного вяжущего

Рассмотрим установившееся осесимметричное течение высокопарафинистого битумного вяжущего в прямой горизонтальной трубе круглого сечения радиусом R . Координату x , отсчитываемую вдоль оси трубы, направим вниз по потоку. При этих условиях уравнение движения может быть записано в виде [38, 39]:

$$-\frac{dp}{dx} + \frac{1}{r} \frac{d}{dr} (r \tau_{rx}) = 0. \quad (3)$$

После интегрирования этого уравнения получим

$$\tau_{rx} = -\frac{1}{2} \left| \frac{dp}{dx} \right| r. \quad (4)$$

Характерной особенностью течения вязкопластических сред Балкли – Гершеля является наличие в потоке жестких зон. Если интенсивность сдвиговых напряжений $T = \sqrt{\tau_{ij} \tau_{ij} / 2} = |\tau_{rx}|$, возникающих в среде, не превосходит предела текучести σ_Y , то среда ведет себя как твердое тело. Для возникновения сдвигового течения необходимо выполнение условия $T > \sigma_Y$. В сдвиговой зоне для установившегося течения в трубе реологический закон Балкли – Гершеля можно записать в виде

$$\tau_{rx} = - \left(k \left| \frac{du}{dr} \right|^n + \sigma_Y \right). \quad (5)$$

Из уравнения (4) следует, что в приосевой области $|\tau_{rx}| < \sigma_Y$. Таким образом, вблизи оси формируется жесткая зона, в которой отсутствуют деформации. Радиальная координата границы этой зоны может быть найдена из условия равенства напряжений на этой границе предельному напряжению сдвига:

$$r_Y = 2\sigma_Y \left| \frac{\partial p}{\partial x} \right|^{-1}. \quad (6)$$

Во внешней части потока происходит сдвиговое течение среды, которое с учетом соотношений (4) и (5) описывается зависимостью

$$k \left| \frac{du}{dr} \right|^n + \sigma_Y = \frac{1}{2} \left| \frac{dp}{dx} \right| r. \quad (7)$$

Принимая во внимание соотношение (6), уравнение (7) можно записать в виде

$$\frac{du}{dr} = - \left(\frac{\sigma_Y}{kr_Y} \right)^{1/n} (r - r_Y)^{1/n}. \quad (8)$$

Интегрирование уравнения (8) с учетом условия прилипания на стенке

$$r = R : \quad u = 0 \quad (9)$$

приводит к следующему результату:

$$u = \frac{n}{n+1} \left(\frac{\sigma_Y}{kr_Y} \right)^{1/n} (R - r_Y)^{(n+1)/n} \left[1 - \left(\frac{r - r_Y}{R - r_Y} \right)^{(n+1)/n} \right]. \quad (10)$$

Во внутренней области течения $r < r_Y$ среда движется как твердое тело с плоским профилем осевой скорости:

$$u = u_Y = \frac{n}{n+1} \left(\frac{\sigma_Y}{kr_Y} \right)^{1/n} (R - r_Y)^{(n+1)/n}. \quad (11)$$

Расход жидкости через поперечное сечение трубы вычисляется по формуле

$$Q = 2\pi \int_0^R u r dr = 2\pi \frac{n}{3n+1} \left(\frac{\sigma_Y}{kr_Y} \right)^{1/n} (R - r_Y)^{(n+1)/n} \times \\ \times \left[\frac{1}{2} R^2 + \frac{1}{2n+1} R r_Y + \frac{n^2}{(n+1)(2n+1)} r_Y^2 \right], \quad (12)$$

а среднерасходная скорость определяется как

$$\bar{u} = 2 \frac{n}{3n+1} \left(\frac{\sigma_Y}{kr_Y} \right)^{1/n} (R - r_Y)^{(n+1)/n} \left[\frac{1}{2} + \frac{1}{2n+1} \frac{r_Y}{R} + \frac{n^2}{(n+1)(2n+1)} \frac{r_Y^2}{R^2} \right]. \quad (13)$$

Определим среднерасходную вязкость неньютоновской жидкости $\bar{\mu}$ как вязкость ньютоновской жидкости, движущейся со среднерасходной скоростью $\bar{u}$ в трубе радиусом R под действием перепада давления $|dp/dx|$. Введение среднерасходной вязкости позволяет при проведении гидравлических расчетов вместо неньютоновской среды рассматривать ньютоновскую жидкость с вязкостью $\bar{\mu}$.

Для ньютоновской жидкости связь между перепадом давления и массовым расходом определяется выражением

$$Q = \frac{\pi R^4}{8\bar{\mu}} \left| \frac{dp}{dx} \right|. \quad (14)$$

Таким образом, среднерасходная вязкость потока $\bar{\mu}$ будет равна

$$\bar{\mu} = \frac{3n+1}{8n} \sigma_Y^{(n-1)/n} k^{1/n} \left(\frac{R}{r_Y} \right)^2 \left(\frac{R}{r_Y} - 1 \right)^{-(n+1)/n} \times \\ \times \left[\frac{1}{2} + \frac{1}{2n+1} \frac{r_Y}{R} + \frac{n^2}{(n+1)(2n+1)} \left(\frac{r_Y}{R} \right)^2 \right]^{-1}. \quad (15)$$

Результаты математического моделирования

Перейдем к анализу полученных результатов. Диапазон изменения параметров был выбран следующим: предельное напряжение сдвига – $\sigma_Y = 0-40$ Па, консистенция изменялась в пределах $k = 5-25$ Па·сⁿ, показатель нелинейности –

$n = 0,375-1$. Выбранный диапазон изменения параметров соответствует свойствам высокопарафинистых битумных вязущих для различных температур [6–8]. Перепад давления варьировался в диапазоне $|dp/dx| = 100-5000$ Па/м. Радиус канала составлял $R = 0,1$ м.

На рис. 1 показана зависимость объемного расхода жидкости Q от перепада давления $|dp/dx|$.

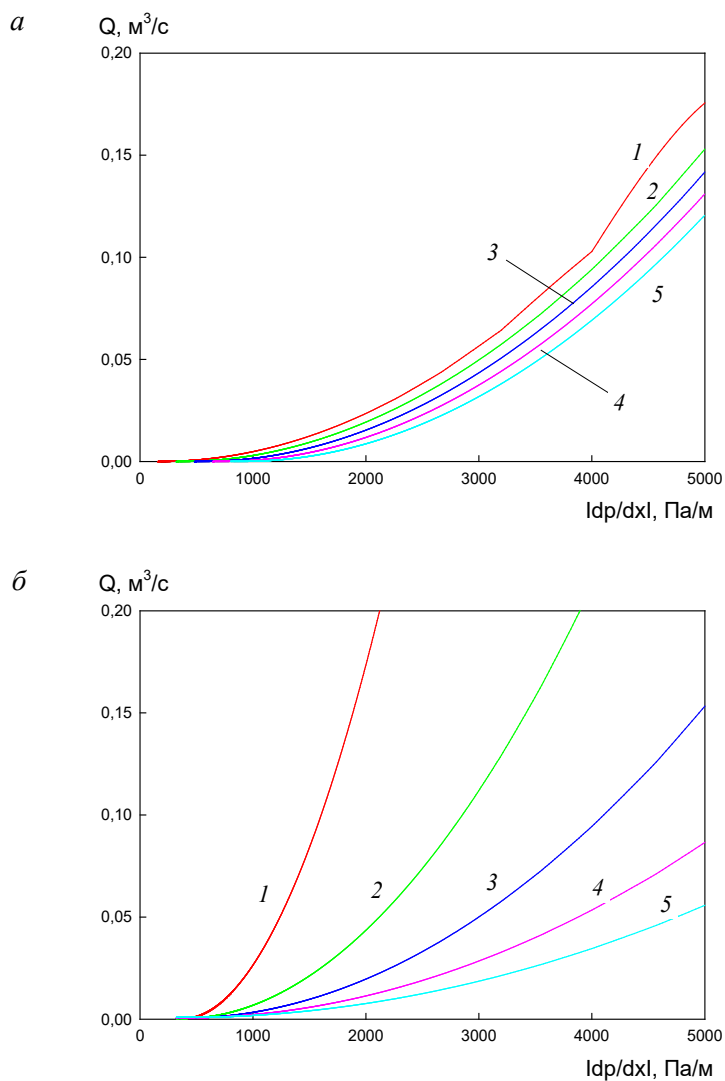


Рис. 1. Зависимость объемного расхода Q от перепада давления $|dp/dx|$, $R = 0,1$ м (окончание см. на с. 77):

$a - k = 15 \text{ Па} \cdot \text{с}^{0,5}$, $n = 0,5$: 1 – $\sigma_Y = 8$ Па; 2 – $\sigma_Y = 16$ Па; 3 – $\sigma_Y = 24$ Па; 4 – $\sigma_Y = 32$ Па; 5 – $\sigma_Y = 40$ Па; $б - \sigma_Y = 16$ Па, $n = 0,5$: 1 – $k = 5 \text{ Па} \cdot \text{с}^{0,5}$; 2 – $k = 10 \text{ Па} \cdot \text{с}^{0,5}$; 3 – $k = 15 \text{ Па} \cdot \text{с}^{0,5}$; 4 – $k = 20 \text{ Па} \cdot \text{с}^{0,5}$; 5 – $k = 25 \text{ Па} \cdot \text{с}^{0,5}$

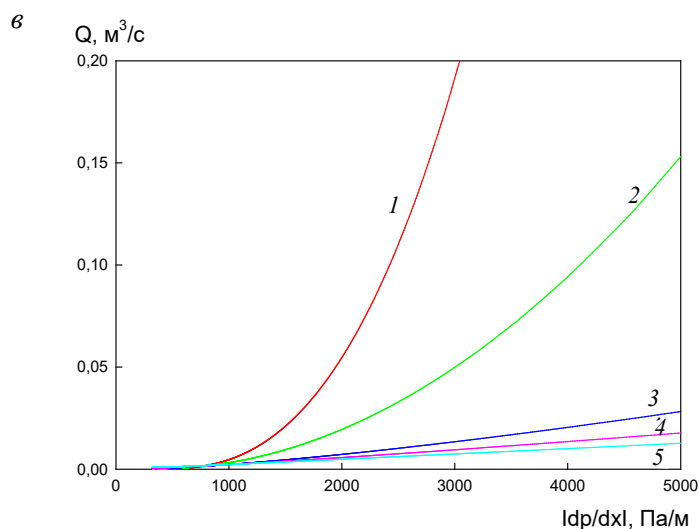


Рис. 1. Окончание (начало см. на с. 76):

$\sigma_Y = 16$ Па, $k = 15$ Па·с^{*n*}: 1 – $n = 0,375$; 2 – $n = 0,5$; 3 – $n = 0,75$; 4 – $n = 0,875$; 5 – $n = 1$ (жидкость Шведова – Бингама)

Характерной особенностью вязкопластических сред, наиболее заметной при низких температурах, является существование коагуляционной структуры. Эта структура сохраняется при малой величине приложенного напряжения. Течение в канале реализуется при выполнении условия $2\sigma_Y/R < |dp/dx|$, в противном случае происходит запирание канала, и течение становится невозможным. С увеличением перепада давления интенсифицируются процессы разрушения структуры среды, что приводит к росту объемного расхода и среднерасходной скорости потока.

С ростом содержания парафинов происходит увеличение предельного напряжения сдвига σ_Y , при этом увеличивается прочность коагуляционной структуры. В результате этого с ростом σ_Y расходные характеристики уменьшаются (рис. 1, а).

Содержание смол в вязущем определяет величину показателя консистенции k . Поэтому в средах, характеризуемых высокими значениями показателя консистенции, для обеспечения заданного расхода требуется приложить большой перепад давления (рис. 1, б).

Структурная сложность среды характеризуется показателем нелинейности n . С увеличением n содержание высокомолекулярных соединений в вязущем уменьшается, среда становится более подвижной. Поэтому при заданном перепаде давления расходные характеристики увеличиваются (рис. 1, в).

На рис. 2 показана зависимость среднерасходной вязкости $\bar{\mu}$ от перепада давления $|dp/dx|$, рассчитанная для различных значений реологических параметров. Эта зависимость имеет вид гиперболы с вертикальной асимптотой, соответствующей условию запирания потока: $|dp/dx| = 2\sigma_Y/R$. С увеличением

перепада давления жидкость становится более подвижной. В результате этого среднерасходная вязкость потока уменьшается и при $|dp/dx| \rightarrow \infty$ $\bar{\mu} \rightarrow 0$. Такой результат (исчезновение вязкости потока) является нефизичным, связанным с особенностью используемой реологической модели. Однако на практике величина перепада давления всегда ограничена некоторой величиной, обусловленной характеристиками используемого оборудования. Поэтому при правильном определении значений реологических параметров можно использовать полученные зависимости с точностью, необходимой для инженерных расчетов.

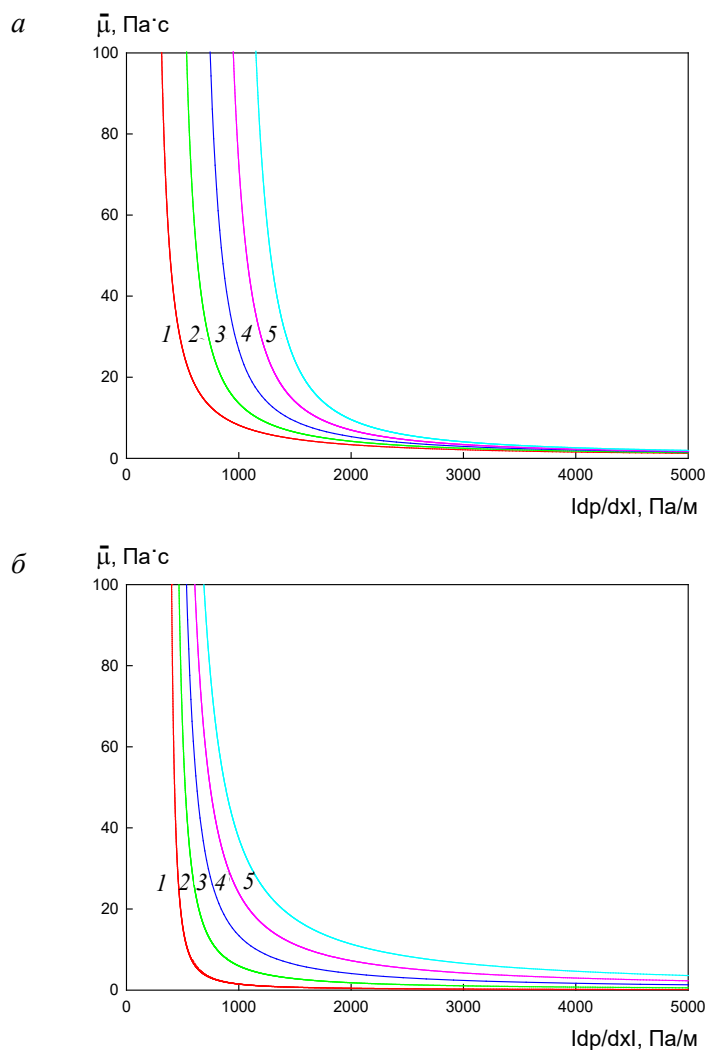


Рис. 2. Зависимость среднерасходной вязкости $\bar{\mu}$ от перепада давления $|dp/dx|$, $R = 0,1$ м (окончание см. на с. 79):

$a - k = 15 \text{ Па} \cdot \text{с}^{0,5}$, $n = 0,5$: 1 – $\sigma_Y = 8 \text{ Па}$; 2 – $\sigma_Y = 16 \text{ Па}$; 3 – $\sigma_Y = 24 \text{ Па}$; 4 – $\sigma_Y = 32 \text{ Па}$; 5 – $\sigma_Y = 40 \text{ Па}$; $b - \sigma_Y = 16 \text{ Па}$, $n = 0,5$: 1 – $k = 5 \text{ Па} \cdot \text{с}^{0,5}$; 2 – $k = 10 \text{ Па} \cdot \text{с}^{0,5}$; 3 – $k = 15 \text{ Па} \cdot \text{с}^{0,5}$; 4 – $k = 20 \text{ Па} \cdot \text{с}^{0,5}$; 5 – $k = 25 \text{ Па} \cdot \text{с}^{0,5}$

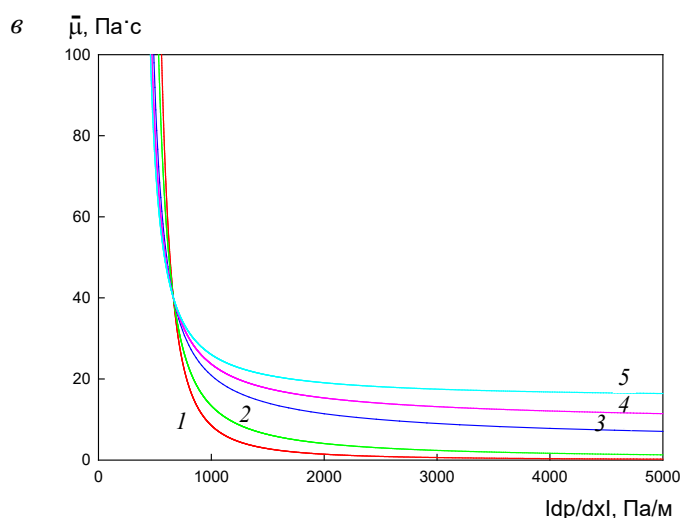


Рис. 2. Окончание (начало см. на с. 78):

$\sigma_Y = 16$ Па, $k = 15$ Па·с ^{n} : 1 — $n = 0,375$; 2 — $n = 0,5$; 3 — $n = 0,75$; 4 — $n = 0,875$; 5 — $n = 1$ (жидкость Шведова – Бингама)

Уменьшение среднерасходной вязкости высокопарафинистых битумных вяжущих с ростом перепада давления объясняется особенностями их внутреннего строения. В неподвижном состоянии дисперсная фаза образует непрерывную структуру, обладающую определенной прочностью. При низких значениях $|dp/dx|$ течение происходит по тонким прослойкам между элементами твердофазной структуры [40, 41]. Гидравлическое сопротивление в этом случае очень велико, что и обуславливает высокие значения вязкости при низких значениях перепада давления. При высоких значениях $|dp/dx|$ происходит разрушение коагуляционной структуры, приводящее к уменьшению вязкости.

С увеличением предельного напряжения сдвига σ_Y вертикальная асимптота зависимости среднерасходной вязкости от перепада давления смещается вправо, при этом крутизна кривых уменьшается (рис. 2, а). Величина среднерасходной вязкости увеличивается с ростом σ_Y . Этот эффект наиболее выражен для низкоскоростных потоков, движущихся при умеренном перепаде давления $2\sigma_Y/R < |dp/dx| < 10\sigma_Y/R$.

Рост значений параметра консистенции приводит к увеличению значений эффективной вязкости. При этом с ростом k зависимость среднерасходной вязкости от перепада давления становится более пологой (рис. 2, б).

Анализ влияния нелинейности на изменение среднерасходной вязкости с ростом перепада давления позволяет сделать следующие выводы. При малых перепадах давления $2\sigma_Y/R < |dp/dx| < 4\sigma_Y/R$ эффективная вязкость растет при уменьшении показателя n . Действительно, в средах с выраженными пластическими свойствами процесс течения сопровождается деформацией макро-

молекул и их ориентацией по потоку, что приводит к дополнительным затратам энергии. При этом рост диссипативных потерь проявляется как увеличение эффективной вязкости. При больших перепадах давления $4\sigma_y/R < |dp/dx|$, когда процессы перестройки течения на микроуровне завершились, пластическая среда становится более подвижной по сравнению с ньютоновской. Это приводит к уменьшению эффективной вязкости в средах с малыми значениями показателя нелинейности (рис. 2, в).

Заключение

В ходе выполнения работы исследована структура течения и гидравлические характеристики высокопарафинистого битумного вяжущего и получены следующие результаты:

С ростом содержания парафинов происходит увеличение предельного напряжения сдвига σ_y , при этом увеличивается прочность коагуляционной структуры, что приводит к уменьшению расходных характеристик при заданном перепаде давления.

Содержание смол в битумном вяжущем определяет величину показателя консистенции k , поэтому в средах, характеризующихся высокими значениями показателя консистенции, для обеспечения заданного расхода требуется приложить большой перепад давления.

С увеличением показателя нелинейности n содержание высокомолекулярных соединений в битумах уменьшается, поэтому при заданном перепаде давления расходные характеристики увеличиваются.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Методические рекомендации* по проектированию жестких дорожных одежд. Москва : Информавтодор. 2004.
2. *ТР 134-03*. Технические рекомендации по устройству и приемке в эксплуатацию дорожных покрытий с учетом требований международных стандартов по ровности. Москва : Москва, 2003.
3. Матвиенко О.В., Базуев В.П., Веник В.Н., Базаров Р.Б., Арутюнян Э.Р. Математическое моделирование сдвигоустойчивости асфальтобетонных покрытий автомобильных дорог // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2017. № 4 (63). С. 158–170.
4. Бабак О.Г., Старков Г.Б. Применение модифицированных вяжущих в дорожном строительстве // Дорожная техника и технологии. 2001. № 5. С. 72–75.
5. Гун Р.Б. Нефтяные битумы. Москва : Химия, 1973. 432 с.
6. Грудников И.Б. Производство нефтяных битумов. Москва : Химия, 1983. 192 с.
7. Галдина В.Д. Модифицированные битумы. Омск : СибАДИ, 2009. 228 с.
8. Матвиенко О.В., Унгер Ф.Г., Базуев В.П. Математические модели производственных процессов для приготовления битумных дисперсных систем. Томск : Изд-во ТГАСУ, 2015.
9. Sybilski D. Non-newtonian viscosity of polymer-modified bitumens // Materials and Structures. 1993. V. 26. P. 15–23. DOI:10.1007/BF02472233
10. Золотарев В.А. Дорожные битумные вяжущие и асфальтобетоны. Харьков : ХНАДУ, 2014. 180 с.
11. Матвиенко О.В., Базуев В.П., Дульзон Н.К., Смирнова Н.Г., Агафонова М.В. Численное исследование структуры течения и теплообмена при закрученном течении битумно-дисперсных систем в цилиндрических каналах // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2014. № 2 (43). С. 80–93.

12. Малкин А.Я., Исаев А.И. Реология: концепции, методы, приложения. Санкт-Петербург : Профессия, 2007. 560 с.
13. Уилкинсон У.Л. Неньютоновские жидкости. Москва : Мир, 1964.
14. Кутепов А.М., Полянин Л.Д., Запryanов З.Д., Вязьмин А.В., Казенин Д.А. Химическая гидродинамика : справочное пособие. Москва : Бюро Квантум, 1996.
15. Климов Д.М., Петров А.Г., Георгиевский Д.В. Вязкопластические течения: динамический хаос, устойчивость и перемешивание. Москва : Наука, 2005.
16. Матвиенко О.В. Численное исследование течения неньютоновских жидкостей в цилиндрическом канале // Известия высших учебных заведений. Физика. 2014. Т. 57. № 8-2. С. 183–189.
17. Матвиенко О.В., Евтюшкин Е.В. Математическое исследование сепарации дисперсной фазы в гидроциклоне при очистке вязкопластических буровых растворов // Инженерно-физический журнал. 2011. Т. 84. № 2. С. 243–252.
18. Matvienko O.V., Bazuev V.P., Venik V.N., Smirnova N.G. Numerical investigation of Herschel – Bulkley fluids mixing // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering Advanced Materials in Construction and Engineering. Ser. «International Scientific Conference of Young Scientists: Advanced Materials in Construction and Engineering, TSUAB 2014». 2015. P. 012034.
19. Матвиенко О.В., Базуев В.П., Дульзон Н.К. Математическое моделирование течения закрученного потока вязкопластической жидкости в цилиндрическом канале // Инженерно-физический журнал. 2014. Т. 87. № 5. С. 1129–1137.
20. Матвиенко О.В., Базуев В.П., Сабылина Н.Р., Асеева А.Е., Суртаева А.А. Исследование установившегося течения вязкопластического битумного вязжущего, описываемого моделью Шведова – Бингама, в цилиндрической трубе // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2019. Т. 21. № 3. С. 158–177.
21. Матвиенко О.В., Базуев В.П., Асеева А.Е. Математическое моделирование течения закрученного потока псевдопластической жидкости Балкли – Гершеля в цилиндрическом канале // Инженерно-физический журнал. 2019. Т. 92. № 1. С. 215–226.
22. Матвиенко О.В., Базуев В.П., Асеева А.Е. Математическое моделирование течения закрученного потока дилатантной жидкости Балкли – Гершеля в цилиндрическом канале // Инженерно-физический журнал. 2019. Т. 92. № 6. С. 2641–2651.
23. Матвиенко О.В., Базуев В.П., Южанова Н.К. Математическое моделирование течения закрученного потока псевдопластической жидкости в цилиндрическом канале // Инженерно-физический журнал. 2011. Т. 84, № 3. С. 544–547.
24. Матвиенко О.В., Базуев В.П., Южанова Н.К. Математическое моделирование течения закрученного потока дилатантной жидкости в цилиндрическом канале // Инженерно-физический журнал. 2014. Т. 87. № 1. С. 192–199.
25. Матвиенко О.В., Базуев В.П., Черкасов И.С., Асеева А.Е., Веник В.Н. Течение битумного вязжущего, описываемого моделью Оствальда – де Вейля, в цилиндрической трубе // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2020. Т. 22. № 1. С. 171–192.
26. Матвиенко О.В., Базуев В.П., Черкасов И.С., Литвинова А.Е. Исследование гидравлических характеристик потока водно-песчаной суспензии в трубе // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2020. Т. 22. № 2. С. 129–144.
27. Матвиенко О.В. Исследование установившегося течения псевдопластической жидкости, описываемой моделью Сиско, в цилиндрической трубе // Вестник Томского государственного университета. Математика и механика. 2018. № 55. С. 99–112.
28. Лойцянский Л.Г. Механика жидкости и газа. Москва : Наука, 1974.
29. Базуев В.П., Матвиенко О.В., Вороненко В.Л. Моделирование процесса модифицирования битума в кавитационно-смесительном диспергаторе // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2010. № 4. С. 121–128.
30. Матвиенко О.В., Базуев В.П., Туркасова Н.Г., Байгулова А.И. Исследование процесса модификации битума в инжекторном смесителе // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2013. № 3. С. 202–213.

31. Матвиенко О.В., Агафонцева М.В., Базуев В.П. Исследование динамики пузырька в закрученном потоке нелинейно-вязкой жидкости // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2012. № 4. С. 144–156.
32. Матвиенко О.В., Базуев В.П., Веник В.Н., Смирнова Н.Г. Численное исследование процесса образования кавитационных пузырьков в смесительном устройстве // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2014. № 4 (45). С. 231–245.
33. Матвиенко О.В., Базуев В.П., Веник В.Н., Смирнова Н.Г. Экспериментальное исследование процесса кавитации в технологических устройствах // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2015. № 6. С. 165–176.
34. Матвиенко О.В., Эфа А.К., Базуев В.П., Евтюшкин Е.В. Численное моделирование распада турбулентной струи в спутном закрученном потоке // Известия вузов. Физика. 2006. Т. 49. № 6. С. 96–107.
35. Матвиенко О.В., Базуев В.П., Южанова Н.К. Численное исследование перехода к турбулентному режиму течения внутренних закрученных потоков битумных вязущих // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2013. № 2. С. 132–143.
36. Матвиенко О.В., Базуев В.П., Смирнова Н.Г., Пушкарева Г.В., Дульзон Н.К. Исследование смещения коаксиальных закрученных потоков для приготовления битумных дисперсных систем // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2014. № 3 (44). С. 123–134.
37. Матвиенко О.В., Литвинова А.Е. Исследование установившегося течения высокопарафинистого битумного вязущего, описываемого моделью Балкли – Гершеля, в цилиндрической трубе // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2021. Т. 23. № 4. С. 79–99.
38. Матвиенко О.В. Исследование теплообмена и формирования турбулентности во внутреннем закрученном потоке жидкости при низких числах Рейнольдса // Инженерно-физический журнал. 2014. Т. 87. № 4. С. 908–918.
39. Матвиенко О.В., Асеева А.Е. Математическое моделирование закрученного потока термовязкой псевдопластической жидкости Сиско в цилиндрическом канале // Инженерно-физический журнал. 2020. Т. 93. № 4. С. 857–869.
40. Колбановская А.С., Михайлов В.В. Дорожные битумы. Москва : Транспорт, 1973. 246 с.
41. Ширкунов А.С., Рябов В.Г., Кудинов А.В., Нечаев А.Н., Десянников А.С. Взаимосвязь адгезионных свойств нефтяных дорожных битумов и содержания в них высокоплавких парафинов // Химия и технология топлив и масел. 2011. № 1. С. 36–39.

REFERENCES

1. Metodicheskie rekomendacii po proektirovaniyu zhestkih dorozhnyh odezhd [Design recommendations on rigid pavements]. Moscow: Informavtodor. 2004 (rus)
2. Technical Recommendations 134-03 Tehnicheskie rekomendacii po ustrojstvu i priemkev jekspluataciju dorozhnyh pokrytij s uchetom trebovanij mezhdunarodnyh standartov po rovnosti [Technical recommendations for device and acceptance of operation of pavements with respect to international standards of planeness]. Moscow. 2003. (rus)
3. Matvienko O.V., Bazuyev V.P., Venik V.N., Bazarov R.B., Arutyunyan E.R. Matematicheskoye modelirovaniye sdvigoustoychivosti asfal'tobetonnykh pokrytij avtomobil'nykh dorog [Mathematical modelling of road pavement shear-resistance]. *Vestnik of Tomsk State University of Architecture and Building*. 2017. No. 4 (63). Pp. 158–170. (rus)
4. Babak O.G., Starkov G.B. Primeneniye modifitsirovannykh vyazhushchikh v dorozhnom stroitel'stve [Application of modified binders in road construction]. *Dorozhnaya tekhnika i tekhnologii*. 2001. No. 5. Pp. 72–75. (rus)
5. Gun R.P. Neftyanyye bitumy [Petroleum asphalt]. Moscow: Khimia, 1973. 432 p. (rus)
6. Grudnikov I.B. Proizvodstvo neftyanykh bitumov [Production of petroleum asphalt]. Moscow: Khimia, 1983. 192 p. (rus)
7. Galdina V.D. Modifitsirovannyye bitumy [Modified asphalt]. Omsk: SibADI. 2009. 228p. (rus)

8. Matvienko O.V., Unger F.G., Bazuev V.P. Matematicheskiye modeli proizvodstvennykh protsessov dlya prigotovleniya bitumnykh dispersnykh sistem [Mathematical models of manufacturing processes of dispersed bitumen systems]. Tomsk: TSUAB, 2015. (rus)
9. Sybilski D. Non-Newtonian viscosity of polymer-modified bitumen. *Materials and Structures*. 1993. V. 26, Pp. 15–23. DOI: 10.1007/BF02472233. (rus)
10. Zolotarev V.A. Dorozhnyye bitumnyye vyazhushchiye i asfal'tobetony [Road bituminous binders and asphalt concretes]. Kharkiv, 2014. 180 p. (rus)
11. Matvienko O.V., Bazuev V.P., Dulzon N.K., Smirnova N.G., Agafonova M.V. Chislennoye issledovaniye struktury techeniya i teploobmena pri zakruchennom techenii bitumno-dispersnykh sistem v tsilindricheskikh kanalakh. [Numerical simulation of swirling flow structure and heat transfer of bitumen dispersed systems in cylindrical channels]. *Vestnik of Tomsk State University of Architecture and Building*. 2014. No. 2 (43). Pp. 80–93. (rus)
12. Malkin A.Y., Isaev A.I. Reologiya: kontseptsii, metody, prilozheniya [Rheology: Concepts, methods, applications]. Saint-Petersburg: Professia, 2007. 560 p. (rus)
13. Wilkinson W.L. Nen'yutonovskie zhidkosti [Non-Newtonian fluids]. Moscow: Mir, 1964. (transl. from Engl.)
14. Kutepov A.M., Polyannin L.D., Zapryanov Z.D. Vyaz'min A.V., Kazenin D.A. Khimicheskaya gidrodinamika: spravochnoye posobiye [Chemical hydrodynamics. Handbook]. Moscow: Byuro Kvantum, 1996. (rus)
15. Klimov D.M., Petrov A.G., Georgievsky D.V. Vyazkoplasticheskiye techeniya: dinamicheskiy khaos, ustoychivost' i peremeshivaniye [Viscoplastic flows: Dynamic chaos, stability and mixing]. Moscow: Nauka, 2005. (rus)
16. Matvienko O.V. Chislennoye issledovaniye techeniya nen'yutonovskikh zhidkostey v tsilindricheskom kanale [Numerical simulation of non-Newtonian fluids in cylindrical channel]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Fizika*. 2014. V. 57. No. 8-2. Pp. 183–189. (rus)
17. Matvienko O.V., Evtushkin E.V. Matematicheskoye issledovaniye separatsii dispersnoy fazy v gidrotsiklone pri ochistke vyazkoplasticheskikh burovykh rastvorov [Mathematical simulation of dispersed phase separation in hydrocyclone during cleaning of viscoplastic mud]. *Inzhenerno-fizicheskyy zhurnal*. 2011. V. 84. No. 2. Pp. 243–252. (rus)
18. Matvienko O.V., Bazuev V.P., Venik V.N., Smirnova N.G. Numerical investigation of Herschel–Bulkley fluid mixing. In: IOP Conference Series: Materials Science and Engineering Advanced Materials in Construction and Engineering; *Proc. Int. Sci. Conf. of Young Scientists 'Advanced Materials in Construction and Engineering'*. TSUAB, 2015. 012034. (rus)
19. Matvienko O.V., Bazuev V.P., Dulzon N.K. Matematicheskoye modelirovaniye techeniya zakruchennogo potoka vyazkoplasticheskoy zhidkosti v tsilindricheskom kanale [Mathematical modeling of swirling flow of pseudoplastic fluid in cylindrical channel]. *Inzhenerno-fizicheskyy zhurnal*. 2014. V. 87. No. 5. Pp. 1129–1137. (rus)
20. Matvienko O.V., Bazuev V.P., Sabylina N.R., Aseeva A.E., Surtaeva A.A. Issledovanie ustanovivshegosya techeniya vyazkoplasticheskogo bitumnogo vyazhushchego, opisyvaemogo model'yu Shvedova – Bingama, v tsilindricheskoi trube [Shvedov-Bingham model of steady flow of visco-plastic bitumen binder in cylindrical tube]. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturnostroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture*. 2019. V. 20. No. 3. Pp. 158–177. DOI: 10.31675/1607-1859-2019-21-3-158-177. (rus)
21. Matvienko O.V., Bazuev V.P., Aseeva A.E. Matematicheskoye modelirovaniye techeniya zakruchennogo potoka psevdoplasticheskoy zhidkosti Balkli–Gershelya v tsilindricheskom kanale [Mathematical modeling of swirling flow of pseudoplastic Bulkley–Herschel fluid in cylindrical channel]. *Inzhenerno-fizicheskyy zhurnal*. 2019. V. 92. No. 1. Pp. 215–226. (rus)
22. Matvienko O.V., Bazuev V.P., Aseeva A.E. Matematicheskoye modelirovaniye techeniya zakruchennogo potoka dilatantnoy zhidkosti Balkli–Gershelya v tsilindricheskom kanale [Mathematical simulation of swirling flow of dilatant Bulkley–Herschel fluid in cylindrical channel]. *Inzhenerno-fizicheskyy zhurnal*. 2019. V. 92. No. 6. Pp. 2641–2651. (rus)
23. Matvienko O.V., Bazuev V.P., Yuzhanova N.K., Yuzhanova N.K. Matematicheskoye modelirovaniye techeniya zakruchennogo potoka psevdoplasticheskoy zhidkosti v tsilindricheskom kanale [Mathematical modeling of swirling flow of pseudoplastic fluid in cylindrical channel]. *Inzhenerno-fizicheskyy zhurnal*. 2011. V. 84. No. 3. Pp. 544–547. (rus)

24. Matvienko O.V., Bazuev V.P., Yuzhanova N.K. Matematicheskoye modelirovaniye techeniya zakruchennogo potoka dilatantnoy zhidkosti v tsilindricheskom kanale [Mathematical modeling of swirling flow of dilatant fluid in cylindrical channel]. *Inzhenerno-fizicheskiy zhurnal*. 2014. V. 87. No. 1. Pp. 192–199. (rus)
25. Matvienko O.V., Bazuev V.P., Cherkasov I.S., Litvinova A.E. Techenie bitumnogo vyazhushchego, opisyyaemogo model'yu Ostval'da – de Veilya, v tsilindricheskoi trube [Liquid asphalt binders in cylindrical tube in terms of the Ostwald–de Waele model]. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture*. 2020. V. 22. No. 1. Pp. 129–144. (rus)
26. Matvienko O.V., Bazuev V.P., Cherkasov I.S., Aseeva A.E. Issledovanie gidravlicheskiy kharakteristik potoka vodno-peschanoy suspensii v trube [Hydraulic properties of sand slurry flow in a pipe]. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture*. 2020. V. 22. No. 2. Pp. 171–192. (rus)
27. Matvienko O.V. Issledovaniye ustanovivshegosya techeniya psevdoplasticheskoy zhidkosti, opisyyaemoy model'yu Sisko, v tsilindricheskoy trube [Steady-state flow of pseudoplastic fluid in cylindrical tube described by the Sisko model]. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Matematika i mekhanika*. 2018. No. 55. Pp. 99–112. (rus)
28. Loitsyansky L.G. Mekhanika zhidkosti i gaza [Mechanics of fluids and gas]. Moscow: Nauka, 1974. (rus)
29. Bazuev V.P., Matvienko O.V., Voronenko V.L. Modelirovaniye protsessa modifitsirovaniya bituma v kavitatsionno-smesitel'nom dispergatore [Modeling of modifying bitumen in a cavitation mixing disperser]. *Vestnik of Tomsk State University of Architecture and Building*. 2010. No. 4. P. 121–128. (rus)
30. Matvienko O.V., Bazuev V.P., Turkasova N.G., Baygulova A.I. Issledovaniye protsessa modifikatsii bituma v inzhektorom smesitele [Bitumen modification in injector mixer]. *Vestnik of Tomsk State University of Architecture and Building*. 2013. No. 3. Pp. 202–213. (rus)
31. Matvienko O.V., Agafontseva M.V., Bazuev V.P. Issledovaniye dinamiki puzyr'ka v zakruchennom potoke nelineynno-vyazkoy zhidkosti [Bubble dynamics in swirling flow of nonlinear viscous fluid]. *Vestnik of Tomsk State University of Architecture and Building*. 2012. No. 4. Pp. 144–156. (rus)
32. Matvienko O.V., Bazuev V.P., Venik V.N., Smirnova N.G. Chislennoye issledovaniye protsessa obrazovaniya kavitatsionnykh puzyr'kov v smesitel'nom ustroystve [Numerical simulation of cavitation bubbles in a mixing device]. *Vestnik of Tomsk State University of Architecture and Building*. 2014. No. 4 (45). Pp. 231–245. (rus)
33. Matvienko O.V., Bazuev V.P., Venik V.N., Smirnova N.G. Eksperimental'noye issledovaniye protsessa kavitatsii v tekhnologicheskikh ustroystvakh [Cavitation process provided by technological devices]. *Vestnik of Tomsk State University of Architecture and Building*. 2015. No. 6. Pp. 165–176. (rus)
34. Matvienko O.V., Efa A.K., Bazuev V.P., Evtyushkin E.V. Chislennoye modelirovaniye raspada turbulentnoy strui v sputnom zakruchennom potoke. [Numerical simulation of turbulent jet decay in swirling flow]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Fizika*. 2006. V. 49, No. 6. Pp. 96–107. (rus)
35. Matvienko O.V., Bazuev V.P., Yuzhanova N.K. Chislennoye issledovaniye perekhoda k turbulentnomu rezhimu techeniya vnutrennikh zakruchennykh potokov bitumnykh vyazhushchikh. [Numerical simulation of transition to the turbulent mode of internal swirl flows of bitumen binders]. *Vestnik of Tomsk State University of Architecture and Building*. 2013. No. 2. Pp. 132–143. (rus)
36. Matvienko O.V., Bazuev V.P., Smirnova N.G., Pushkareva G.V., Dulzon N.K. Issledovaniye smesheniya koaksial'nykh zakruchennykh potokov dlya prigotovleniya bitumnykh dispersnykh sistem [Mixing coaxial swirl flows for preparation of dispersed bitumen systems]. *Vestnik of Tomsk State University of Architecture and Building*. 2014. No. 3 (44). Pp. 123–134. (rus)
37. Matvienko O.V., Litvinova A.E. Issledovanie ustanovivshegosya techeniya vysokoparafinitogo bitumnogo vyazhushchego, opisyyaemogo model'yu Balkli – Gershelya, v tsilindricheskoi trube [Steady flow of high-paraffin bituminous binder in cylindrical tube in terms of Herschel–Bulkley fluid]. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture*. 2021. V. 23. No. 4. Pp. 79–99. (rus)

38. *Matvienko O.V.* Issledovaniye teploobmena i formirovaniya turbulentnosti vo vnutrennem zakruchennom potoke zhidkosti pri nizkikh chislakh Reynol'dsa [Heat transfer and turbulence formation in internal swirling fluid flow at low Reynolds numbers]. *Inzhenerno-fizicheskiy zhurnal*. 2014. V. 87. No. 4. Pp. 908–918. (rus)
39. *Matvienko O.V., Aseeva A.E.* Matematicheskoye modelirovaniye zakruchennogo potoka termov'yazkoy psevdoplasticheskoy zhidkosti Sisko v tsilindricheskom kanale. [Mathematical simulation of swirling flow of thermal viscous, pseudoplastic Cisco fluid in cylindrical channel]. *Inzhenerno-fizicheskiy zhurnal*. 2020. T. 93. No. 4. Pp. 827–838. (rus)
40. *Kolbanovskaya A.S., Mikhaylov V.V.* Dorozhnyye bitумы [Road bitumen]. Moscow: Transport, 1973. 246 p. (rus)
41. *Shirkunov A.S., Ryabov V.G., Kudinov A.V., Nechayev A.N., Degtyannikov A.S.* Vzaimosvyaz' adgezionnykh svoystv neftyanykh dorozhnykh bitumov i sodержaniya v nikh vysokoplavkikh parafinov [Relationship between adhesive properties of oil road bitumen and high-melting paraffin content]. *Khimiya i tekhnologiya topliv i masel*. 2011. No. 1. Pp. 36–39. (rus)

Сведения об авторах

Матвиенко Олег Викторович, докт. физ.-мат. наук, профессор, Томский государственный архитектурно-строительный университет, 634003, г. Томск, пл. Соляная, 2; профессор, Национальный исследовательский Томский государственный университет, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 36.

Литвинова Алёна Евгеньевна, аспирант, Национальный исследовательский Томский государственный университет, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 36.

Фирсанова Наталья Сергеевна, аспирант, Национальный исследовательский Томский государственный университет, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 36.

Authors Details

Oleg V. Matvienko, DSc, Professor, Tomsk State University of Architecture and Building, 2, Solyanaya Sq., 634003, Tomsk, Russia; National Research Tomsk State University, 36, Lenin Ave., 634050, Tomsk, Russia.

Alyona E. Aseeva, Research Assistant, National Research Tomsk State University, 36, Lenin Ave., 634050, Tomsk, Russia

Nataliya S. Firsanova, Research Assistant, National Research Tomsk State University, 36, Lenin Ave., 634050, Tomsk, Russia

УДК 666.3-1

DOI: 10.31675/1607-1859-2021-23-5-86-92

*В.В. ШЕХОВЦОВ, Н.К. СКРИПНИКОВА,
М.А. СЕМЕНОВЫХ, Р.Ю. БАКШАНСКИЙ,*

Томский государственный архитектурно-строительный университет

ПЛАЗМЕННЫЙ МЕТОД ПОЛУЧЕНИЯ СТЕКЛОКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ*

В работе представлены результаты экспериментальных исследований по получению стеклокристаллических материалов с использованием энергии низкотемпературной плазмы.

Установлены зависимости изменения основных физико-механических характеристик (прочность на изгиб/сжатие, плотность, тепловой коэффициент линейного расширения) готовых изделий от состава компонентных шихт.

Обнаружено формирование центров собирательной рекристаллизации анортитовой фазы ($\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$). Данные включения хаотично расположены на поверхности продуктов плавления и напоминают дендритные микровключения, размер центров достигает 90 нм.

Проведено сравнение характеристик со стеклокристаллическими материалами, получаемыми по традиционным технологиям.

Ключевые слова: стеклокристаллические материалы; плазма; техногенные отходы; рекристаллизация анортитовой фазы.

Для цитирования: Шеховцов В.В., Скрипникова Н.К., Семеновых М.А., Бакшанский Р.Ю. Плазменный метод получения стеклокристаллических материалов // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2021. Т. 23. № 5. С. 86–92.

DOI: 10.31675/1607-1859-2021-23-5-86-92

*V.V. SHEKHOVTSOV, N.K. SKRIPNIKOVA,
M.A. SEMENOVYKH, R.YU. BAKSHANSKII,*

Tomsk State University of Architecture and Building

PLASMA-ASSISTED PRODUCTION OF GLASS-CERAMIC MATERIALS

The paper presents the experimental results of the plasma-assisted production of glass-ceramic materials. The dependences are suggested for the main physical and mechanical properties (flexural and compressive strengths, density, thermal expansion coefficient) of the end products and the mixture components. The accumulative recrystallization centers of the anorthite phase are detected. The inclusions of this phase randomly locate on the surface of the melting products and resemble dendritic microinclusions up to 90 nm in size. The properties of the glass-ceramic materials are described using conventional techniques.

Keywords: glass-ceramic materials; plasma; industrial waste; accumulative recrystallization.

For citation: Shekhovtsov V.V., Skripnikova N.K., Semenovych M.A., Bakshanskii R.Yu. Plazmennyy metod polucheniya steklokristallichesikh materialov [Plasma-assisted production of glass-ceramic materials]. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo

* Работа выполнена при поддержке государственного задания Министерства науки и высшего образования РФ FEMN-2020-0004.

arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture.
2021. V. 23. No. 5. Pp. 86–92.

DOI: 10.31675/1607-1859-2021-23-5-86-92

Многочисленные исследования по получению стеклокристаллических материалов показывают, что в качестве исходных материалов возможно использовать промышленные отходы и природное сырье [1–3]. В работе [4] выявлены особенности физико-химических и теплофизических свойств расплавов и стекол в системе $\text{CaO-MgO-FeO-Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$, позволяющие наиболее эффективно оптимизировать технологические параметры синтеза стеклокристаллических метасиликатных материалов пироксенового и волластонитового состава с заданным химическим составом и с требуемыми эксплуатационными свойствами. Стеклокристаллические материалы нашли своё применение в теплоизоляции чердачных перекрытий зданий [5], прочность на сжатие таких образцов составляет 1,7–1,8 МПа, коэффициент теплопроводности – 0,075 Вт/(м·°С). Авторы [6] провели исследования по изучению микроструктуры пеностеклокристаллических материалов. Определена прочность материалов, которая оказывается выше, чем у пеностекла, изготовленного из стеклобоя. Это связано с образованием наноструктурных единиц в стеклообразной матрице.

В настоящей работе представлены результаты исследований по получению стеклокристаллического материала с использованием энергии термической плазмы для строительной индустрии. Научной новизной является применение высокотемпературной среды в качестве локального источника плавления некондиционного сырья и получение на его основе расплавленной массы анортитсодержащих продуктов плавления с повышенными физико-механическими характеристиками.

Технологический процесс производства стеклокристаллических материалов заключается в измельчении и тщательном перемешивании компонентов, плавлении и формовании изделий [7]. С целью определения оптимальных технологических режимов получения стеклокристаллического материала была проведена серия экспериментальных исследований, направленных на получение образцов с оптимальными физико-химическими и механическими свойствами. В табл. 1 представлен компонентный состав шихт, используемых в эксперименте.

Таблица 1

Компонентный состав исследуемых шихт

№ состава	Количество сырьевых материалов, масс. %		
	Зола ТЭС	Известняк	Кварцевый песок
А-1	100	–	–
А-2	60	20	20
А-3	60	17	23
А-4	70	20	10
А-5	75	25	–
А-6	78	22	–
А-7	90	10	–

Плавнение рассматриваемых компонентных составов осуществлялось на электроплазменной установке [8, 9]. При взаимодействии плазменной струи с шихтой осуществляется её плавление. Время проведения эксперимента составляло в среднем 10 мин. При работе данной установки электрические характеристики составляли: сила тока – 240 А, напряжение – 120 В, тепловое КПД – не менее 84 %, скорость нагрева – 15 °С/с до температуры 1700–2000 °С, что позволяло произвести полное проплавление сырьевой смеси и удалить выделяющиеся газы. Расплавленная стекломасса через сливной желоб разливается в цилиндрические формы 50×40 мм с последующим помещением в муфельную печь для дальнейшей кристаллизации и отжига. При этом температура выдержки первой ступени в муфельной печи составила 700 °С в течение 1 ч, второй – 950 °С в течение 2 ч. Потери материала по массе после плавления и термической выдержки составляли 15 %. На рис. 1 представлены фотографии работы электроплазменной установки (а), формы для слива расплава (б) и полученного образца (в).

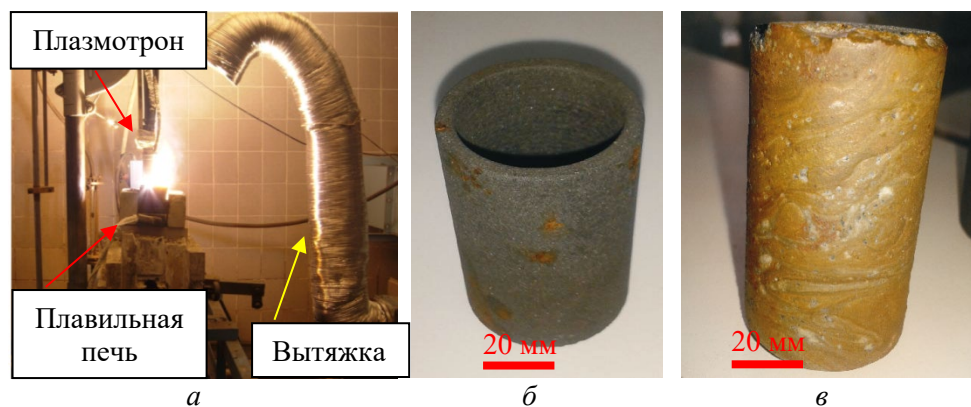


Рис. 1. Экспериментальная работа:

а – фотография работы электроплазменной установки; б – графитовая форма для слива расплава; в – полученный образец

Для исследования полученных образцов использовалось следующее оборудование: испытательный пресс ТП-1-1500 (прочность на сжатие / изгиб), dilatометр DIL-402С (коэффициент линейного расширения), электронный микроскоп Quanta 200 (морфология и элементный состав поверхности).

Важнейшими свойствами стеклокристаллического материала являются плотность, прочность на сжатие и изгиб, тепловой коэффициент линейного расширения (ТКЛР). Все эти свойства напрямую зависят от состава кристаллической фазы, представленной в материале. Согласно диаграмме состояний $\text{CaO}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$, область расположения составов сырьевых смесей находится в поле кристаллизации анортита ($\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$). Таким образом, полученные образцы с теоретической точки зрения должны обладать низким ТКЛР, высокими армирующими свойствами и повышенной прочностью на изгиб, сжатие.

На рис. 2, а представлены результаты испытаний прочности при изгибе (1) и сжатии (2) в зависимости от состава шихты. На рис. 2, б показаны зависимости плотности (1) и ТКЛР (2) от состава шихты.

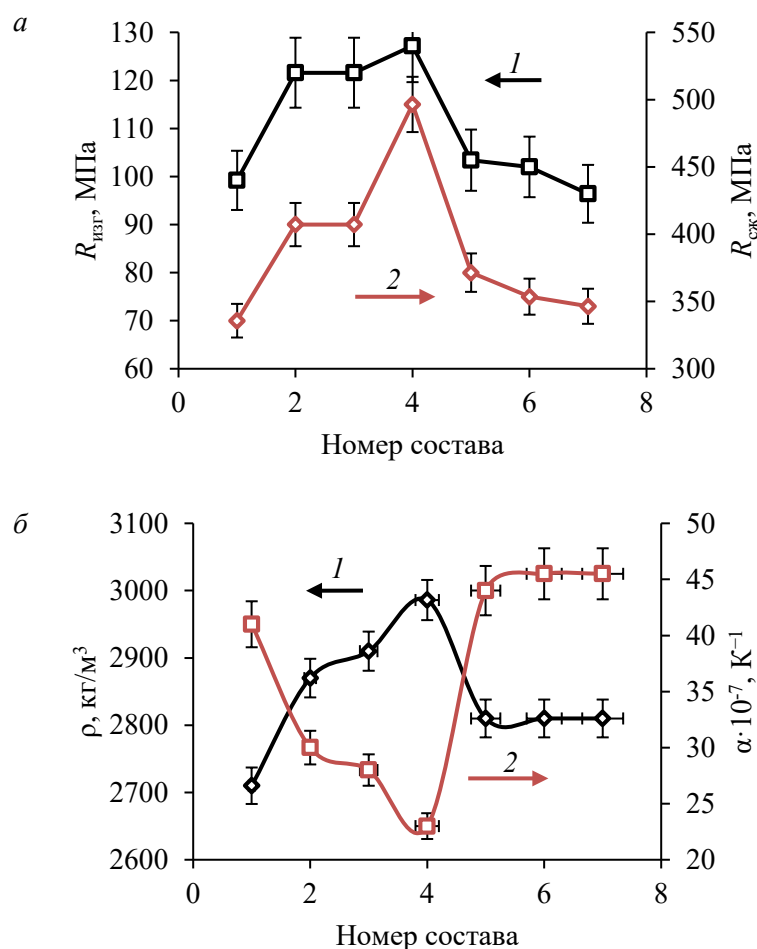


Рис. 2. Физико-механические характеристики исследуемых продуктов плавления от состава шихты:
 а – зависимость прочности при изгибе (1) и сжатии (2); б – зависимость плотности (1) и ТКЛР (2)

Из данных рис. 2, а следует, что соотношение компонентов сырьевой смеси в составе А-4 (зола ТЭС – 70 %, известняк – 20 %, кварцевый песок – 10 %) позволяет получить максимальное значение прочности материала $R_{изг} = 110$ МПа и $R_{сж} = 540$ МПа. Это обусловлено наличием однородной тонкозернистой кристаллической структуры, формируемой в процессе термической выдержки. Данное утверждение находит свое подтверждение на рис. 2, б (кривая 1), где видно, что максимальная плотность ($\rho = 2986$ кг/м³) достигается в том же составе, что также приводит к снижению коэффициента линейного расширения (рис. 2, б, кривая 2).

На рис. 3 представлена морфология поверхности продукта плавления А-4 и результаты энергодисперсионной рентгеновской спектроскопии.

Структура продукта плавления представлена однородной, присутствуют хаотично расположенные дендритные микровключения. Данные включения

являются центрами собирательной рекристаллизации анортитовой фазы ($\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$). Размер центров достигает 90 нм. Энергодисперсионная рентгеновская спектроскопия показала, что элементный состав (Ca/Al/Si/O) отображает состав анортита.

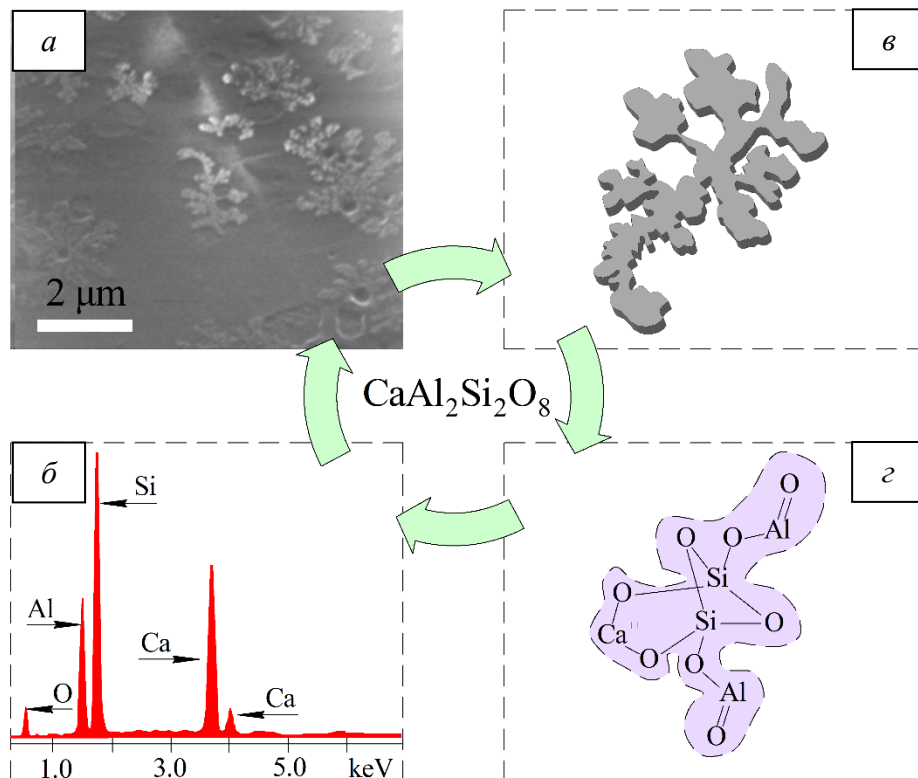


Рис. 3. Структурные особенности продукта плавления смеси А-4:

а – электронный снимок (увеличение 40 000 раз); б – энергодисперсионный рентгеновский спектр; в – модель центра собирательной рекристаллизации анортитовой фазы; г – химическая структура анортитовой фазы

В табл. 2 представлены основные свойства стеклокристаллического материала (СКМ), полученного с использованием низкотемпературной плазмы, в сравнении с аналогами, полученными по традиционной технологии.

Таблица 2

Свойства стеклокристаллических материалов

Наименование материала	Характеристики		
	ρ , кг/м ³	$R_{изг}$, МПа	$R_{сж}$, МПа
Зольное стекло «Марблит»	2670–2690	60–70	300–400
Петроситаллы	2880–2900	50–100	350–450
Шлакоситаллы	2730–2760	40–60	300–400
СКМ, полученные по плазменной технологии	2900–2990	90–110	450–530

Таким образом, экспериментальные исследования показывают, что оптимальным составом для получения стеклокристаллических материалов с аноритсодержащей фазой в среде низкотемпературной плазмы является компонентный состав: зола ТЭС – 70 масс. %, известняк – 20 масс. %, кварцевый песок – 10 масс. % (табл. 1, состав А-4). При данном соотношении компонентов в сырьевой смеси и соблюдении режимов термообработки возможно получение стеклокристаллического материала с максимальными физико-механическими показателями: $R_{сж} = 530$ МПа; $R_{изг} = 110$ МПа; $\rho = 2986,2$ кг/м³. Обнаружено формирование центров собирательной рекристаллизации аноритовой фазы ($\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$). Данные включения хаотично расположены на поверхности продуктов плавления и напоминают дендритные микровключения, размер центров достигает 90 нм.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Kuczek J., Sulowska J., Lach R., Szumera M. The glass formation and crystallization studies on iron phosphate–silicate glasses // *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*. 2019. V. 138. P. 1953–1964.
2. Sarkar K., Rai P.K., Kumar Katiyar P., Banerjee A., Mondal K. Composite (glass + crystalline) coatings from blast furnace pig iron by high velocity oxy-fuel (HVOF) process and their electrochemical behavior // *Surface and Coatings Technology*. 2019. V. 372. P. 72–83.
3. Savvova O.V., Topchyi V.L., Babich O.V., Belyakov R.O. Effect of the structure of lithium-silicate glasses on the mechanical properties of transparent glass-ceramic materials // *Strength of materials*. 2018. V. 50. № 6. P. 874–879.
4. Мананков А.В., Гасанова Э.Р. Исследование зависимости физико-химических и теплофизических свойств стеклокристаллических материалов от их состава // *Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета*. 2018. № 1. С. 175–186.
5. Кудяков А.И., Анкаръян А.С. Технология гранулированного стеклокристаллического материала для теплоизоляции ограждающих конструкций чердачного перекрытия // *Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета*. 2015. № 1. С. 132–139.
6. Казьмина О.В., Верещагин В.И., Семухин Б.С. Структура и прочность пеностеклокристаллических материалов из низкотемпературного стеклогранулята // *Физика и химия стекла*. 2011. Т. 37. № 4. С. 501–509.
7. Волокитин О.Г., Шеремет М.А., Шеховцов В.В., Бондарева Н.С., Кузьмин В.И. Исследование режимов конвективного теплопереноса при получении высокотемпературных силикатных расплавов // *Теплофизика и аэромеханика*. 2016. Т. 23. № 5. С. 789–800.
8. Волокитин О.Г., Шеховцов В.В. Перспективы использования низкотемпературной плазмы в строительстве и архитектуре // *Физика и химия стекла*. 2018. Т. 44. № 3. С. 324–327.
9. Волокитин О.Г., Шеховцов В.В. Процессы получения силикатных расплавов и материалов на их основе в низкотемпературной плазме // *Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета*. 2017. Т. 60. № 1. С. 144–148.

REFERENCES

1. Kuczek J., Sulowska J., Lach R., Szumera M. The glass formation and crystallization studies on iron phosphate–silicate glasses. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*. 2019. V. 138, Pp. 1953–1964.
2. Sarkar K., Rai P.K., Kumar Katiyar P., Banerjee A., Mondal K. Composite (glass + crystalline) coatings from blast furnace pig iron by high velocity oxy-fuel (HVOF) process and their electrochemical behavior. *Surface and Coatings Technology*. 2019. V. 372. Pp. 72–83.
3. Savvova O.V., Topchyi V.L., Babich O.V., Belyakov R.O. Effect of the structure of lithium-silicate glasses on the mechanical properties of transparent glass-ceramic materials. *Strength of Materials*. 2018. V. 50. No. 6. Pp. 874–879.

4. Manankov A.V., Gasanova E.R. Issledovanie zavisimosti fizikokhimicheskikh i teplofizicheskikh svoystv steklokristallicheskikh materialov ot ikh sostava [Physicochemical and thermophysical properties of glass-ceramic materials depending on their composition]. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture*. 2018. V. 20. No. 1. Pp. 175–186. (rus)
5. Kudyakov A.I., Apkaryan A.S. Tekhnologiya granulirovannogo steklokristallicheskogo materiala dlya teploizolyatsii ograzhdayushchikh konstruktsiy cherdachnogo perekrytiya [Granular glass-ceramic material production for heat insulation of attic floor]. *Vestnik of Tomsk State University of Architecture and Building*. 2015. No. 1. Pp. 132–139. (rus)
6. Kazmina O.V., Vereshchagin V.I., Semukhin B.S. Struktura i prochnost' penosteklokristallicheskikh materialov iz nizkotemperaturnogo steklogranulyata [Structure and strength of foam glass-ceramic materials made of low-temperature quenched cullet]. *Fizika i khimiya stekla*. 2011. V. 37. No. 4. Pp. 501–509. (rus)
7. Volokitin O.G., Sheremet M.A., Shekhovtsov V.V., Bondareva N.S., Kuzmin V.I. Issledovaniye rezhimov konvektivnogo teploperenosa pri poluchenii vysokotemperaturnykh silikatnykh rasplavov [Modes of convective heat transfer in high-temperature silicate melt production]. *Teplofizika i aeromekhanika*. 2016. V. 23. No. 5. Pp. 789–800. (rus)
8. Volokitin O.G., Shekhovtsov V.V. Perspektivy ispol'zovaniya nizkotemperaturnoy plazmy v stroitel'stve i arkhitekture [Low-temperature plasma in construction and architecture]. *Fizika i khimiya stekla*. 2018. V. 44. No. 3. Pp. 324–327. (rus)
9. Volokitin O.G., Shekhovtsov V.V. Protsessy polucheniya silikatnykh rasplavov i materialov na ikh osnove v nizkotemperaturnoi plazme [Silicate melts and materials produced therefrom using low-temperature plasma]. *Vestnik of Tomsk State University of Architecture and Building*. 2017. V. 60. No 1. Pp. 144–148. (rus)

Сведения об авторах

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

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

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

Бакшанский Роман Юрьевич, студент, Томский государственный архитектурно-строительный университет, 634003, г. Томск, пл. Соляная, 2, rbakshanskiy@mail.ru

Authors Details

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

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

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

Roman Yu. Bakshanskii, Student, Tomsk State University of Architecture and Building, 2, Solyanaya Sq., 634003, Tomsk, Russia, rbakshanskiy@mail.ru

УДК 691.542

DOI: 10.31675/1607-1859-2021-23-5-93-104

*Д.С. ГОРКОЛЬЦЕВА, Н.О. КОПАНИЦА,**Томский государственный архитектурно-строительный университет*

ТОРФОВЕРМИКУЛИТОВЫЕ СМЕСИ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННОГО ГРАНУЛИРОВАННОГО МАТЕРИАЛА

В статье представлены результаты исследований торфовой вермикулитовой смеси для производства гранулированного материала, обладающих теплоизоляционными свойствами, которые могут найти применение в строительстве малоэтажных зданий.

Рассмотрена возможность производства гранулированного теплоизоляционного материала на основе торфовой вермикулитовой смеси. Проанализированы полученные данные различных методов грануляции торфовой вермикулитовой смеси.

Установлен способ снижения водопоглощения гранул до 16 % и увеличения их прочности на 20 %, заключающийся в активации воды затворения гидрофобизирующей добавкой «Аквасил».

Ключевые слова: торф; вермикулит; торфовой вермикулитовый материал; теплоизоляционные материалы на основе торфа; гранулированные материалы; торфовой вермикулитовая смесь; методы гранулирования.

Для цитирования: Горкольцева Д.С., Копаница Н.О. Торфовой вермикулитовые смеси для производства теплоизоляционного гранулированного материала // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2021. Т. 23. № 5. С. 93–104.

DOI: 10.31675/1607-1859-2021-23-5-93-104

*D.S. GORKOLTSEVA, N.O. KOPANITSA,**Tomsk State University of Architecture and Building*

PEAT-VERMICULITE COMPOSITIONS FOR GRANULATED MATERIAL PRODUCTION

The paper presents the research results of peat-vermiculite compositions for the production of granulated material with heat-insulating properties, that can be used in the construction of low-rise buildings. The paper considers the possibility of producing a heat-insulating granulated material based on a peat-vermiculite mixture. The obtained data on various methods of the peat-vermiculite mixture granulation are analyzed. It is found that the optimum concentration of the Akvasil water-repelling is 10% in the mixing water. This concentration allows reducing the water absorption of peat-vermiculite compositions by 16% and increasing the material strength by 20%. Further increase in the Akvasil concentration in the mixing water does not lead to a significant change in the water absorption, and the strength properties decrease.

Keywords: peat; vermiculite; peat-vermiculite composition; heat-insulating material; granulated material; granulation.

For citation: Gorkoltseva D.S., Kopanitsa N.O. Torfovermikulitovye smesi dlya proizvodstva teploizolyatsionnogo granulirovannogo materiala [Peat-vermiculite compositions for granulated material production]. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture. 2021. V. 23. No. 5. Pp. 93–104.

DOI: 10.31675/1607-1859-2021-23-5-93-104

Введение

В настоящее время актуальными являются исследования, направленные на использование местного сырья Сибирского региона для производства эффективных строительных материалов для ограждающих конструкций. Энергосбережение и энергоэффективность зданий – одни из важнейших приоритетов современной строительной отрасли. Необходимость этих мероприятий, помимо очевидной экономической выгоды, закреплена законодательно [1, 2]. Повышение эффективного использования энергетических ресурсов – это важные ответные действия, направленные на решение существующих проблем, связанных с изменением климата, экономическим развитием и энергетической безопасностью, с которыми сталкиваются многие страны, в том числе и Россия. Одна из важнейших стратегических задач страны – сократить к 2023 г. энергоёмкость отечественной экономики на 40 % [3].

Необходимо отметить, что важным критерием обеспечения энергоэффективности в строительстве является оптимизация теплотехнических характеристик ограждающих систем. Спрос на новые и эффективные строительные материалы с низкой теплопроводностью и улучшенными эксплуатационными характеристиками стимулировал к развитию современный рынок теплоизоляционных материалов. Отличительной особенностью сырьевой базы Томской области является большое количество торфяных залежей, которые могут стать основой для производства теплоизоляционных и конструкционных материалов применительно к малоэтажному деревянному домостроению.

Известно, что теплоизоляционные материалы на основе торфа обладают рядом положительных свойств:

- низкой теплопроводностью;
- высокой пористостью;
- антисептическими свойствами;
- экологичностью и сложным органоминеральным составом.

Исходя из этого исследование и разработка составов современных конкурентоспособных теплоизоляционных материалов на основе местного сырья являются актуальными [4].

Известны работы, посвященные исследованию и разработке теплоизоляционных материалов на основе низинных торфов Сибири. Ученые Томского государственного архитектурно-строительного университета разработали эффективный стеновой строительный материал «ЭкоТерм», в качестве вяжущего компонента использовался низинный торф, а в качестве заполнителя применяли фракционированные древесные опилки и модифицирующие добавки [5]. В работах большое внимание уделяется подбору и оптимизации состава теплоизоляционных строительных материалов на основе торфа.

Анализ литературных данных показал возможность получения теплоизоляционного материала на основе торфа и отходов производства лесоматериалов. По результатам проведенного анализа состава и физико-химических свойств низинных торфов сделан вывод о перспективности их использования в сочетании с органическими и минеральными компонентами для производства композиционных строительных материалов различного функционального

назначения [6–7]. В то же время отходы переработки древесины нестабильны по своим характеристикам, подвержены усадочным деформациям. Поэтому исследования по обоснованию возможности применения в качестве заполнителя к торфявящему более стойких в процессе эксплуатации материалов являются актуальными.

В настоящей работе в качестве заполнителя использовался вермикулит вспученный, основными преимуществами которого являются:

- экологичность – в процессе эксплуатации при высоких температурах не выделяет токсичных веществ;
- низкий показатель теплопроводности – $0,050\text{--}0,095\text{ Вт/м}\cdot^{\circ}\text{C}$;
- повышенная огнестойкость материала – от -250 до $+1250\text{ }^{\circ}\text{C}$;
- высокая паропроницаемость, что исключает образование конденсата в помещении;
- высокая биологическая стойкость.

Ранее нами был обоснован выбор теплоизоляционного материала на основе торфа применительно к деревянному купольному строительству. Анализ показал эффективность применения торфа для создания на его основе композиционных материалов и изделий, удовлетворяющих критериям их использования в строительстве. В ходе исследований были разработаны составы теплоизоляционного материала на основе торфа со средней плотностью 250 кг/м^3 , теплопроводностью $0,059\text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$ [8–10]. Предложена конструктивная модель стены здания купольного типа (рис. 1).



Рис. 1. Устройство наружной стены здания купольной конструкции

Целью настоящей статьи является обоснование целесообразности использования торфовермикулитовой смеси для производства теплоизоляционного гранулированного материала.

Для повышения технологичности и эффективности теплоизоляционных материалов на основе торфовермикулитовой смеси предлагается способ грану-

ляции. Гранулирование материала позволит значительно уменьшить способность продукта к слеживанию, тем самым упростит хранение и транспортировку. Необходимо отметить, что гранулирование дает возможность гомогенизировать смесь в отношении физико-химических свойств; увеличить поверхность тепломассообмена; регулировать структуру гранул и связанные с ней свойства. Все это способствует интенсификации процессов, в которых используются гранулированные продукты, повышению производительности труда и культуры производства [11].

Анализ и выбор современных способов получения гранулированных теплоизоляционных материалов на основе торфа представляют научный и практический интерес. Получение гранулированного материала на основе торфовой вермикулитовой смеси осуществлялось двумя основными способами.

Первый способ – экструзия. Грануляция методом экструзии осуществляется следующим образом. Материал предварительно обрабатывается в смесителе, где при интенсивном перемешивании ему предаются пластические свойства путем добавления жидкой фазы. Пластифицируемая масса под давлением продавливается через специальные матрицы, качество полученных гранул зависит от влажности смеси, содержания и типа связующего, размера и числа отверстий, формы ножа и среза.

Второй способ – окатывание в грануляторах. Характерными особенностями данного вида гранулирования является низкая энергоемкость и получение равномерных округлых форм размером 3–11 мм [Там же]. Процесс гранулирования торфовой вермикулитовой смеси способом окатывания состоит из четырех стадий:

- 1) подготовка компонентов торфовой вермикулитовой смеси;
- 2) приготовление торфявящего с дозированием торфопасты и вермикулита, перемешивание в смесителе;
- 3) гранулирование и уплотнение гранул в результате их перемещения по поверхности аппарата;
- 4) сушка гранул.

Стадия смешивания компонентов и образования гранул. В качестве связующего применяется вода затворения, способствующая сцеплению частиц. Характер капиллярного взаимодействия в слое сыпучего материала определяется количеством воды в точке контакта, формой контакта и числом контактов в единице объема материала [13].

На стадии грануляции при формировании гранул основную роль играет физико-химическое взаимодействие. Когда частицы приобретают достаточную кинетическую энергию, механические силы начинают способствовать росту гранул, а химические связи способствуют формированию самого материала.

В механизме гранулообразования при окатывания гранул основное значение принадлежит липкости торфяной пасты, которая обуславливается силами межмолекулярного взаимодействия с водой [17].

На стадии сушки происходит упрочнение связей в результате перехода жидкой фазы в твердую, т. е. стабилизация структуры гранул. На всех стадиях происходит изменение распределения частиц по размерам, т. е. идет процесс гранулообразования, интенсивность которого зависит от технологии, аппаратного оформления процесса гранулирования и свойств продукта [12].

Материалы и методы

В статье рассмотрена возможность производства гранулированного теплоизоляционного материала на основе торфовермикулитовой смеси. В работе были использованы сырьевые материалы, соответствующие требованиям нормативных документов.

В качестве вяжущего использовался диспергированный в водной среде низинный торф месторождений Томской области, удовлетворяющий требованиям ГОСТ 11305–2013.

В качестве заполнителя использовался вермикулит вспученный марки ВВТ-150, соответствующий ГОСТ 12865–67, разработанный научно-производственным объединением «Завод Композиционных Строительных Материалов» (г. Томск).

В качестве гидрофобизатора использовалась кремнийорганическая жидкость торговой марки «Аквасил», соответствующая ТУ 2229-003-60543126–2014. Оценка влияния гидрофобизаторов на свойства торфовермикулитового композита производилась по способности гидрофобизирующей жидкости понижать значения величины водопоглощения и капиллярного всасывания гранулированных торфовермикулитовых образцов. Для приготовления опытных образцов использовалась смесь торфовяжущего и вермикулитового заполнителя.

Торфовяжущее (торфопаста) получали путем мокрого помола торфа естественной влажности в шаровой мельнице с мелющими телами диаметром 10 мм, скорость вращения – 70 об/мин в течение 1 ч с добавлением необходимого количества воды до водосодержания смеси 270 % от массы сухого вещества торфа.

Смесь получали при добавлении в приготовленную торфяную пасту заполнителя – вспученного вермикулита (размер частиц – 0,2–0,3 мм) в разных соотношениях и воды в соответствии с заданным водотвердым отношением. Смесь перемешивалась принудительно в смесителе в течение 15 мин, далее из полученной смеси формировались гранулы с помощью гранулятора методом окатывания с последующим добавлением заполнителя.

Из полученной массы формовались образцы-гранулы, твердение образцов осуществлялось при следующих условиях: сушка при температуре 75–85 °С в течение 24 ч, досушивание в течение 2–4 сут до приобретения равновесной влажности. Полученные образцы-гранулы имели равномерно округлые формы размером 3–11 мм.

Обсуждение результатов

Ранее проведенные исследования показали перспективность использования торфа в композициях с органическими и минеральными компонентами [14–15]. В работе были приведены и обобщены результаты экспериментальных исследований по оценке влияния вермикулитового заполнителя на свойства композиционного материала, составы смесей представлены в табл. 1.

Формование образцов-гранул осуществлялось способом окатывания и экструзии. Отформованные образцы сушились до постоянной массы, после чего определялись их основные физико-механические свойства, результаты ис-

следований представлены в табл. 2. Измерение плотности торфOVERМИКУЛИТОВЫХ материалов осуществлялось в соответствии с ГОСТ 17177–94. Определение прочности при сжатии производилось в соответствии с ГОСТ 17177–94.

Таблица 1

Лабораторные составы торфOVERМИКУЛИТОВЫХ смесей

№ состава	Состав смеси, %		Расход материалов на 1 м ³ , кг	
	Торфяная паста <i>W</i> = 270 %	Вермикулит (заполнитель)	Торфяная паста <i>W</i> = 270 %	Вермикулит (заполнитель)
1	70	30	430	185
2	70	25	450	160
3	70	20	520	150
4	70	15	560	120
5	70	10	590	85
6	70	5	600	50

Таблица 2

Физико-механические свойства гранулированных торфOVERМИКУЛИТОВЫХ материалов

№ п/п	Наименование способа грануляции	Насыпная плотность, кг/м ³	Прочность при сжатии, МПа
1	Способ окатывания	290–365	1,70–3,31
2	Способ экструзии	300–340	1,75–3,40

Анализ полученных данных показал, что при различных способах грануляции торфOVERМИКУЛИТОВЫХ материалов физико-механические свойства имеют аналогичные значения. Исходя из этого, можно сделать вывод, что для дальнейшего исследования гранулированного материала на основе торфOVERМИКУЛИТНОЙ смеси может быть выбран любой из методов грануляции: окатывания и экструзии.

Известно, что большинство строительных материалов, в том числе теплоизоляционные материалы на основе торфа, имеют капиллярно-пористое и волокнистое строение, и насыщение их водой происходит в основном за счет водопоглощения при капиллярном подсосе и в незначительных количествах при сорбционном увлажнении [16]. Таким образом, для существенного снижения водопоглощения в пористых материалах необходимо применять гидрофобизирующие добавки.

Определение влажности и водопоглощения гранул производилось в соответствии с ГОСТ 17177–94, ГОСТ 1607–2011. Водопоглощение определяют при полном и частичном погружении образцов в воду в течение 24 ч (рис. 2, 3).

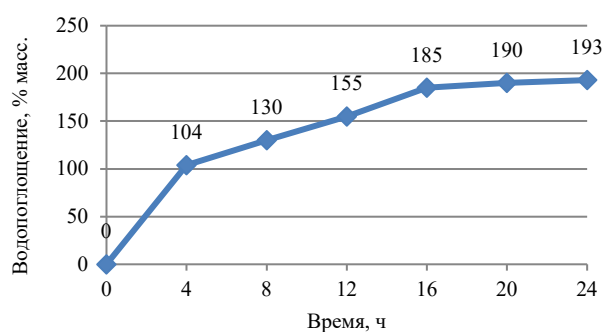


Рис. 2. Водопоглощение при полном погружении гранулированных образцов в течение 24 ч

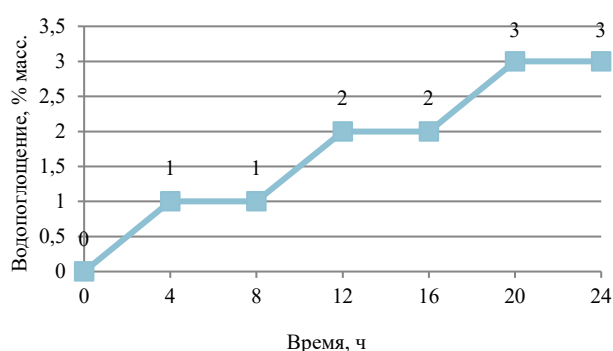


Рис. 3. Водопоглощение при частичном погружении гранулированных образцов в течение 24 ч

Из графика, приведенного на рис. 2, можно сделать вывод о необходимом применении гидрофобизирующей добавки для снижения водопоглощения. Однако при частичном погружении образцов на основе торфовермикулитовой смеси водопоглощение в течение 24 ч составляет 3 %. Необходимо отметить, что при несоответствующих условиях эксплуатации может возникнуть намокание материала. В целях сохранения теплоизоляционных свойств были проведены исследования по возможности снижения водопоглощения путем введения гидрофобизирующей добавки в торфовермикулитовый материал. Для решения этой задачи были проанализированы современные модифицированные гидрофобизаторы, представленные на отечественном рынке, на основе кремнийорганических соединений, такие как «Аквасил-А» (ТУ 2229-001-60543126-2013), «Аквастоп» (ТУ 5772-001-58093526-11), «Кристаллизол» (ТУ 5745-002-38213907-11). Для дальнейших исследований материала по основным техническим характеристикам была выбрана гидрофобизирующая добавка кремнийорганическая жидкость торговой марки «Аквасил-А». Выбор эффективного гидрофобизатора связан с особенностями физико-химических свойств торфа. Для оценки влияния гидрофобизирующих добавок на свойства торфовермикулитовых материалов готовились по стандартной методике образцы-гранулы. На готовые образцы наносился способом распыления раствор гидрофобизатора различной концентрации, после

чего образцы подсушивались до постоянного веса. На рис. 4 представлены результаты исследований.

Из графиков, приведенных на рис. 4, можно сделать вывод: оптимальная концентрация гидрофобизирующего вещества – 10 %, дальнейшее увеличение концентрации не приводит к существенному понижению водопоглощения.

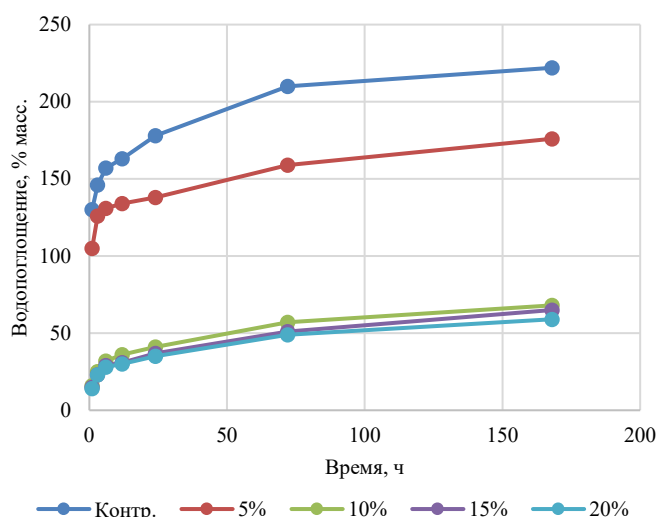


Рис. 4. Влияние модифицирующих добавок на водопоглощение торфовермикулитового материала с добавкой «Аквасил»

В работе исследовалась эффективность разных способов применения гидрофобизирующих добавок. Эксперимент проводился следующим образом: готовилась серия контрольных образцов-гранул на основе базового состава торфовермикулитовой композиции, а остальные образцы готовились с добавлением гидрофобизатора различной концентрации от 5 до 20 %. Результаты исследований представлены в табл. 3.

Таблица 3

Влияние содержания гидрофобизатора «Аквасил» в смеси на водопоглощение и прочность торфовермикулитовых гранул

Содерж. гид-рофобиз., %	Водопоглощение, % масс.							Предел прочности на сжатие, МПа
	1 ч	3 ч	6 ч	12 ч	1 с	3 с	7 с	
Контр.	130	146	157	163	178	210	222	0,47
5	105	126	131	134	138	159	176	0,52
10	16	25	32	36	41	57	68	0,57
15	15	23	29	31	37	51	65	0,54
20	14	23	28	30	35	49	59	0,51

По результатам, представленным в графиках на рис. 5 можно сделать вывод, что при 10%-й концентрации кремнийорганической жидкости «Аквасил» снижается водопоглощение гранулированных образцов до 16 % и одновременно увеличивается прочность гранул на 20 %.

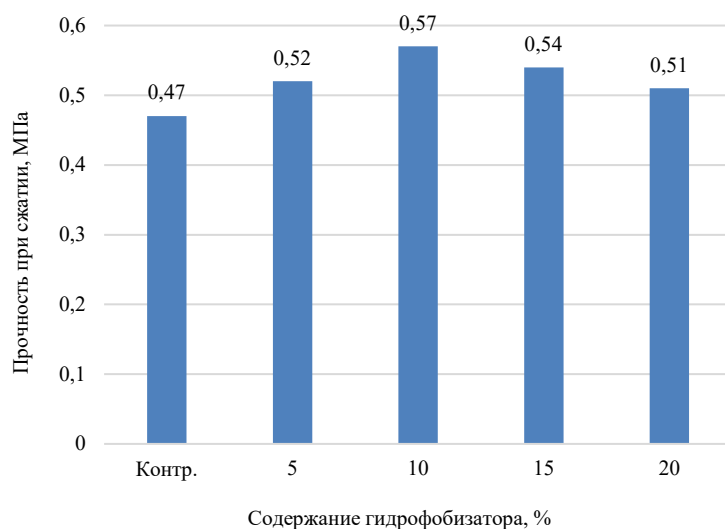


Рис. 5. Влияние процентного содержания гидрофобизатора на прочность при сжатии торфовермикулитовых гранул

Выводы

В настоящее время в качестве перспективных направлений использования гранул из торфовермикулитовой смеси можно рассматривать строительную отрасль. Исходя из приведенных данных, можно утверждать, что разрабатываемые гранулированные теплоизоляционные материалы на основе торфовермикулитовой смеси низинных торфов Томской области являются конкурентоспособными на строительном рынке Западно-Сибирского региона. Полученные данные показали, что независимо от методов грануляции физико-механические свойства материала имеют аналогичные значения, следовательно, для дальнейшего исследования свойств материала на основе торфовермикулитной смеси может быть выбран любой из способов грануляции: окатывания и экструзии.

Анализируя данные эксперимента, можно сделать вывод, что оптимальным является 10%-я концентрация гидрофобизатора «Аквасил» в воде затворения. Такое содержание добавки позволяет снизить водопоглощение торфовермикулитовых образцов до 16 % и увеличить прочность материала в среднем на 20 %.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Копаница Н.О., Саркисов Ю.С., Кудяков А.И. Стеновые строительные материалы на основе модифицированных торфов Сибири. Томск : Изд-во ТГАСУ, 2013. 295 с.
2. Максимчук О.В., Перишина Т.А. Управление энергоэффективностью. Волгоград : ВолгГАСУ, 2014. 92 с.

3. *Российская Федерация. Законы. Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации* : Федеральный закон № 261-ФЗ. URL: <http://base.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc;base=LAW;n=93978>(дата обращения: 12.07.2021)
4. *Копаница Н.О., Кудяков А.И., Ковалева М.А.* Теплоизоляционные торфодревесные строительные материалы. Томск : STT, 2009. С. 183–184.
5. *Патент № 2393128 Российская Федерация*, МПК6 C04 В 26/00. Теплоизоляционная композиция для производства строительных материалов на основе торфа : № 2008101233/03 : заявл. 20.07.2009 : опубл. 27.06.2010 / Копаница Н.О., Кудяков А.И., Калашникова М.А. ; ФБГОУ ВО «ТГАСУ». Бюл. № 12.
6. *Касицкая Л.В., Саркисов Ю.С., Копаница Н.О. и др.* Торфяные ресурсы Томской области и пути их использования в строительстве. Томск : STT, 2007. 292 с.
7. *Копаница Н.О., Ковалева М.А.* Исследование вяжущих свойств низинных торфов // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2012. № 4. С. 153–158.
8. *Горколыцева Д.С., Мелак-Оглы А.В.* Исследование гранулированного материала на основе торфовермикулитовой смеси. Новосибирск : Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин), 2020. С. 35–39.
9. *Горколыцева Д.С.* Исследование физико-механических свойств теплоизоляционных материалов на основе торфа // Перспективы развития фундаментальных наук : сборник научных трудов XVII Международной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. Томск : Изд-во Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники, 2020. С. 36–38.
10. *Горколыцева Д.С.* Исследование и обоснование компонентного состава теплоизоляционного материала на основе торфа применительно к купольному строительству // Перспективы развития фундаментальных наук : сборник научных трудов XVI Международной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. Томск : Национальный исследовательский Томский политехнический университет, 2019. С. 40–42.
11. *Ринкевич В.П.* Анализ способов получения и рецептур гранулированных композитов различного назначения на основе торфа // Вестник Белорусско-Российского университета. 2007. № 4. С. 172–178.
12. *Виталова Н.М.* Эффективные строительные материалы на основе торфа с улучшенными теплотехническими свойствами : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук : 05.23.05 / Виталова Н.М. ; Ивановский государственный архитектурно-строительный университет. Иваново, 2012. С. 79–82.
13. *Артемьев В.М.* Производство неорганических теплоизоляционных материалов / В.М. Артемьев // Промышленная тепловая изоляция. Применение и производство : сборник трудов науч.-техн. конф. Москва : ОАО «Теплопроект», 2004.
14. *Горколыцева Д.С., Копаница Н.О.* Гранулированный материал из торфовермикулитовой смеси для легких бетонов // Инвестиции, строительство, недвижимость как драйверы социально-экономического развития территории и повышения качества жизни населения. Томск : Томский государственный архитектурно-строительный университет, 2021. С. 353–358.
15. *Горколыцева Д.С., Мелак-Оглы А.В.* Исследование гранулированного материала на основе торфовермикулитовой смеси // Современные ресурсосберегающие материалы и технологии: перспективы и применение. Новосибирск : Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет, 2020. С. 35–39.
16. *Алентьев А.А., Клетчетков И.И., Пашенко А.А.* Кремнийорганические гидрофобизаторы. 1992. 306 с.
17. *Томсон А.Э., Наумова Г.В.* Торф и продукты его переработки / НАН Беларуси, Ин-т природопользования. Минск : Беларуская навука, 2009. С. 184–185.

REFERENCES

1. *Kopanitsa N.O., Sarkisov Yu.S., Kudyakov A.I.* Stenovye stroitel'nye materialy na osnove modifitsirovannykh torfov Sibiri [Wall building materials based on modified Siberian peat]. Tomsk: TSUAB, 2013. 295 p. (rus)

2. Maksimchuk O.V., Pershina T.A. Upravlenie energoeffektivnost'yu [Energy efficiency management]. Volgograd, 2014. 92 p. (rus)
3. Rossiiskaya Federatsiya. Zakony. Ob energosberezhenii i o povyshenii energeticheskoi effektivnosti i o vnesenii izmenenii v otdel'nye zakonodatel'nye akty Rossiiskoi Federatsii: Federal'nyi zakon № 261-FZ [Federal Law N 261-FZ "Energy Saving and Improving Energy Efficiency and Amendments to Certain Legislative Acts of the Russian Federation". Available: <http://base.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc;base=LAW;n=93978> (accessed July 12, 2021) (rus)
4. Kopanitsa N.O., Kudyakov A.I., Kovaleva M.A. Teploizolyatsionnye torfodrevesnye stroitel'nye materialy [Thermal insulation peat-wood building materials]. Tomsk: STT, 2009. Pp. 183–184. (rus)
5. Kopanitsa N.O., Kudyakov A.I., Kalashnikova M.A. Patent № 2393128 Rossiiskaya Federatsiya, MPK6 S04 V 26/00. Teploizolyatsionnaya kompozitsiya dlya proizvodstva stroitel'nykh materialov na osnove torfa [Heat-insulating composition for peat-based building material production]. Patent Russ. Fed. N 2393128, 2010. (rus)
6. Kasitskaya L.V., Sarkisov Yu.S., Kopanitsa N.O., et al. Torfyanye resursy Tomskoi oblasti i puti ikh ispol'zovaniya v stroitel'stve [Peat resources in the Tomsk region and their use in construction]. Tomsk: STT, 2007 292 p. (rus)
7. Kopanitsa N.O., Kovaleva M.A. Issledovanie vyazhushchikh svoystv nizinykh torfov [Investigation of astringent properties of lowland peat]. *Vestnik of Tomsk State University of Architecture and Building*. 2012. Pp. 153–158. (rus)
8. Gorkoltseva D.S., Melak-Ogly A.V. Issledovanie granulirovannogo materiala na osnove torfovermikulitovoi smesi [Investigation of granulated material based on peat-vermiculite mixture]. Novosibirsk, 2020. Pp. 35–39. (rus)
9. Gorkoltseva D.S. Issledovanie fizikomekhanicheskikh svoystv teploizolyatsionnykh materialov na osnove torfa [Physical and mechanical properties of peat-based heat-insulating materials]. In: *Perspektivy razvitiya fundamental'nykh nauk: sbornik nauchnykh trudov XVII Mezhdunarodnoi konferentsii studentov, aspirantov i molodykh uchenykh (Proc. 17th Int. Sci. Conf. of Students and Young Scientists 'Prospects of Fundamental Sciences Development')*. Tomsk: TSUCSR, 2020. Pp. 36–38. (rus)
10. Gorkoltseva D.S. Issledovanie i obosnovanie komponentnogo sostava teploizolyatsionnogo materiala na osnove torfa primenitel'no k kupol'nomu stroitel'stvu [Component composition of peat-based heat-insulating material applied to dome construction]. In: *Perspektivy razvitiya fundamental'nykh nauk: sbornik nauchnykh trudov XVI Mezhdunarodnoi konferentsii studentov, aspirantov i molodykh uchenykh (Proc. 16th Int. Sci. Conf. of Students and Young Scientists 'Prospects of Fundamental Sciences Development')*. Tomsk: TPU, 2019. Pp. 40–42. (rus)
11. Rinkevich V.P. Analiz sposobov polucheniya i retseptur granulirovannykh kompozitov razlichnogo naznacheniya na osnove torfa [Peat-based granulated composites for various purposes]. *Vestnik Belorussko-Rossiiskogo universiteta*. 2007. No. 4. Pp. 172–178. (rus)
12. Vitalova N.M. Effektivnye stroitel'nye materialy na osnove torfa s uluchshennymi teplotekhnicheskimi svoystvami dissertatsiya na soiskanie uchenoi stepeni kandidata tekhnicheskikh nauk [Peat-based building materials with improved thermal properties. PhD Thesis]. Ivanovo, 2012. Pp. 79–82. (rus)
13. Artem'ev V.M. Proizvodstvo neorganicheskikh teploizolyatsionnykh materialov [Production of inorganic thermal insulation materials]. In: *Promyshlennaya teplovaya izolyatsiya. Primenenie i proizvodstvo: sbornik trudov nauch-tekhn. konf. (Proc. Sci. Conf. 'Industrial Thermal Insulation. Application and Production')*. Moscow: OAO "Teploproekt", 2004. (rus)
14. Gorkol'tseva D.S., Kopanitsa N.O. Granulirovannyi material iz torfovermikulitovoi smesi dlya legkikh betonov [Granulated material from peat-vermiculite mixture for lightweight concrete] In: *Investitsii, stroitel'stvo, nedvizhimost' kak draivery sotsial'no-ekonomicheskogo razvitiya territorii i povysheniya kachestva zhizni naseleniya (Proc. Int. Sci. Conf. 'Investments, Construction, Real Estate as a Material Basis for Economy Modernization and Innovation')*. Tomsk: TSUAB, 2021. Pp. 353–358. (rus)
15. Gorkol'tseva D.S., Melak-Ogly A.V. Issledovanie granulirovannogo materiala na osnove torfovermikulitovoi smesi [Granulated material based on peat-vermiculite mixture]. In: *Sovremennye resursosberegayushchie materialy i tekhnologii: perspektivy i primeneniye [Resource-saving materials and technologies: Perspectives and application]*. Novosibirsk. 2020. Pp. 35–39. (rus)

16. *Alentev A.A., Klechetkov I.I., Pashenko A.A.* Kremniorganicheskie gidrofobizatory [Organo-silicon water repellents]. 1992. 306 p. (rus)
17. *Thomson A.E., Naumova G.V.* Torf i produkty ego pererabotki [Peat and products of its processing]. Minsk: Belaruskaya Navuka, 2009. Pp. 184–185. (rus)

Сведения об авторах

Горколыцева Динара Сергеевна, аспирант, Томский государственный архитектурно-строительный университет, 634003, г. Томск, пл. Соляная, 2, gorkoltsevadinara@gmail.com

Копаница Наталья Олеговна, докт. техн. наук, профессор, Томский государственный архитектурно-строительный университет, 634003, г. Томск, пл. Соляная, 2, kopanitsa@mail.ru

Authors Details

Dinara S. Gorkoltseva, Research Assistant, Tomsk State University of Architecture and Building, 2, Solyanaya Sq., 634003, Tomsk, Russia, gorkoltsevadinara@gmail.com

Natalia O. Kopanitsa, DSc, Professor, Tomsk State University of Architecture and Building, 2, Solyanaya Sq., 634003, Tomsk, Russia, kopanitsa@mail.ru

УДК 691.327.333

DOI: 10.31675/1607-1859-2021-23-5-105-117

*А.И. КУДЯКОВ, А.Б. СТЕШЕНКО, Н.П. ДУШЕНИН, Н.Е. РЯБЦЕВА,
Томский государственный архитектурно-строительный университет*

ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫЙ ЦЕМЕНТНЫЙ ПЕНОБЕТОН НЕАВТОКЛАВНОГО ТВЕРДЕНИЯ С ЗОЛОЙ ГИДРОУДАЛЕНИЯ

Представлены результаты исследований цементного пенобетона неавтоклавного твердения с золой из золошлаковых материалов (ЗШМ) Северской ТЭЦ Томской области. Актуальность проведенного исследования обусловлена необходимостью разработки рецептурно-технологических решений по производству энергоэффективных стеновых материалов с применением местного природного и техногенного сырья.

По результатам исследований установлено, что при реализации принципов эмерджентности структуры первого порядка с использованием дисперсной минеральной добавки в виде золы ЗШМ Северской ТЭЦ Томской области и суперпластифицирующих органических добавок в технологии цементного пенобетона естественного твердения достигается требуемая пластичность на стадии транспортирования и формования изделий и ускорение структурообразования пенобетона в изделиях. Исследование пенобетонной смеси и пенобетона проводилось в аккредитованной лаборатории ТГАСУ в соответствии с требованиями национальных стандартов. При совместном введении добавок золы Северской ТЭЦ и пластификатора «Реламикс Т-2» у пенобетона с маркой по средней плотности D400 увеличивается прочность на сжатие в 28-суточном возрасте на 26–66 %, понижается водопоглощение по массе на 30 % при незначительном уменьшении теплопроводности.

Разработаны рецептурно-технологические решения производства пенобетона с золой ЗШМ для устройства стеновых изделий и конструкций при индивидуальном жилищном строительстве.

Ключевые слова: теплоизоляционный пенобетон; зола; средняя плотность; прочность на сжатие; пластификаторы; класс бетона по прочности; теплопроводность.

Для цитирования: Кудяков А.И., Стешенко А.Б., Душенин Н.П., Рябцева Н.Е. Теплоизоляционный цементный пенобетон неавтоклавного твердения с золой гидроудаления // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2021. Т. 23. № 5. С. 105–117.
DOI: 10.31675/1607-1859-2021-23-5-105-117

*A.I. KUDYAKOV, A.B. STESHENKO, N.P. DUSHENIN, N.E. RYABTSEVA,
Tomsk State University of Architecture and Building*

HEAT-INSULATING NON-AUTOCLAVED LIGHTWEIGHT CONCRETE WITH HYDRAULIC ASH REMOVAL

The paper presents research results of natural hardening of lightweight concrete with aluminosilicate ash generated by the Thermal Power Plant in Seversk (Tomsk, Russia). Today, it is necessary to develop effective building materials with improved operational properties by using local natural and technogenic raw materials. The acceleration of the structure formation and required plasticity for a transportation and molding of lightweight concrete products are achieved by using finely dispersed aluminosilicate minerals and plasticizers for natural hardening of lightweight concrete. The concrete mixture and lightweight concrete are studied in the TSUAB laboratory accredited in accordance with national standard requirements. The optimum content of hydraulic ash in lightweight concrete mixture is 10–15 wt.%. the compressive strength

lightweight concrete with D400 density increases by 26–66 % after 28-day curing, when adding the Relamix T-2 plasticizer and ash from the Thermal Power Plant. Its water absorption reduces by 30 wt.% with insignificant decrease in thermal conductivity. Technological solutions are developed for the production of lightweight concrete with ash and slag materials for wall structures in individual housing construction.

Keywords: heat insulating lightweight concrete; ash; average density; compressive strength; plasticizers; concrete strength quality, thermal conductivity.

For citation: Kudyakov A.I., Steshenko A.B., Dushenin N.P., Ryabtseva N.E. Teploizolyatsionnyi tsementnyi penobeton neavtoklavного tverdeniya s zoloi gidroudaleniya [Heat-insulating non-autoclaved lightweight concrete with hydraulic ash removal]. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture. 2021. V. 23. No. 5. Pp. 105–117. DOI: 10.31675/1607-1859-2021-23-5-105-117

Введение

При решении социально-экономической задачи по обеспечению населения России доступным и комфортным жильем перспективным является строительство индивидуальных жилых домов. По данным Росстата, в 2020 г. введено 34,0 млн кв. м жилья в индивидуальных домах. По сравнению с 2019 г. прирост индивидуального жилищного строительства (ИЖС) составил 4 %. Строительство собственного дома, особенно во время пандемии, с возможностью проживания в самоизоляции и осуществления производственной деятельности дистанционно становится актуальным. В соответствии с программой Минстроя России по развитию ИЖС годовой объем строительства индивидуальных домов в 2024 г. увеличится до 40 млн кв. м.

При принятии решения о строительстве собственного жилья большое значение имеет вид и стоимость стенового материала. Стеновые материалы, предназначенные для индивидуального жилищного строительства, должны обладать низким коэффициентом теплопроводности, высокой долговечностью, а также иметь технологические возможности для организации строительства стен из блоков или из смесей, приготовленных на строительной площадке (вариант монолитного строительства), в местах возведения зданий.

Наиболее перспективным в ИЖС по возможностям использования местного сырья в производстве стеновых материалов и технико-экономическим показателям является пенобетон неавтоклавного (естественного) твердения [1–3]. По прогнозным данным, производство неавтоклавного пенобетона в 2021 г. достигнет 8,1 млн м³ [4].

При изготовлении пенобетона повышенного качества необходимо учитывать большое количество различных факторов и обеспечивать регламентированные условия структурообразования на всех этапах жизненного цикла продукции. Основным процессом при управлении качеством пенобетона является формирование однородной пористой структуры при приготовлении смеси и ее твердении [5].

Первичная пористая структура пенобетонной смеси формируется в короткий промежуток времени в условиях интенсивных динамических воздействий при перемешивании компонентов поризованной цементной композиции

в бетоносмесителе. На устойчивость дисперсных частиц твердой и газовой фаз в структуре пенобетонных смесей влияют процессы расслоения. Расслоение пенобетонной смеси происходит в результате: ударных колебаний на элементы структуры в смесителе; превышения толщины водных прослоек на поверхности твердых частиц; истечения жидкости из пенных пленок (синерезиса); большой средней плотности цементной матрицы межпоровых перегородок. При этом происходит коалесценция пенных пленок, вода перемещается в верхнюю часть форм, изменяется дисперсность газовой фазы, и наблюдается частичное разрушение воздушных пор [6]. Коалесценция пенных пленок происходит в период начального схватывания цементного теста по причине химического взаимодействия воды с частицами цемента, повышения концентрации ПАВ в межчастичной водной среде и мицеллообразования.

Снижение эффекта расслоения пенобетонной смеси возможно путем создания пены с размерами пор, обеспечивающими плотную упаковку, т. е. насыщение цементно-песчаных перегородок микропорами при одновременном повышении прочности цементного камня в них, особенно в ранние сроки. Данную задачу можно решить путем применения модифицирующих добавок: ускорителей твердения цементной матрицы [7, 13–15], активных минеральных [1, 8–10], водоредуцирующих [5, 11, 12]. Для уменьшения теплопроводности пенобетона путем увеличения содержания микропор в цементной матрице при сохранении прочности межпоровых перегородок вводят пористые активные минеральные добавки: золу-унос [2, 16], микрокремнезем [2, 11], термомодифицированный торф [17] или микроармирующие волокна [18–20].

Эффективным способом управления пористой структурой и прочностью межпоровых перегородок пенобетонов является совместное введение в смесь комбинированных добавок, формирующих микропористость и повышающих прочность (активные минеральные добавки) с сохранением необходимой подвижности (водоредуцирующие добавки) [5]. При разработке состава пенобетона необходимо учитывать, что одна часть воды расходуется на образование пены, а другая – на гидратацию цемента. Изменяя количество воды в пенобетоне, можно управлять его физико-механическими параметрами.

При обосновании выбора активных минеральных и пластифицирующих добавок необходимо обеспечивать синергетический эффект или возможность реализации эмерджентной структуры первого порядка, что положительно повлияет на оптимизацию структуры и эксплуатационные свойства пенобетона.

В качестве тонкодисперсных минеральных добавок для изготовления пенобетона требуемого уровня и стабильности качества рекомендуется использовать вместо природного песка дисперсные пористые минеральные побочные продукты промышленного производства – золы золошлаковых материалов (ЗШМ). В бетонной смеси зола выполняет роль не только активной минеральной добавки, влияющей на процессы структурообразования и повышения прочности пенобетона, но и наполнителя с микропорами, повышающего теплосопrotивление стенового материала.

Для повышения однородности продуктов переработки ЗШМ в 2016 г. сотрудниками ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» кафедры ОХХТ под руководством В.В. Тихонова по за-

данию Росатома разработана технология разделения золошлаковых отходов на отдельные продукты исходя из требований рынка и востребованности по применимости в производстве строительных материалов. В установке УИК-20 разделение компонентов (шлакового щебня, песка, алюмосиликатной микросферы и золы) осуществляется по крупности, истинной и средней плотности, а также форме зерен. С участием авторов настоящей статьи при выполнении проекта проведены стандартные испытания продуктов переработки ЗШМ, оценка качества, стандартизация, сертификация и разработка технических предложений по их использованию в производстве строительных материалов. Актуальность данной работы заключается в необходимости создания энергоэффективных строительных материалов с высоким уровнем эксплуатационных свойств, с максимальным использованием местного природного и техногенного сырья. Это позволит обеспечить устойчивое и экономически целесообразное развитие сырьевой базы материалоемкой промышленности строительных материалов, значительное снижение экологической напряженности в регионе.

Целью исследований является установление закономерностей влияния зол ЗШМ и пластификаторов на процессы структурообразования, а также разработка научно обоснованных рецептурно-технологических решений производства цементных теплоизоляционных пенобетонов естественного твердения с комбинированной добавкой для индивидуального жилищного строительства.

Данная цель достигается путем введения в пенобетонную смесь в процессе изготовления тонкодисперсной алюмосиликатной минеральной добавки в виде золы ЗШМ Северской ТЭЦ Томской области и пластифицирующих добавок. В качестве пластифицирующей добавки применяются современные суперпластификаторы, позволяющие достичь требуемой пластичности на стадии транспортирования и формования изделий, а также ускорить структурообразование пенобетона.

Материалы и методы исследования

При проведении экспериментальных исследований использовались:

- портландцемент Топкинского цементного завода ЦЕМ I 42.5Н (ГОСТ 30515–2013);
- кварцевый песок Кудровского месторождения Томской области с модулем крупности 1,8 (ГОСТ 8736–2014);
- пенообразователь «ПБ-Люкс» с кратностью пены рабочего раствора с объемной долей продукта 4 % не менее 7;
- водопроводная вода (ГОСТ 23732–2011);
- пластифицирующие добавки: «Реламикс-Т2» (ТУ 5870-002-14153664-04), Gros-63MC (ТУ 20.59.59-001-45419370-2018), MasterGlenium 115 (ТУ 5743-048-02495332-96), СП-1 (ТУ 5870-005-58042865-05);
- зола золошлаковых материалов Северской ТЭЦ Томской области. Зола отобрана с технологической линии комплексной переработки золошлаковых отходов гидроудаления Северской ТЭЦ Томской области. Зола сертифицирована ОС «Томскстройсертификация» ФГБОУ ВО «Томский государственный архитектурно-строительный университет» под руководством А.И. Кудякова.

Насыпная плотность золы – 770 ± 15 кг/см³. Зерновой и химический состав золы приведен в табл. 1 и 2.

Таблица 1

Зерновой состав золы

Частные/полные остатки, % по массе, на ситах размером, мм				
0,31	0,16	0,08	0,04	Менее 0,04
1,1	9,8	31,7	20,2	37,2

Таблица 2

Химический состав золы

Содержание оксидов, %									
SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Mn	Na ₂ O	K ₂ O	SO ₃
47,06	1,17	22,67	12,44	4,34	1,49	0,3	0,94	0,61	1,25

Удельная эффективная активность радионуклидов золы равна 131–266 Бк/кг, что позволяет использовать ее при строительстве жилых и общественных зданий.

Физико-механические свойства сырьевых материалов и пенобетона определялись в аккредитованной лаборатории «Стромтест» ТГАСУ в соответствии с требованиями следующих национальных стандартов:

- предел прочности на сжатие и изгиб – ГОСТ 10180–2012;
- средняя плотность – ГОСТ 12730.1–78;
- водопоглощение – ГОСТ 12730.3–78;
- коэффициент теплопроводности – ГОСТ 7076–99.

Подвижность пенобетонных смесей определялась прибором Суттарда.

Проектирование состава пенобетонной смеси проводилось с учетом требований СП 277–80 и рекомендаций [14].

Отформованные образцы пенобетона выдерживались до испытаний при температуре 20 ± 2 °С и относительной влажности воздуха не менее 90–100 %. Оценка качества пенобетона проводилась по ГОСТ 25485–2014 и ГОСТ 27005–2014 в высушенном состоянии.

Результаты исследований

По результатам ранее проведенных исследований была выбрана одностадийная технология приготовления пенобетонной смеси с применением турбулентного смесителя [14]. По данной технологии заранее смешиваются в сухом состоянии цемент, песок и зола. Далее в бетоносмеситель вводится необходимое количество воды, пластифицирующая добавка, готовая смесь сухих компонентов, и все компоненты перемешиваются в течение 2 мин до получения однородной пластичной композиции. После этого в полученную смесь добавляется водный раствор пенообразователя, и все компоненты перемешиваются еще 4 мин.

С учетом результатов оптимизации технологических режимов приготовления пенобетонной смеси в лабораторном смесителе был разработан базовый (контрольный) состав пенобетона, приведенный в табл. 3.

Таблица 3

Базовый состав пенобетона на 1 м³

Вид пенобетона	Расход цемента, кг	Расход песка, кг	Расход воды, л	Расход пенообразователя, л
Базовый (контрольный)	240	120	180	1,4

При установлении закономерностей влияния зольной составляющей Северской ТЭЦ на свойства пенобетонной смеси и пенобетона зола вводилась в базовый состав пенобетона взамен 5, 10 и 15 % кварцевого песка по массе с последующей корректировкой рекомендуемых составов по значениям фактической средней плотности пенобетонной смеси.

Сохранение первичной поровой структуры при транспортировании готовой смеси и формовании изделий зависит от реологических характеристик пенобетонной смеси. В этой связи оценка реологических свойств пенобетонных смесей необходима в управлении технологическими процессами производства строительных конструкций, а также при исследовании структурообразования. Для достижения необходимой пластичности пенобетонной смеси для транспортировки ее по трубопроводу в процессе заливки смеси к месту ее укладки (опалубка, кирпичная кладка и т. д.) или посту формования, а также реализации принципов эмерджентности при управлении структурообразованием предлагается вводить в смесь современные суперпластификаторы. Для достижения требуемой пластичности (диаметра расплыва) пенобетонной смеси в работе рассмотрены несколько видов эффективных ПАВ, применяемых в строительной практике. При проведении исследований использовалась рекомендуемая изготовителями дозировка добавок – 1 % от массы цемента [21].

Результаты испытания свойств пенобетонных смесей с добавками приведены в табл. 4.

Таблица 4

Влияние добавок на свойства пенобетонной смеси

Вид добавок в исследуемых смесях	Средняя плотность, кг/м ³	Расплыв смеси, см
Контрольный, без добавок	447	12,0
Зола 5 %	465	10,5
Зола 10 %	500	10,5
Зола 15 %	530	10,3
Реламикс Т-2	502	20,0
MasterGlenium 115	495	20,0
Gros-63MC	485	16,0
СП-1	452	13,0

Установлено, что при введении золы ЗШМ Северской ТЭЦ смесь становится менее подвижной, диаметр расплыва пенобетонной смеси уменьшился с 12,0 до 10,3 см, что объясняется высокой удельной поверхностью тонкодис-

персной добавки (золы). При этом наблюдается незначительное увеличение средней плотности по сравнению с контрольным образцом.

При введении суперпластификаторов в пенобетонную смесь диаметр расплыва пенобетонной смеси увеличивается с 12 до 20 см. Данный эффект обусловлен влиянием поверхностно-активных добавок на поверхностное натяжение воды в оболочках воздушных пор пенобетонной массы.

Результаты исследования влияния золы на прочностные свойства пенобетона приведены на рис. 1. Установлено, что прирост прочности на сжатие образцов с золой в 7-суточном возрасте составил 4–52 %, а в 28-суточном – 22–36 % по сравнению с контрольным образцом без добавки. При увеличении содержания золы до 15 % повышается средняя плотность пенобетонной смеси с 347 до 430 кг/м³, а также уменьшается объем готовой смеси. Положительное влияние золы на прочность пенобетона объясняется взаимодействием аморфного кремнезема дисперсных частиц золы с $\text{Ca}(\text{OH})_2$, образующимся при гидратации цемента, с появлением низкоосновных гидросиликатов.

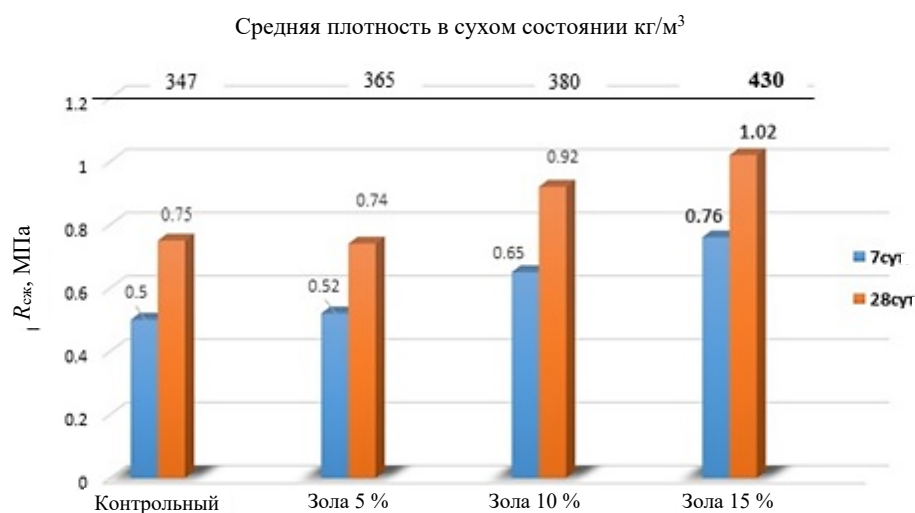


Рис. 1. Влияние золы на прочностные свойства пенобетона в 7- и 28-суточном возрасте

На рис. 2 представлены результаты исследований по влиянию суперпластификаторов на прочностные свойства пенобетона. Установлено, что в пенобетоне с суперпластификаторами «Реламикс Т-2», MasterGlenium 115, Gros-63МС прочность на сжатие в 7-суточном возрасте повышается на 34–43 %, в 28-суточном возрасте – на 31–47 %. Прочностные характеристики пенобетона с суперпластификатором СП-1 снижаются.

По результатам исследования влияния суперпластификаторов на свойства пенобетонной смеси и пенобетона была выбрана добавка «Реламикс Т-2», т. к. при ее использовании достигается наибольшее среднее значение прочности на сжатие в 28-суточном возрасте без снижения объема готовой смеси и обеспечение наибольшей пластичности (диаметр расплыва составляет 20 см).

С целью повышения качества теплоизоляционного пенобетона проводились исследования по совместному влиянию суперпластификатора и золы Северской ТЭЦ на свойства пенобетонной смеси и пенобетона.

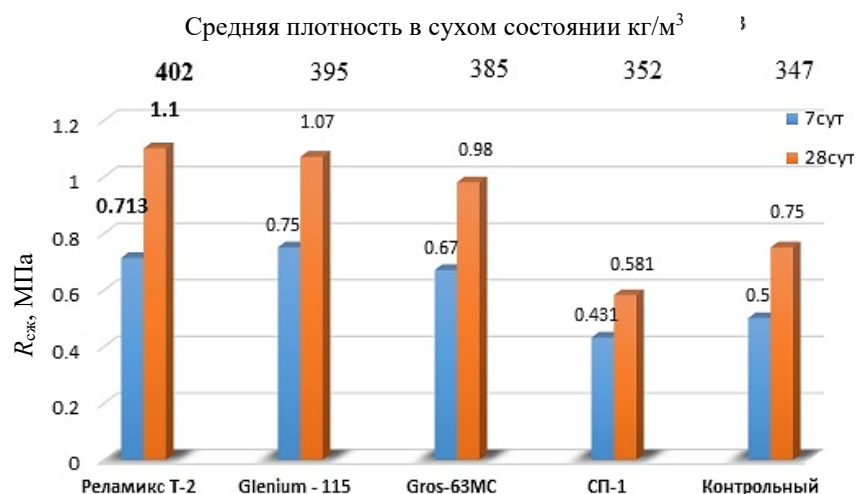


Рис. 2. Влияние суперпластификаторов на прочностные свойства пенобетона в 7- и 28-суточном возрасте

Результаты совместного влияния золы и добавки пластификатора на свойства пенобетонной смеси представлены в табл. 5. При проведении исследований использовались следующие дозировки добавок: «Реламикс Т-2» – 1 % от массы цемента и зола Северской ТЭЦ – 10 и 15 % взамен кварцевого песка.

По результатам исследований установлено, что совместное введение комбинированной добавки, включающей золу и «Реламикс Т-2», приводит к увеличению диаметра расплыва с 12,0 до 17,5–18,0 см по сравнению с составом без добавок.

Таблица 5

Влияние золы и пластифицирующих добавок на свойства пенобетонной смеси

Суперпластификатор/состав	Средняя плотность, кг/м³	Расплыв смеси, см
Контрольный	447	12,0
Зола 10 %, Реламикс Т-2	515	18,0
Зола 15 %, Реламикс Т-2	520	17,5

На рис. 3 представлены результаты исследований по определению средней плотности и прочности на сжатие пенобетона с комбинированной добавкой, включающей золу Северской ТЭЦ и «Реламикс Т-2».

Как видно из представленного графика, совместное введение добавок пластификатора «Реламикс Т-2» и золы Северской ТЭЦ приводит к незначительному увеличению средней плотности, при этом прочность на сжатие в 7-суточ-

ном возрасте увеличивается на 45–90 %, а в 28-суточном возрасте – на 26–66 % по сравнению с составом без добавок.

Теплопроводность – одна из важнейших характеристик пенобетона, отражающая его способность обеспечивать теплозащиту и комфортность проживания человека в зимнее время, а также энергоэффективность дома. Этот критерий определяет область и возможность применения стеновых материалов, их эксплуатационные свойства. Для достижения высокой энергоэффективности здания необходимо использовать материалы для ИЖС с низким коэффициентом теплопроводности [22].



Рис. 3. Влияние пластифицирующих добавок на свойства пенобетона в 7- и 28-суточном возрасте

Результаты определения теплопроводности пенобетона с комбинированной добавкой приведены табл. 6. По полученным результатам можно сделать вывод, что коэффициент теплопроводности разработанных бетонов соответствует нормативным требованиям ГОСТ 25485–2014 для пенобетонов с маркой по средней плотности D400.

Таблица 6

Результаты исследования теплопроводности и водопоглощения пенобетона

Состав	Теплопроводность при 15%-й влажности, Вт/м·°С	Теплопроводность в сухом состоянии, Вт/м·°С	Водопоглощение по массе, %
Контрольный D400	0,13	0,11	66,9
Зола 10 % Реламикс Т-2 D400	0,15	0,09	47,4
Зола 15 % Реламикс Т-2 D400	0,16	0,11	44,5

От способности стены поглощать и удерживать влагу зависит ее долговечность и морозостойкость. Чем меньше влагопоглощение пенобетона, тем выше эксплуатационные характеристики и долговечность. По результатам испытаний, представленным в табл. 6, установлено, что при совместном введении золы и суперпластификатора «Реламикс Т-2» водопоглощение по массе пенобетона снижается на 29–30 %. Следует отметить, что при визуальном осмотре образцов пенобетона с комбинированными добавками структура более однородная, отсутствует нарушение целостности поровой структуры [23].

При проведении научных исследований на основании полученных экспериментальных данных были разработаны оптимальные составы теплоизоляционного пенобетона с применением золы Северской ТЭЦ и суперпластификатора «Реламикс Т-2», позволяющие изготавливать пенобетон с улучшенными показателями качества. Рекомендуемые составы пенобетонов с маркой по средней плотности D400 приведены в табл. 7.

Таблица 7

Рекомендуемые составы пенобетонов на 1 м³ для ИЖС

№ состава	Расход цемента, кг	Расход песка, кг	Расход воды, л	Расход ПО, л	Расход золы, кг	Расход пластификатора, кг
1	240	96	180	1,4	24	2,4

По результатам исследований разработаны рекомендации по использованию комбинированной добавки в виде золы ЗШМ Северской ТЭЦ и пластификатора «Реламикс Т-2» в производстве пенобетонов естественного твердения в ИЖС строительными организациями.

Выводы

Обоснована возможность использования золы из ЗШМ Северской ТЭЦ Томской области при изготовлении пенобетонов для устройства стен при индивидуальном жилищном строительстве.

1. При введении комбинированной добавки, включающей золу из ЗШМ Северской ТЭЦ и суперпластификатор «Реламикс Т-2», в пенобетонную смесь при одностадийной технологии перемешивания компонентов получен эффективный теплоизоляционный пенобетон D400 с повышенным классом по прочности на сжатие B0,75 и теплопроводностью 0,09–0,11 Вт/м·°С.

2. Разработаны практические рекомендации по технологии пенобетона естественного твердения с комбинированной добавкой, включающей золу ЗШМ Северской ТЭЦ и суперпластификатор «Реламикс Т-2», для использования строительными организациями в реальном секторе ИЖС.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Dien V.K., Ly N.C., Lam T.V., Bazhenova S.I. Foamed concrete containing various amounts of organic-mineral additives // IOP Conf. Series: Journal of Physics: Conf. Series. 2020. V. 1425. P. 012199. DOI:10.1088/1742-6596/1425/1/012199
2. Zuhua, Z., John L., Provis A.R., Hao W. Geopolymer foam concrete: An emerging material for sustainable construction // Construction and Building Materials. 2014. V. 56. P. 113–127.

3. Girnienė, I., Laukaitis A. The effect of the hardening conditions on foam cement concrete strength and phase composition of new formations. *Materials Science*. 2002. № 1. P. 77–82.
4. Семенов А.А. Строительство и промышленность строительных материалов в 2017 г. Краткосрочный прогноз // *Строительные материалы*. № 4. С. 4–8.
5. Стешенко А.Б., Кудяков А.И. Пенобетон с пластифицирующими и микроармирующими добавками // *ALITinform: Цемент. Бетон. Сухие смеси*. 2018. № 3 (52). С. 26–40.
6. Попов А.Л., Строкова В.В. Фибропенобетон автоклавного твердения с использованием композиционного вяжущего // *Строительные материалы*. 2019. № 5. С. 38–44. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2019-770-5-38-44>
7. Пименова Л.Н., Кудяков А.И. Пенобетон, модифицированный силикагелем // *Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета*. 2013. № 2. С. 229–233.
8. Кудяков А.И., Белых С.А., Лебедева Т.А. Стеновые теплоизоляционные материалы и изделия из наполненных пеностекольных композиций / под ред. А.И. Кудякова. Томск : Изд-во ТГАСУ, 2016. 192 с.
9. Elviņa Namsone, Genādijs Šahmenko, Aleksandrs Korjajkins, Eva Namsone. Influence of porous aggregate on the properties of foamed concrete // *Construction Science*. 2016. № 19. P. 13–20. DOI: 10.1515/cons-2016-0006
10. Перфилов В.А., Котляревская А.В., Канавец У.В. Исследование влияния нанокремнеземных добавок и полых стеклянных микросфер на свойства пенофибробетонов // *Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура*. 2016. № 44-2. С. 119–124.
11. Савенков А.И., Баранова А.А. Пенобетон теплоизоляционный с применением пластификаторов нового поколения // *Вестник ВСГУТУ*. 2014. № 3. С. 70–73.
12. Моргунов В.Н., Моргунов Л.В. Обоснование одного из методов совершенствования структуры пенобетонов // *Строительные материалы*. 2018. № 5. С. 24–16.
13. Стешенко А.Б., Кудяков А.И. Исследование влияния кристаллического глиоксала на свойства цементного пенобетона естественного твердения // *Письма о материалах*. 2015. Т. 5. № 1 (17). С. 3–6.
14. Steshenko A.B., Kudjakov A.I., Konusheva V.V., Syrkin O.O. Structure formation control of foam concrete // *AIP Conf. Proc.* 2017. V. 1800. № 020001. P. 1–8. DOI: 10.1063/1.4973017
15. Kudjakov A.I., Steshenko A.B., Simakova A.S., Latypov A.D. Methods of introduction of glyoxal-containing additives into foam concrete mixture // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2019. P. 012037. DOI: 10.1088/1757-899X/597/1/012037
16. Марков А.Ю., Строкова В.В., Маркова И.Ю. Оценка свойств топливных зол как компонентов композиционных материалов // *Строительные материалы*. 2019. № 4. С. 77–84.
17. Кудяков А.И., Копаница Н.О., Прищепа И.А., Шаньгин С.Н. Конструкционно-теплоизоляционные пенобетоны с термомодифицированной торфяной добавкой // *Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета*. 2013. № 1 (38). С. 172–177.
18. Yakovlev G., Keriene J., Gailius A., Girniene I. Cement Based Foam Concrete Reinforced by Carbon Nanotubes // *Materials Science*. 2006. V. 12. № 2. P. 147–151.
19. Машкин Н.А., Кудяков А.И., Бартьева Е.А. Неавтоклавный пенобетон, дисперсно-армированный минеральными и волокнистыми добавками // *Известия высших учебных заведений. Строительство*. 2018. № 8 (716). С. 58–68.
20. Пухаренко Ю.В., Аубакирова И.У., Староверов В.Д. Влияние армирующих волокон на формирование структуры ячеистых бетонов в раннем возрасте // *Вестник гражданских инженеров*. 2014. № 3. С. 154–158.
21. Набокин О.Д., Насыров В.А. Влияние золы Северской ТЭЦ на свойства пенобетонной смеси // *Избранные доклады 65-й Юбилейной университетской научно-технической конференции студентов и молодых ученых : сборник докладов*, 2019. С. 185–188.
22. Davraz M., Kilinçarslan Ş., Koru M., Tuzlak F. Investigation of relationships between ultrasonic pulse velocity and thermal conductivity coefficient in foam concretes // *Acta Physica Polonica Series a*. 2016. V. 130. № 1. DOI: 10.12693/APhysPolA.130.469
23. Кудяков А.И., Стешенко А.Б., Конушева В.В., Сыркин О.О. Технологические приемы уменьшения усадки неавтоклавного пенобетона и повышения класса по прочности // *Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета*. 2016. № 5 (58). С. 129–139.

REFERENCES

1. Dien V.K., Ly N.C., Lam T.V., Bazhenova S.I. Foamed concrete containing various amounts of organic-mineral additives. *IOP Conference Series: Journal of Physics: Conference Series*. 2020. V. 1425. 012199. DOI:10.1088/1742-6596/1425/1/012199
2. Zuhua Z., John L., Provis A.R., Hao W. Geopolymer foam concrete: An emerging material for sustainable construction. *Construction and Building Materials*. 2014. V. 56. Pp. 113–127.
3. Girnienė I., Laukaitis A. The effect of the hardening conditions on foam cement concrete strength and phase composition of new formations. *Materials Science*. 2002. No. 1. Pp. 77–82.
4. Semenov A.A. Stroitel'stvo i promyshlennost' stroitel'nykh materialov v 2017 g. Kratkosrochnyi prognoz [Construction and building material industry in 2017. Short-term forecast]. *Stroitel'nye materialy*. No. 4. Pp. 4–8. (rus)
5. Steshenko A.B., Kudyakov A.I. Penobeton s plastfitsiruyushchimi i mikroarmiruyushchimi do-bavkami [Lightweight concrete with pasticing and micro-reinforcing additives]. *ALITinform: Tsement. Beton. Sukhie smesi*. 2018. No. 3 (52). Pp. 26–40. (rus)
6. Popov A.L., Strokova V.V. Fibropenobeton avtoklavnogo tverdeniya s ispol'zovanie kompozitsion-nogo vyazhushchego [Autoclaved fiber concrete with composite binder]. *Stroitel'nye materialy*. 2019. No. 5. Pp. 38–44. DOI: 10.31659/0585-430X-2019-770-5-38-44 (rus)
7. Pimenova L.N., Kudyakov A.I. Penobeton, modifitsirovannyi silikagelem [Lightweight concrete modified with silica gel]. *Vestnik of Tomsk State University of Architecture and Building*. 2013. No. 2. Pp. 229–233. (rus)
8. Kudyakov A.I. (Ed.), Belykh S.A., Lebedeva T.A. Stenovye teploizolyatsionnye materialy i izdeliya iz napolnennykh penostekol'nykh kompozitsii [Wall thermal insulation materials and products from filled foam glass compositions]. Tomsk: TSUAB, 2016. 192 p. (rus)
9. Namsone E., Šahmenko G., Korjaks A., Namsone E. Influence of porous aggregate on the properties of foamed concrete. *Construction Science*. 2016. No 19. Pp. 13–20. DOI: 10.1515/cons-2016-0006
10. Perfilov V.A., Kotlyarevskaya A.V., Kanavets U.V. Issledovanie vliyaniya nanouglerodnykh do-bavok i polykh steklyannykh mikrosfer na svoystva penofibrobetonov [Nano-carbon additive and hollow glass microsphere effect on lightweight concrete properties]. *Vestnik Volgograd-skogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: stroitel'stvo i arkhi-tektura*. 2016. No. 44-2. Pp. 119–124. (rus)
11. Savenkov A.I., Baranova A.A. Penobeton teploizolyatsionnyi s primeneniem plastifikatorov no-vogo pokoleniya [Heat-insulating foam concrete with new-generation plasticizers]. *Vestnik VSGUTU*. 2014. No. 3. Pp. 70–73. (rus)
12. Morgun V.N., Morgun L.V. Obosnovanie odnogo iz metodov sovershenstvovaniya struktury [Method of improving the foam concrete structure]. *Stroitel'nye materialy*. 2018. No. 5. Pp. 24–16. (rus)
13. Steshenko A.B., Kudyakov A.I. Issledovanie vliyaniya kristallicheskogo glioksalya na svoystva tsementnogo penobetona estestvennogo tverdeniya [The influence of crystalline glyoxal on properties of air hardened cement-based foam concrete]. *Pis'ma o materialakh*. 2015. V. 5. No. 1 (17). Pp. 3–6. 14 (rus)
14. Steshenko A.B., Kudyakov A.I., Konusheva V.V., Syrkin O.O. Structure formation control of foam concrete. *AIP Conference Proceedings*. 2017. V. 1800. Pp. 1–8. DOI: 10.1063/1.4973017
15. Kudyakov A.I., Steshenko A.B., Simakova A.S., Latypov A.D. Methods of introduction of glyoxal-containing additives into foam concrete mixture. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2019. 012037. DOI: 10.1088/1757-899X/597/1/012037
16. Markov A.Yu., Strokova V.V., Markova I.Yu. Otsenka svoystv toplivnykh zol kak komponentov kompozitsionnykh materialov [The properties of fuel ashes as components of composite materials]. *Stroitel'nye materialy*. 2019. No. 4. Pp. 77–84. (rus)
17. Kudyakov A.I., Kopanitsa N.O., Prishchepa I.A., Shan'gin S.N. Konstruktsionno-teploizolyatsionnye penobetony s termomodifitsirovannoi torfyanoi do-bavkoi [Constructional and heat-insulating foam concretes with thermally modified peat additive]. *Vestnik of Tomsk State University of Architecture and Building*. 2013. No. 1 (38). Pp. 172–177. (rus)
18. Yakovlev G., Keriene J., Gailius A., Girniene I. Cement based foam concrete reinforced by carbon nanotubes. *Materials Science*. 2006. V. 12. No. 2. Pp. 147–151.

19. Mashkin N.A., Kudyakov A.I., Barten'eva E.A. Neavtoklavnyi penobeton, dispersno-armirovannyi mineral'nymi i voloknistymi dobavkami [Nonautoclaved dispersion-reinforced foam concrete with mineral or fibrous additives]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Stroitel'stvo*. 2018. No. 8 (716). Pp. 58–68. (rus)
20. Pukhareno Yu.V., Aubakirova I.U., Staroverov V.D. Vliyanie armiruyushchikh volokon na formirovanie struktury yacheistyykh betonov v rannem vozraste [The influence of reinforcement fiber on cellular concrete structure formation]. *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov*. 2014. No. 3. Pp. 154–158. (rus)
21. Nabokin O.D., Nasyrov V.A. Vliyanie zoly severskoi TETs na svoystva penobetonnoi smesi [Seversk TTP ash effect on foam concrete mixture properties]. In: *Izbrannye doklady 65-i Yubileinoi universitetskoj nauchno-tekhnicheskoi konferentsii studentov i molodykh uchenykh Sbornik dokladov (Proc. Sci. Conf. of Students and Young Scientists)*. 2019. Pp. 185–188. (rus)
22. Davraz M., Kiliçarslan Ş., Koru M., Tuzlak F. Investigation of relationships between ultrasonic pulse velocity and thermal conductivity coefficient in foam concretes. *Acta Physica Polonica A*. 2016. V. 130. No. 1. DOI: 10.12693/APhysPolA.130.469
23. Kudyakov A.I., Steshenko A.B., Konusheva V.V., Syrkin O.O. Tekhnologicheskie priemy umen'sheniya usadki neavtoklavnogo penobetona i povysheniya klassa po prochnosti [Production methods of reducing non-autoclave foamed concrete shrinkage and increasing its quality class]. *Vestnik of Tomsk State University of Architecture and Building*. 2016. No. 5 (58). Pp. 129–139. (rus)

Сведения об авторах

Кудяков Александр Иванович, докт. техн. наук, профессор, Томский государственный архитектурно-строительный университет, 634003, г. Томск, пл. Соляная, 2, kudyakow@mail.tomsknet.ru

Стешенко Алексей Борисович, канд. техн. наук, Томский государственный архитектурно-строительный университет, 634003, г. Томск, пл. Соляная, 2, steshenko.alexey@gmail.com

Душенин Николай Петрович, канд. техн. наук, Томский государственный архитектурно-строительный университет, 634003, г. Томск, пл. Соляная, 2, dushenin57@mail.ru

Рябцева Наталья Евгеньевна, студентка, Томский государственный архитектурно-строительный университет, 634003, г. Томск, пл. Соляная, 2, ryabtseva96@mail.ru

Authors Details

Aleksandr I. Kudyakov, DSc, Professor, Tomsk State University of Architecture and Building, 2, Solynaya Sq., 634003, Tomsk, Russia, kudyakow@mail.tomsknet.ru

Aleksey B. Steshenko, PhD, Tomsk State University of Architecture and Building, 2, Solynaya Sq., 634003, Tomsk, Russia, steshenko.alexey@gmail.com

Nikolai P. Dushenin, PhD, Tomsk State University of Architecture and Building, 2, Solynaya Sq., 634003, Tomsk, Russia, dushenin57@mail.ru

Natal'ya E. Ryabtseva, Student, Tomsk State University of Architecture and Building, 2, Solynaya Sq., 634003, Tomsk, Russia, ryabtseva96@mail.ru

УДК 691.542

DOI: 10.31675/1607-1859-2021-23-5-118-126

*А.А. КРУТИЛИН¹, Т.В. КРАПЧЕТОВА²,
Н.А. ИНЬКОВА¹, О.К. ПАХОМОВА¹,*

¹Себряковский филиал

Волгоградского государственного технического университета,

²АО «Себряковцемент»

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ФЕРРИТНО-КАЛЬЦИЕВОГО ШЛАКА В КАЧЕСТВЕ ЖЕЛЕЗОСОДЕРЖАЩЕГО КОМПОНЕНТА ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ПОРТЛАНДЦЕМЕНТНОГО КЛИНКЕРА

Проведены исследования с целью определения возможности использования в цементной промышленности ферритно-кальциевого шлака.

Методами химических анализов была выявлена нестабильность состава ферритно-кальциевых шлаков.

Обжиги опытных и контрольных сырьевых смесей проходили при близких температурах без ухудшения процесса клинкерообразования сырьевых смесей, содержащих ферритно-кальциевый шлак.

Оценку качества клинкеров проводили в цементах, полученных помолом с вводом 4 % гипса до удельной поверхности 300 см²/г.

Исследования позволили сделать вывод о принципиальной возможности использования ферритно-кальциевого шлака, полученного при комплексной переработке пиритного сырья, в качестве корректирующего компонента сырьевой смеси при расходе его в 1,3–1,5 раза больше, чем пиритных огарков.

Ключевые слова: цемент; шлак; характеристика исходных материалов; ферритно-кальциевый шлак; пиритовое сырье.

Для цитирования: Крутилин А.А., Крапчетова Т.В., Инькова Н.А., Пахомова О.К. Использование ферритно-кальциевого шлака в качестве железосодержащего компонента при производстве портландцементного клинкера // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2021. Т. 23. № 5. С. 118–126.

DOI: 10.31675/1607-1859-2021-23-5-118-126

*A.A. KRUTILIN¹, T.V. KRAPCHETOVA²,
N.A. INKOVA¹, O.K. PAKHOMOVA¹,*

¹Sebryakovsk Branch of Volgograd State Technical University,

²AO "SEBRYAKOVTSEMENT"

CALCIUM-FERRITIC SLAG AS IRON-BASED COMPONENT IN CEMENT CLINKER PRODUCTION

The paper studies the possibility of using calcium-ferritic slag in the cement production. The chemical analysis shows the instability of the calcium-ferritic slag composition. Experimental and test raw mixtures are fired at similar temperatures without deterioration of the clinker formation process of raw mixtures containing calcium-ferritic slag. The quality evaluation of clinkers is performed for cements obtained by grinding with the addition of 4 % calcium sulfate up to a specific surface of 300 cm²/g. This paper shows the possibility of using the calcium-ferritic slag

obtained during the complex processing of pyrite as a correcting component of the raw mixture at its consumption 1.3–1.5 times higher than pyrite cinders.

Keywords: cement; slag; raw material; calcium-ferritic slag; pyrite cinder.

For citation: Krutinin A.A., Krapchetova T.V., Inkova N.A., Pakhomova O.K. Ispol'zovanie ferritno-kal'tsievogo shlaка v kachestve zhelezosoderzhashchego komponenta pri proizvodstve portlandtsementnogo klinkera [Calcium-ferritic slag as iron-based component in cement clinker production]. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture. 2021. V. 23. No. 5. Pp. 118–126.

DOI: 10.31675/1607-1859-2021-23-5-118-126

Ресурсы пиритных огарков для цементной промышленности на предприятиях, производящих серную кислоту, значительно уменьшатся за счет перевода ряда химических предприятий на производство серной кислоты из природной серы вместо серного колчедана, а также в связи с намечаемым складированием части пиритных огарков для последующей их комплексной переработки.

Институтом НИИцемент проведены исследования с целью определения возможности использования в цементной промышленности ферритно-кальцевого шлака, намечаемого к получению при переработке пиритных концентратов и огарков методом плавки в жидкой ванне. Исследования проводились на четырех пробах шлаков, полученных при опытных и полупромышленных плавках. Методами химических анализов (табл. 1) была выявлена нестабильность состава ферритно-кальцевых шлаков и показано присутствие железа в закисной форме. Известно, что наличие в составе сырьевой смеси оксида железа (II) положительно сказывается на процессе клинкерообразования [1–6], поэтому можно было предположить, что возможно использование ферритно-кальцевых шлаков в цементной промышленности в качестве корректирующего компонента [7].

Таблица 1

Химический состав ферритно-кальцевых шлаков

Номер пробы	Содержание оксидов, %									
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	FeS ₂	CaO	MoO	SO ₃	Na ₂ O	K ₂ O
1	9,80	2,00	5,38	58,91	–	19,84	2,32	0,48	Нет	0,05
2	17,40	5,64	4,10	39,80	–	19,07	12,40	0,27	0,80	0,43
3	18,60	3,70	4,14	49,85	2,70	13,08	4,78	2,77	–	–
4	32,60	5,52	11,65	39,87	–	3,35	2,18	2,75	0,30	0,70

Согласно данным петрографического анализа, ферритно-кальцевые шлаки представляют собой целиком закристаллизованный материал, представленный крупными и среднезернистыми однородными кристаллами. Кристаллическими фазами являются железосодержащие минералы типа магнитита, вюститита, магнезиоферрита, корольки металла и силикатная фаза. Доля железосодержащей фазы составляет 45–50 %, такое же количество и силикатной фазы, которая представлена в основном пироксенном диоксидового состава CaMgSi₂O₆. Пироксен кристаллизуется в промежутках между кристаллами железосодержащей

фазы. Кристаллы диопсида вытянутые, планковидные, реже призматические, почти ромбовидные.

В пробе 2 обнаружено небольшое (2–3 %) количество периклаза, который представлен крупными скоплениями прозрачных, бесцветных зерен, в пробе 3 присутствуют также сульфиды (2–4 %), которые, как правило, содержат вросстки вюститита и имеют тесное срастание с магнетитом. В пробе 4 ферритно-кальциевый шлак, в отличие от других, закристаллизован крупно и неоднородно. Кристаллическими фазами являются оливин (55–60 %), мелилит (25–30 %), сульфиды и магнетит (7–10 %). Оливин наблюдается в виде крупных, до нескольких миллиметров, ромбовидных, угловатых пластинчатых или сильно вытянутых прозрачных, слегка окрашенных в зеленый цвет кристаллов. Судя по показателю преломления ($> 1,780$) – это фаялит Fe_2SiO_4 с небольшой примесью магнезия. Мелилиты являются второй по количеству фазой, по показателю преломления близкой к окерманиту $\text{Ca}_2\text{MgSi}_2\text{O}_7$. Сульфиды представлены FeS , FeS_2 . Магнетит Fe_3O_4 присутствует в основном в виде прямоугольных или кубических кристаллов.

Рентгенографический анализ образцов ферритно-кальциевых шлаков показал, что их фазовый состав различен главным образом в отношении силикатной части. Основной железистой фазой во всех случаях является вюстит (отражения 2,15 и 1,51А), кроме него (в пробах 2 и 3) присутствуют оксид железа (III) в виде маггемита, гематита (отражения 2,53; 16А), в пробе 3 имеется также магнетит [8–10].

Силикатная часть данных шлаков также неоднородна: в пробе 1 присутствует диопсид, в пробах 2 и 3 – монтичеллит, в пробе 4 – фаялит и форстерит. Таким образом, фазовый состав ферритно-кальциевых шлаков в существенной степени определяется технологией их получения и может влиять на процесс клинкерообразования.

В связи с тем, что данные шлаки используются в качестве сырьевого компонента при получении портландцементного клинкера, было интересно оценить изменение их свойств в процессе нагрева. Дифференциально-термический анализ выявил наличие экзотермических эффектов при температуре 450–490 и 645 °С, которые обусловлены ступенчатым окислением FeO до Fe_2O_3 , что подтверждается возрастанием массы образца. В интервале температур 1220–1240 °С происходит частичная диссоциация Fe_2O_3 на FeO и O_2 .

В качестве основных материалов для приготовления сырьевых смесей были использованы известняк и глина Подольского экспериментального цементного завода [8]. В зависимости от содержания железа в ферритно-кальциевом шлаке его количество в сырьевых смесях по сравнению с пиритными огарками увеличивалось в 1,3–1,5 раза. Для исследования проб 1 и 2 ферритно-кальциевого шлака сырьевые смеси готовили по сухому способу в лабораторной шаровой мельнице по заданным величинам КН и n (табл. 2).

Обжиг сырьевых смесей проводился в горне с подъемом температуры 400 °С в час. Выдержка при максимальной температуре (1450 °С) проводилась в течение 1 ч, далее производился контроль по содержанию $\text{СаО}_{\text{св}}$, выгрузка и резко воздушное охлаждение. Химический анализ полученных клинкеров показал, что их фактический состав соответствует расчетному.

Таблица 2

Химическая характеристика лабораторных сырьевых смесей

Номера смесей	Корректирующая добавка к сырьевой смеси*	Содержание окислов, %					ппп, %	Модули		
		SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO		КН	n	p
О – 1	Пиритные огарки	14,80	2,80	3,70	43,50	0,80	34,65	0,91	2,27	0,75
Ф – 1	Ферритно-кальциевый шлак (проба 1)	14,64	2,97	3,57	43,60	0,85	33,78	0,91	2,24	0,83
О – 2	Пиритные огарки	14,12	3,34	3,53	42,54	0,89	34,70	0,90	2,06	0,95
Ф – 2	Ферритно-кальциевый шлак (проба 2)	14,10	3,83	3,03	42,79	1,22	34,09	0,90	2,05	1,28

* В качестве контрольных были приняты смеси с пиритными огарками.

Рентгенографический анализ показал, что характеристики клинкеров весьма близки, их рентгенограммы содержат все отражения, характерные для клинкерных минералов. Отличие состоит в том, что на рентгенограммах клинкеров, обожжённых из сырьевых смесей с ферритно-кальциевым шлаком, иногда имеется отражение 2,40 Å высокой интенсивности, являющееся самым сильным отражением CaO. Наличие CaO подтверждается также присутствием отражения 1,693 Å. Наличие CaO обусловлено частичным распадом C₃S, что фиксируется и петрографическим анализом: образованием каймы вокруг кристаллов алита и появлением вторичного белита. Петрографический анализ не выявил различий в кристаллизации опытных и контрольных клинкеров [11–15].

Активность клинкеров, полученных из сырьевых смесей с огарками и ферритно-кальциевыми шлаками (вместо огарков), практически одинакова как в начальные, так и в более поздние сроки твердения (табл. 3 и рис. 1, 2).

Таблица 3

Результаты физико-механических испытаний лабораторных клинкеров

Номера клинкеров	Нормальная густота, %	Сроки схватывания, ч-мин		В/Ц	Расплав конуса, мм	Предел прочности, МПа					
		Начало	Конец			при изгибе			при сжатии		
						через сут					
						3	28	90	3	28	90
О – 1	25,7	3-20	4-50	0,37	113	5,5	7,4	7,5	33,2	66,8	74,8
Ф – 1	25,65	3-15	5-30	0,36	114	4,3	5,5	7,2	27,9	57,2	80,0
О – 2	27,5	2-40	4-30	0,35	114	5,3	8,4	8,4	27,8	62,5	71,2
Ф – 2	27,75	2-20	3-40	0,35	113	5,7	8,4	8,2	37,0	67,6	74,3

Были проведены также обжиги сырьевых смесей в девятиметровой вращающейся печи опытного завода института НИИЦемент (табл. 4). Обжиги опытных и контрольных сырьевых смесей проходили при близких температурах без ухудшения процесса клинкерообразования сырьевых смесей, содержащих ферритно-кальциевый шлак.

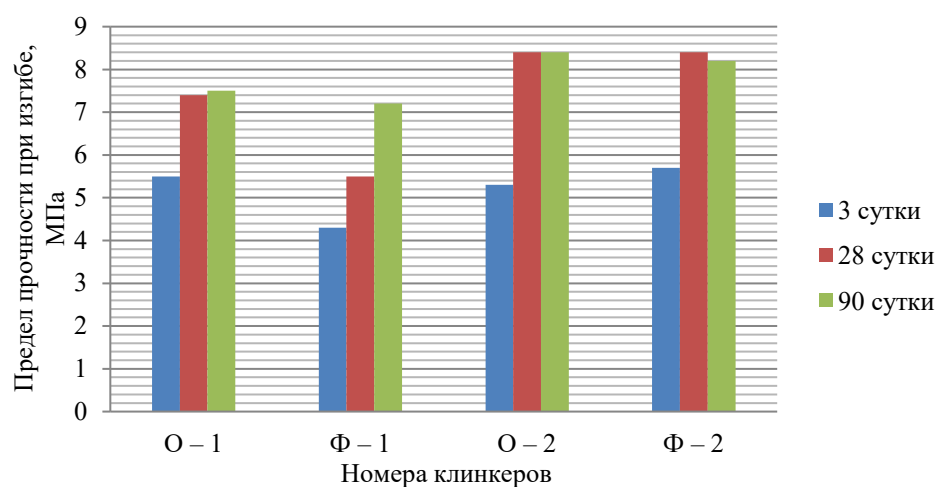


Рис. 1. Результаты физико-механических испытаний лабораторных клинкеров по пределу прочности на изгиб

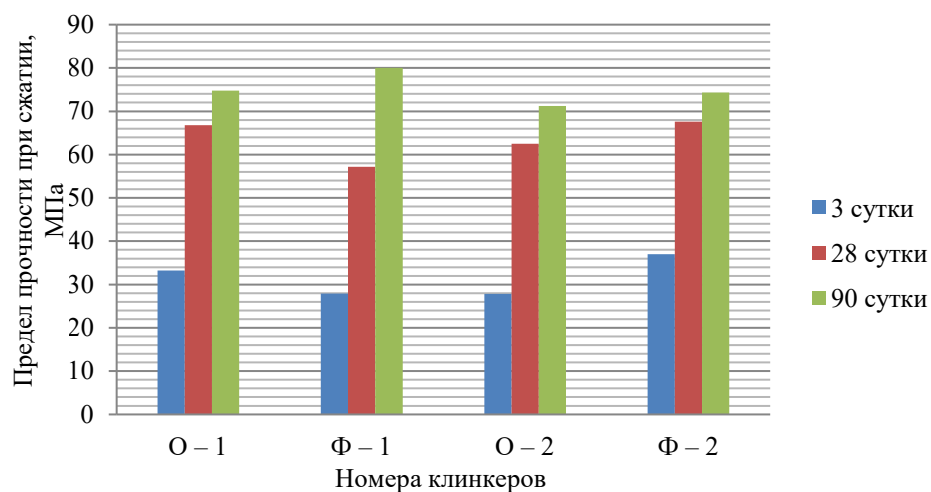


Рис. 2. Результаты физико-механических испытаний лабораторных клинкеров по пределу прочности на сжатие

Таблица 4

Химическая характеристика полупромышленных сырьевых смесей

Номера смесей	Корректирующая добавка сырьевых смесей	Содержание окислов, %					ппп, %	Модули		
		SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO		КН	<i>n</i>	<i>p</i>
О – 3	Пиритные огарки	13,98	2,77	3,64	43,17	0,87	34,72	0,95	2,11	0,82
Ф – 3	Ферритно-кальцевый шлак (проба 3)	14,14	2,80	4,00	43,33	0,88	33,68	0,94	2,18	0,70
О – 4	Пиритные огарки	14,20	2,78	3,41	43,26	1,09	34,91	0,94	2,29	0,80
Ф – 4	Ферритно-кальцевый шлак (проба 4)	14,14	2,99	3,50	42,84	1,20	34,39	0,93	2,18	0,85

Оценку качества клинкеров проводили в цементах, полученных помолом с вводом 4 % гипса до удельной поверхности 300 см²/г. Результаты физико-механических испытаний по ГОСТ 310.1–310.3–76 и 310.4–81 показали также (табл. 5 и рис. 3, 4), что опытные и контрольные клинкеры близки по активности.

Таблица 5

**Результаты физико-механических испытаний
полупромышленных клинкеров**

Номера клинкеров	Нормальная густота, %	Сроки схватывания, ч-мин		В/Ц	Расплав конуса, мм	Предел прочности, МПа					
						при изгибе			при сжатии		
		Начало	Конец			через сут					
						3	28	90	3	28	90
О – 3	22,00	1-30	4-50	0,36	113	5,6	7,2	8,1	34,4	62,4	74,8
Ф – 3	21,60	3-00	5-10	0,36	113	5,4	7,6	7,5	33,1	62,4	62,0
О – 4	25,00	1-45	3-50	0,38	114	5,5	7,4	7,7	36,8	66,0	73,8
Ф – 4	25,40	2-00	4-15	0,39	113	5,9	7,8	8,9	36,8	63,6	71,7

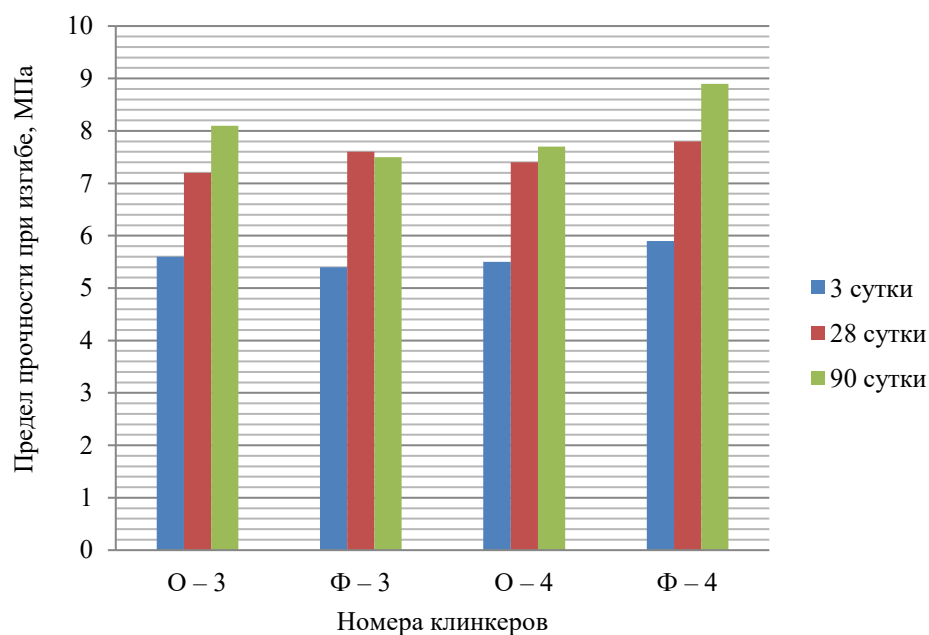


Рис. 3. Результаты физико-механических испытаний полупромышленных клинкеров по пределу прочности при изгибе

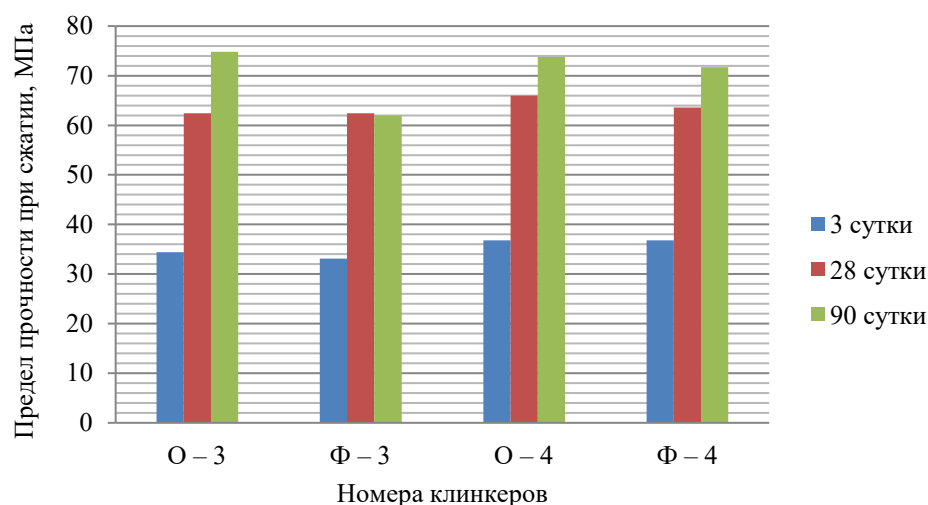


Рис. 4. Результаты физико-механических испытаний полупромышленных клинкеров по пределу прочности при сжатии

Таким образом, проведенные исследования позволили сделать вывод о принципиальной возможности использования ферритно-кальциевого шлака, полученного при комплексной переработке пиритного сырья, в качестве корректирующего компонента сырьевой смеси при расходе его в 1,3–1,5 раза больше, чем пиритных огарков.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Боцман А.Н., Ищенко А.В., Захаров С.А., Челядник М.С. Использование промышленных отходов в производстве вяжущих веществ // Междисциплинарные подходы в материаловедении и технологии. Теория и практика : сборник трудов Всероссийского совещания заведующих кафедрами материаловедения и технологии материалов. Белгород : Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2015. С. 45–48.
2. Гайдуков В.В., Яковлев Ю.Р., Алиевский В.М., Кадушиников Р.М. Автоматизация петрографического анализа клинкера // Аналитика и контроль. 2006. Т. 10. № 2. С. 152–158.
3. Горбатова Е.А., Ожогина Е.Г., Лебедев А.Н., Емельяненко Е.А., Харченко А.С., Селиванов В.Н. Целесообразность комплексирования минералого-аналитических методов изучения металлургических шлаков // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2017. Т. 15. № 4. С. 31–39.
4. Классен В.К., Михин А.С. Анализ изменения активности клинкера на ОАО «Себряковцемент» // Фундаментальные исследования. 2006. № 2. С. 63.
5. Матюхина О.Н., Косинов Е.А. Методы рентгенографического анализа / Федеральное агентство по образованию, Российский химико-технологический ун-т им. Д. И. Менделеева. Москва, 2010.
6. Савченко О.А., Симонов А.Б., Симонова И.Э. Применение методов анализа рядов динамики в стратегическом управлении предприятием (на примере ОАО «Себряковцемент») // Инновации, качество и сервис в технике и технологиях : сборник научных трудов 4-й Международной научно-практической конференции. В 3 томах / отв. ред. А.А. Горюхов, 2014. С. 275–278.
7. Селиванов Е.Н., Кукоев В.А., Клушин С.Д., Парецкий В.М. Состав продуктов плавки никелевых штейнов на фанштейн и ферритно-кальциевый шлак // Цветные металлы. 1994. № 11. С. 29–32.

8. Фурс С.А. Материально-техническая база цементной промышленности: состояние и методы оценки эффективности использования // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2003. № 4. С. 63–69.
9. Kim Y., Lee K.M., Bang J.W., Kwon S.J. Effect of W/C Ratio on Durability and Porosity in Cement Mortar with Constant Cement Amount // Materials Science and Engineering. 2015.
10. Cement, Lime and Magnesium Oxide Manufacturing Industries. Sevilla : European Commission, 2009.
11. Baroghel-Bouny V., Kinomura K., Thiery M., Moscardelli S. Easy assessment of durability indicators for service life prediction or quality control of concretes with high volumes of supplementary cementitious materials // Cement and Concrete Composites. 2011.
12. Bullard J.W., Jennings H.M., Livingston R.A., et al. Mechanisms of cement hydration // Cement and Concrete Research. 2011.
13. Singh N.B., Shivani C., Rai Sarita. Chemistry of portland cement // Journal of the Indian Chemical Society. 2003.
14. Taylor H.F.W. Cement Chemistry. 2nd Edition. Thomas Telford, 1997.
15. Hanehara S., Yamada K. Interaction between cement and chemical admixture from the point of cement hydration, absorption behaviour of admixture, and paste rheology // Cement and Concrete Research. 1999.

REFERENCES

1. Botsman A.N., Ishchenko A.V., Zakharov S.A., Chelyadnik M.S. Ispol'zovanie promyshlennykh otkhodov v proizvodstve vyazhushchikh veshchestv [Industrial waste in the production of binders]. In: Mezhdistsiplinarnye podkhody v materialovedenii i tekhnologii: Teoriya i praktika. Sbornik trudov Vserossiiskogo soveshchaniya zaveduyushchikh kafedrami materialovedeniya i tekhnologii materialov (Coll. Papers "Interdisciplinary Approaches in Materials Science and Technology: Theory and Practice"). 2015. Pp. 45–48. (rus)
2. Gaidukov V.V., Yakovlev Yu.R., Alievskii V.M., Kadushnikov P.M. Avtomatizatsiya petrograficheskogo analiza klinkera [Automation of petrographic analysis of clinker]. Analitika i kontrol'. 2006. V. 10. No. 2. Pp. 152–158. (rus)
3. Gorbatova E.A., Ozhogina E.G., Lebedev A.N., Emel'yanenko E.A., Kharchenko A.S., Selivanov V.N. Tselesoobraznost' kompleksirovaniya mineralogo-analiticheskikh metodov izucheniya metallurgicheskikh shlakov [Feasibility of combining mineralogical and analytical methods for studying metallurgical slags]. Vestnik Magnitogorskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. G.I. Nosova. 2017. V. 15. No. 4. Pp. 31–39. (rus)
4. Klassen V.K., Mikhin A.S. Analiz izmeneniya aktivnosti klinkera na OAO "Sebryakovtsement" [Analysis of clinker activity changes at OAO "Sebryakovtsement"]. Fundamental'nye issledovaniya. 2006. No. 2. P. 63. (rus)
5. Matyukhina O.N., Kosinov E.A. Metody rentgenograficheskogo analiza [Methods of radiographic analysis]. Moscow, 2010. (rus)
6. Savchenko O.A., Simonov A.B., Simonova I.E. Primenenie metodov analiza ryadov dinamiki v strategicheskoy upravlenii predpriyatiem (na primere oao "sebryakovtsement") [Methods of dynamics series analysis in strategic management of an enterprise (AO "Sebryakovtsement" case studies)]. In: Innovatsii, kachestvo i servis v tekhnike i tekhnologiyakh. Sbornik nauchnykh trudov 4-i Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii: v 3-kh tomakh (Proc. Int. Sci. Conf. 'Innovations, Quality, and Service in Engineering and Technology'). Gorokhov A.A., Ed., 2014. Pp. 275–278. (rus)
7. Selivanov E.N., Kukoev V.A., Klushin S.D., Paretskii V.M. Sostav produktov plavki nikel'nykh shteinov na fainshtein i ferritno-kal'tsievyi shlak [Composition of nickel matte smelting products into high-grade matte and calcium-ferritic slag]. Tsvetnye metally. 1994. No. 11. Pp. 29–32. (rus)
8. Furs S.A. Material'no-tekhnicheskaya baza tsementnoi promyshlennosti: sostoyanie i metody otsenki effektivnosti ispol'zovaniya [Material and technical basis of cement industry: Status and methods of efficiency assessment]. Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten'. 2003. No. 4. Pp. 63–69. (rus)
9. Kim Y., Lee K.M., Bang J.W., Kwon S.J. Effect of W/C ratio on durability and porosity in cement mortar with constant cement amount. Materials Science and Engineering, 2015.
10. Cement, lime and magnesium oxide manufacturing industries. Sevilla: European Commission. 2009.

11. Baroghel-Bouny V., Kinomura K., Thiery M., Moscardelli S. Easy assessment of durability indicators for service life prediction or quality control of concretes with high volumes of supplementary cementitious materials. *Cement and Concrete Composites*. 2011.
12. Bullard J.W., Jennings H.M., Livingston R.A., et al. Mechanisms of cement hydration. *Cement and Concrete Research*. 2011.
13. Singh N.B., Shivani C., Rai Sarita. Chemistry of Portland cement. *Journal of the Indian Chemical Society*. 2003.
14. Taylor H.F.W. Cement chemistry, 2nd edition. Thomas Telford, 1997.
15. Hanehara S., Yamada K. Interaction between cement and chemical admixture from the point of cement hydration, absorption behaviour of admixture, and paste rheology. *Cement and Concrete Research*. 1999.

Сведения об авторах

Крутилин Александр Александрович, канд. техн. наук, Себряковский филиал Волгоградского государственного технического университета, 403343, Волгоградская область, г. Михайловка, ул. Мичурина, 21, kotyra84@bk.ru

Кранчетова Татьяна Владимировна, инженер-аналитик АО «Себряковцемент», 403342, Волгоградская область, г. Михайловка, ул. Индустриальная, 2, iwankra@mail.ru

Инькова Надежда Александровна, ст. преподаватель, Себряковский филиал Волгоградского государственного технического университета, 403343, Волгоградская область, г. Михайловка, ул. Мичурина, 21, coyote@bk.ru

Пахомова Олеся Константиновна, ст. преподаватель, Себряковский филиал Волгоградского государственного технического университета, 403343, Волгоградская область, г. Михайловка, ул. Мичурина, 21, pahomovaolesia@yandex.ru

Authors Details

Aleksandr A. Krutilin, PhD, A/Professor, Sebyakovsk Branch, Volgograd State Technical University, 21, Michurin Str., Mikhailovka, Volgograd region, 403343, kotyra84@bk.ru

Tatyana V. Krapchetova, Analytical Engineer, AO "Sebyakovtsement", 2, Industrialnaya, Mikhailovka, Volgograd region, 403342, iwankra@mail.ru

Nadezhda A. Inkova, Senior Lecturer, Sebyakovsk Branch, Volgograd State Technical University, 21, Michurin Str., Mikhailovka, Volgograd region, coyote@bk.ru

Olesya K. Pakhomova, Senior Lecturer, Sebyakovsk Branch, Volgograd State Technical University, 21, Michurin Str., Mikhailovka, Volgograd region, pahomovaolesia@yandex.ru

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

УДК 624.21.01

DOI: 10.31675/1607-1859-2021-23-5-127-141

А.В. КАРТОПОЛЬЦЕВ¹, В.М. КАРТОПОЛЬЦЕВ¹, С.А. КУХАРЕНКО²,

¹ООО «ДИАМОС»,

²Томский государственный архитектурно-строительный университет

К ВОПРОСУ О ДИНАМИЧЕСКОМ КОЭФФИЦИЕНТЕ

Впервые рассмотрены фундаментальные условия динамики пролетных строений мостов в условиях нестационарных колебаний с учетом инерционности масс системы «пролетное строение + автомобиль». На основе анализа реального динамического напряженно-деформированного состояния пролетных строений в условиях изменяющегося воздействия временной подвижной нагрузки формулируются и обосновываются механические и энергетические принципы дополнительного динамического нагружения, характеризующие динамическим коэффициентом. Установлено, что динамический коэффициент незначительно зависит от формы колебания системы в связи с временным характером его применения. Амплитудно-частотные характеристики динамического напряженно-деформированного состояния рассматриваются авторами в режиме только стабильных колебаний. Подтверждением служат результаты теоретических и экспериментальных исследований на автодорожных мостах различной конструкции и длины, в результате которых авторами получены убедительные доказательства взаимосвязи между динамическим коэффициентом и параметрами затухания и резонанса. Установлено, что динамический коэффициент, отражающий энергетический баланс системы, позволяет рассматривать критические отношения равновесных амплитуд и показателей динамической жесткости пролетных строений в условиях изменяющегося воздействия временной подвижной нагрузки, а также наличие дефектов на проезжей части и несущих элементах пролетных строений в рамках известного критерия Гурвица.

Ключевые слова: пролетное строение; мост; балки; динамическая нагрузка; колебательный процесс.

Для цитирования: Картопольцев А.В., Картопольцев В.М., Кухаренко С.А. К вопросу о динамическом коэффициенте // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2021. Т. 23. № 5. С. 127–141. DOI: 10.31675/1607-1859-2021-23-5-127-141

A.V. KARTOPOLTSEV¹, V.M. KARTOPOLTSEV¹, S.A. KUKHARENKO²,
¹ООО "DIAMOS",

²Tomsk State University of Architecture and Building

TOWARDS THE DYNAMIC COEFFICIENT

For the first time, this paper studies the fundamental conditions of the dynamics of bridge spans under non-stationary oscillations with regard to the mass inertia of the span–vehicle system. Based on the dynamic analysis of the stress-strain state of spans under changing live load, the mechanical and energy principles of additional dynamic load characterized by the dynamic coefficient, are formulated and substantiated. It is found that the dynamic coefficient slightly depends on the system vibrations due to the temporary nature of its application. The amplitude-frequency characteristics of the dynamic stress-strain state are considered in the mode of stable oscillations only. Theoretical and experimental studies of road bridges of various designs and lengths confirm the relationship between the dynamic coefficient and the parameters of damping and resonance. It is found that the dynamic coefficient reflecting the energy balance of the system allows considering the critical ratios of the equilibrium amplitudes and dynamic stiffness of the spans under the changing effect of the live load as well as the presence of road defects and span bearing elements in terms of the well-known Hurwitz criterion.

Keywords: span; bridge; beams; dynamic load; oscillatory process.

For citation: Kartopoltsev A.V., Kartopoltsev V.M., Kukharenko S.A. K voprosu o dinamicheskom koeffitsiente [Towards the dynamic coefficient]. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture. 2021. V. 23. No. 5. Pp. 127–141.

DOI: 10.31675/1607-1859-2021-23-5-127-141

Из исторической хронологии научных исследований известно, что первые сведения влияния динамических эффектов на изменение напряженно-деформированного состояния несущих элементов сооружений для изгибаемых или комбинированно-нагруженных относятся к началу прошлого столетия (Технические условия для расчетов мостов города С.-Петербурга – 1913; Технические условия проектирования капитальных зданий и сооружений – 1925; Стрелецкий Н.С. Курс мостов – 1931). Идеи С.А. Ильясевича, Н.А. Бернштейна, И.М. Рабиновича, М.И. Гольденבלата справедливо относятся к глубокомасштабным пионерным исследованиям в области определения динамических показателей для мостовых конструкций. В отсутствие убедительного обоснования динамический эффект от воздействия временной подвижной нагрузки проявляется в добавлении при определении максимальных усилий введением динамического коэффициента ξ , равного

$$\xi = 1 + \xi_0. \quad (1)$$

В формуле (1), по мнению автора [1], интерес представляет та часть, которая является добавкой к единице (ξ_0) и зависит от скорости движения временной нагрузки. При

$$\xi_0 = \frac{\pi \cdot V}{L \left(p - \frac{\pi \cdot V}{L} \right)}, \quad (2)$$

где p – частота собственных колебаний балки, принимается из выражения

$$L = \frac{2 \cdot P_{\text{вр}} \cdot \beta}{p(k - m \cdot \beta^2)}; \quad p = \frac{k}{m}; \quad \beta = \frac{\pi \cdot V}{L}.$$

Из первых анализов формул (1), (2) видно, что второе слагаемое (ξ_0) в формуле (1) носит энергетический характер и зависит от формы и параметров динамических колебаний, а также от длины пролета L . Ориентируясь на предположение, что влияние динамического прогиба $y_{\text{дин}}^{\text{max}}$ имеет максимум не в сечении $L/2$, чем меньше длина пролета (L), тем несовпадение $y_{\text{дин}}^{\text{max}}$ с $y_{\text{ст}}^{\text{max}}$ больше. Для пролетов больше 80 м, где $\sin \beta t = +1$, $\sin \alpha t = -1$, отмечается совпадение значений $y_{\text{дин}}^{\text{max}} = y_{\text{ст}}^{\text{max}}$. Появление первого слагаемого в формуле (1) определено решением уравнения вида

$$\xi = \frac{1}{1 - \left(\frac{\beta}{P_0}\right)^2} \left(\sin \beta t - \frac{\beta}{P_0} \sin \alpha t \right). \quad (3)$$

При $\beta \cdot t = \pi$; $t = \frac{L}{V}$; $P_0 \cdot t = 2n \cdot \pi - \beta \cdot t$ имеем

$$\xi = 1 + \frac{\pi \cdot V}{L \left(P_0 - \frac{\pi \cdot V}{L} \right)}. \quad (4)$$

Динамический коэффициент на протяжении многих десятков лет интерпретировался с рядом символов, которые в большинстве случаев даже и не связаны либо с физической сущностью процесса, либо с той символикой в обозначениях, принятых в классических трудах механики твердого тела, динамики транспортных сооружений, а также строительной механики, на основе того, что динамический коэффициент должен олицетворять изменение динамической вертикальной жесткости пролетного строения моста в зависимости от скорости движения груза [1, с. 101].

Интерпретация значения динамического коэффициента началась с введения в оборот динамической поправки μ [2, с. 201, 202], одновременно названной и динамической добавкой

$$\Delta P_{\text{max}} = \frac{P_{\text{max}} \cdot T}{2t_0}, \quad (5)$$

где $\frac{P_{\text{max}} \cdot T}{2}$ – максимальное возможное приращение возмущающей силы $P_{\text{вр}}$ за промежуток времени, равный $\frac{T}{2}$; t_0 – время, в течение которого произошло приращение.

При T – период колебаний $\rightarrow \min$ динамическая добавка (поправка) не нужна.

В то же время А.Н. Крыловым, Я.Г. Пановко символом μ обозначается уже динамический коэффициент, равный

$$\mu = 2 \sin \pi \cdot \alpha ; \quad \alpha = \frac{t_0}{T}. \quad (6)$$

С учетом внутреннего трения динамический коэффициент μ определяется из выражения

$$\mu = \frac{1}{\sqrt{\left(1 - \frac{w^2}{p^2}\right)^2 + \frac{4w^2 \cdot n^2}{p^4}}}, \quad (7)$$

где w, p – частота вынужденных, собственных колебаний системы; $n = 1, 2, 3$.

Максимальное значение $\mu = \frac{1}{\left[1 - \frac{w^2}{p^2}\right]}$. С учетом синусоидальной формы

колебаний пролетных строений мостов $n = \lg \delta/T$ зависимость между α и μ показана в табл. 1.

Таблица 1

**Зависимость амплитудно-частотных характеристик
от динамического коэффициента**

α	0	0,01	0,02	0,03	0,05	0,25	0,5
μ	0	0,062	0,126	0,188	0,313	0,413	2,0

Таким образом, динамический коэффициент зависит от соотношения амплитудно-частотных характеристик и не зависит от длины пролета (рис. 1).

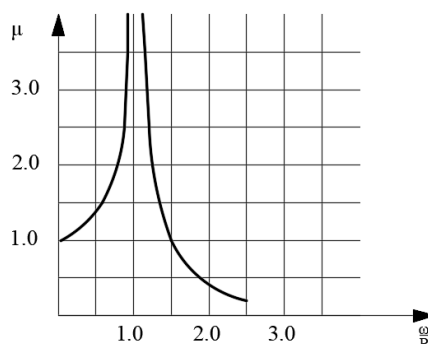


Рис. 1. Зависимость динамического коэффициента от $\frac{w}{p}$; $\frac{w}{p} = \sqrt{2}$; $\mu < 1$; $\frac{w}{p} \rightarrow \max \mu \rightarrow 0$

Также динамический коэффициент мало зависит от формы колебаний, формула (2). Такой функцией, по выражению А.Н. Крылова, может обладать динамическая поправка, а не динамический коэффициент [2, с. 201], т. к. его величина должна быть намного больше, чем большая величина μ в табл. 1. Так, в исследованиях Г.С. Шестопёрова величина динамического коэффициента

$(1 + \mu)$ находится в пределах от 2,0 до 5,0, а динамические напряжения для металлических балок в 2,6 раза выше статических [3, с. 10].

Таким же символом (μ) в работах С.П. Тимошенко, Р. Клар, Дж. Пензиен обозначен коэффициент трения (кулоново трение) и коэффициент податливости, равные отношению $\frac{\sigma_{\max}}{\sigma_y}$ из диаграмм « $\sigma - \varepsilon$ » [4, с. 82; 5, с. 316]. Не пред-

ставляет трудности значение μ переписать в виде $\frac{\varepsilon_{\max}}{\varepsilon_y} = \mu$, тогда коэффициент

податливости (μ) означает равенство

$$\frac{\varepsilon_{\max}}{\varepsilon_y} = \frac{\sigma_{\max}}{\sigma_y}. \quad (8)$$

Так как динамический коэффициент связан с отношением максимальной амплитуды вынужденной реакции системы при вынужденных колебаниях ($A_{\text{вын}}^{\max}$) к максимальному прогибу системы $y_{\text{ст}}^{\max}$ при свободных колебаниях, совершенно очевидно:

$$\mu = \frac{A_{\text{вын}}^{\max}}{y_{\text{ст}}^{\max}}. \quad (9)$$

Символическое несоответствие также отмечается подменой μ на μ_x – коэффициент пропорциональности, имеющий аналогично μ физическое значение, а именно

$$\mu_x = m_x \cdot 2\varepsilon_x, \quad (10)$$

где m_x – масса единицы длины балки; ε_x – сила трения (входящая в параметр затухания колебаний $e^{-\xi_x \cdot t}$).

Подобная идея представления динамического коэффициента отношением максимального динамического отклонения к максимальному статическому отношению в амплитудном отображении от временной нагрузки $R_{\text{вр}} \cdot \sin w \cdot t$ и максимальной восстанавливающей силы при статическом приложении нагрузки $F_{\max}$ функционально представляется в виде [6, с. 107]:

$$F_{\max} = \varphi(A_{\max}) / A_{\max} \rightarrow \varphi\left(\frac{1}{\xi_x}\right), \text{ тогда}$$

$$A_{\max}^2 = \frac{4}{3}\xi_x^2 + \frac{4}{3}\xi_x \sqrt{\xi_x^2 + \frac{4}{3}}, \quad (11)$$

параметру $A_{\max}$ соответствуют $w^2 = 1 + \frac{9}{8}A_{\max}^2$; $\varepsilon_x \approx 0,1$.

Идея вероятной обратно пропорциональной зависимости динамического коэффициента от параметра затухания нашла отражение также при анализе ре-

зонансных состояний колеблющейся системы при $\beta = \frac{w}{p} = \sqrt{1 - \xi^2} = \frac{2}{3}$,

где $\xi = 0,7$ – по С.А. Бернштейну. Тогда динамический коэффициент в стадии резонанса, по мнению авторов, равен [5, с. 56]:

$$\mu = \frac{1}{2\xi\sqrt{1-\xi^2}} = 1,005. \quad (12)$$

Таким образом, авторам исследований [5, 6] не удалось найти подтверждение того, что динамический коэффициент зависит только от состояния β и параметра затухания ξ , формула (12).

Практически противоположное мнение можно найти в работах Н.К. Снитко, считающего динамический коэффициент μ_t переменной величиной во времени, зависящей от формы колебания и амплитудно-частотных характеристик переменных во временном промежутке t [7, с. 64–65]:

$$\mu_t = \mu \left(\sin w \cdot t - \frac{w}{p} \sin p \cdot t \right), \quad (13)$$

где t – время движения транспорта по балке; $\mu = \frac{1}{1 - \frac{w^2}{p^2}}$ – динамический коэффициент

вынужденных колебаний балки $\mu < \mu_t$.

Последовательно идея, высказанная Н.К. Снитко о временном характере динамического коэффициента в колебательном процессе, рассмотрена в ряде работ А. Лисовского в стадиях предрезонансного или резонансного состояния [8]. Принимая за основу выражение для динамического коэффициента в предрезонансных зонах в виде

$$Q = \frac{1}{\sqrt{\left(1 - \frac{w^2}{p^2}\right)^2 + \frac{0,072 \frac{w^2}{p^2}}{n^2}}}, \quad (14)$$

где $n = \frac{2\pi}{T}$, значение максимального динамического прогиба будет равно

$$y_{\text{дин}}^{\text{max}} = y_{\text{ст}}. \quad (15)$$

В стадии резонанса $w = Q_p$ значения в формулах (14), (15) будут определяться из выражений:

$$Q_p = Q_{\text{резон}} = \frac{2\pi}{0,3T}; \quad y_{\text{дин,резон}}^{\text{max}} = y_{\text{ст}} \frac{2\pi}{0,5T}. \quad (16)$$

В дальнейшем на основе правила L. Hospital А. Лисовским было предложено вводить понятие динамического коэффициента перемещения (коэффициент динамичности) при условии, что $Q_n = \frac{y_{\text{max}}}{y_{\text{ст}}}$; $y_{\text{max}} = 2y_{\text{ст}}$. Максимальный

динамический прогиб и коэффициент при $t = 0,5T = \frac{\pi}{p_1}$ целесообразно определять из выражения [8, с. 39]:

$$Q_{\max} = 1 + e^{\frac{-0,47}{n_1}}; \quad y_{\max} = y_{\text{ст}} \cdot Q_{\max}, \quad (17)$$

где $v = (0,016-0,08)n$; $n_1 = 0,15$; $p_1 = 0,994p$; p – круговая частота свободных незатухающих колебаний балки; p_1 – круговая частота свободных затухающих колебаний; $p = \frac{2\pi}{T}$; $v \cdot \pi \cong 0,47$.

Таким образом, в расчетах [8] имеют место слагаемые $1 + e^{\frac{-0,47}{n_1}}$, которые могут быть прототипами современного обозначения динамического коэффициента $1 + \mu$ (СП 35.13330.2011 «Мосты и трубы»). Аналогичного мнения придерживается В.Л. Бидерман, считающий μ энергетической характеристикой колеблющейся системы, не чем иным, как коэффициентом усиления колебаний, связанных с инерционностью системы [9]. Данное обстоятельство рассматривается важным в стадии формирования колебаний при въезде нагрузки на балку пролетного строения. В этом случае воздействие временной нагрузки считается неуравновешенным, и скорость динамического перемещения балки будет определяться выражением

$$V_{\text{дин}} = \frac{\Sigma P_{\text{вр}}}{m}, \quad (18)$$

где m – масса балки.

Воздействие временной нагрузки при $t = t_0$ следует считать импульсивно приложенным в течение короткого отрезка времени $t = 0; 0,2; 0,3; 0,5; 0,7; 1$ с. В этот промежуток времени какая-либо динамическая добавка в параметрах колебательного процесса не нужна по причине того, что усиление динамического эффекта целесообразно рассматривать только для стабильных колебаний. Подтверждением служат исследования, при которых от воздействия временной нагрузки при въезде на мостовое сооружение частотные характеристики вынужденных колебаний не совпадают по фазе с истинной реакцией опорных сечений балок на действие временной нагрузки на угол θ [5, с. 52], равный

$$\theta = tg^{-1} \frac{2 \cdot \xi \cdot \beta}{1 - \beta^2}, \quad (19)$$

где $0 < \theta < 180^\circ$.

В этом случае суммарная амплитуда реакции $A_{\text{вын}}^{\max}$, отнесенная к статическому перемещению на опоре в момент въезда нагрузки на мост, отличается всего лишь на малую величину и не может считаться динамическим эффектом:

$$\frac{A_{\text{вын}}^{\max}}{y_{\text{ст}}} = \left[(1 - \beta^2)^2 + (2\beta \cdot \xi)^2 \right]^{-1/2}, \quad (20)$$

где $\beta = 2/3$; $\xi = 0,2-0,7$.

Подтверждением служат результаты обширных экспериментальных динамических исследований ряда автодорожных мостов [10, с. 182; 11, с. 198]. В очередной раз очевидно, что динамический коэффициент в своем естественном выражении должен являться функцией, обратно пропорциональной параметру затухания (ξ) и параметру резонанса (β), который, в свою очередь, определяется из выражения

$$\beta = \frac{w}{p} = \sqrt{1 - \xi^2} \quad (21)$$

и является составляющим параметром логарифмического коэффициента затухания $\lg \delta \cong 2\pi \cdot \xi$. Конструктивный анализ в исследованиях [2, 4, 6, 8] показывает структурное содержание динамического коэффициента, который необходимо иметь на основе динамических характеристик для резонансных или предрезонансных форм колебаний в условиях, характеризующих добротность и расстройку системы. Принимая добротность колеблющейся системы в резонансной или предрезонансной зонах за отношение, обратно пропорциональное параметру затухания $\left(\frac{1}{\xi}\right)$, а расстройку из выражения $p - \frac{p_0}{q} \bar{w}$, при условии необходимого учета угла сдвига фаз в рассматриваемых зонах, необходимая частота колебаний будет определяться из выражения

$$w = \frac{P_0}{q} \bar{w} \cdot t + \theta, \quad (22)$$

где θ – угол сдвига фаз $\approx \frac{\pi}{2}$; P_0, q – некоторые взаимно простые числа; $\bar{w}$ – круговая частота возмущающей силы (вынужденные колебания) [7, с. 203].

Рассматривая условие в предрезонансной зоне $n^2 + (m^2 - 1)^2 \neq 0$; $n, m = 1, 2, 3$ и резонансной зоне $\frac{w}{p} = 1$, считаем справедливыми выражения (Справочник проектировщика. Расчетно-теоретический. Москва, 1961. С. 1040):

$$A_{\text{вын}} = \frac{y_{\text{ст}} \cdot p}{2}.$$

Динамический коэффициент

$$\left(\frac{A_{\text{вын}}}{y_{\text{ст}}} \right) = \frac{1}{\sqrt{1 - \left(\frac{w}{p} \right)^2 + 4n^2 \left(\frac{w}{p} \right)^2}}, \quad (23)$$

где n определяется из выражения $1 = \sqrt{1 - 2n^2}$.

При $\frac{w}{p} < 1$ фазы вынужденных собственных колебаний совпадают. При

$\frac{w}{p} > 1$ угол сдвига фаз в обоих случаях состояния отличается на 180° .

Однако это обстоятельство не отражается на формуле для динамического коэффициента, который является максимальным (23).

В случае биения (рис. 2) $w \cong p$, π / T увеличиваются, динамический коэффициент отличается от аналогичного резонансного состояния на величину угла смещения фаз θ , равную

$$\theta = \frac{2\pi \cdot T_{\text{вын}}}{P_{\text{вр}}}, \quad (24)$$

при $m = 1, 2, 3$ или $\theta \cong \frac{1}{4}$ цикла.

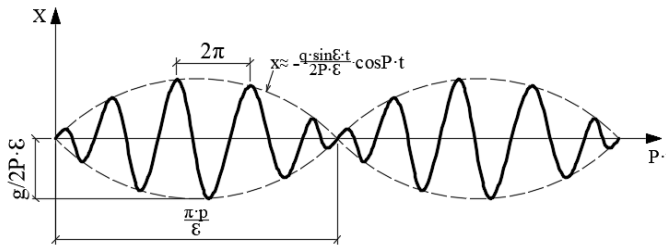


Рис. 2. Виброграмма биения для затухающих колебаний

После схода временной нагрузки с пролета балка пролетного строения находится в свободном затухающем колебании с параметрами [12, с. 107]:

$$T_{\text{вын}}^{\text{биения}} = \pi / \varepsilon; \quad \varepsilon = (0,01-0,008)w; \quad w = g / 2p \cdot \varepsilon \sin \varepsilon \cdot t.$$

В.Л. Бидерман применял коэффициент динамичности в качестве только энергетической характеристики вынужденных колебаний в рамках энергетического баланса, характеризующего ход изменений в системе «пролетное строение + автомобиль» в зависимости от отклонения энергии E , поступающей в систему, и энергии R реакций элементов системы, расходуемой на преодоление различных внутренних и внешних сопротивлений. В условиях положительного отношения равновесной амплитуды и показателей жесткости системы β равен

$$\beta = \frac{1}{\sqrt{\left(1 - \frac{w^2}{p^2}\right)^2 + \left(\frac{\lg \delta}{\pi}\right)^2 \left(\frac{w}{p}\right)^2}}, \quad (25)$$

где $\lg \delta$ – логарифмический декремент затухания вынужденных колебаний для металлических мостов, принимается равным 0,05–0,15.

При $w \rightarrow p \rightarrow \beta \rightarrow \max$ в случае максимума равновесной амплитуды значение $\beta_{\max} \cong \frac{\pi}{\lg \delta}$. Чем меньше $\lg \delta$, тем больше добротность системы и значение равновесной амплитуды. В системе $w < p$, $w > p$ система удалена от резонанса. В состоянии резонанса $w = p$ угол сдвига фаз $\varphi \cong \frac{\pi}{2}$ в предрезонансных зонах

рекомендуется не учитывать. Попытка подтверждения энергетической составляющей сущности динамического эффекта от воздействия подвижной временной нагрузки освещена в исследованиях А.Б. Моргаевского [13, с. 70], где в виде возможного критерия качества определяющих параметров энергетической оценки составляющих динамического коэффициента μ являются β и α .

В исследованиях А.П. Филиппова, С.С. Кохманюк усматривается попытка выявить зависимость динамического коэффициента изгибающих моментов в условиях контакта с проезжей частью мостовых конструкций [14, с. 211]. При движении временной подвижной нагрузки по неровной проезжей части происходят отскоки и соударения подрессорных масс, движущихся со средней скоростью $V_{\text{ср}} = \frac{(V_0 + V_1)}{2}$. При скорости $V_1 = V_0 \sqrt{2\nu + 1}$, с которой временная нагрузка покидает балку, формирование структуры динамического коэффициента существенно зависит от режимов взаимодействия балки и динамической нагрузки с последующим соударением в месте контакта с неровной проезжей частью на основе расчетных схем (рис. 3).

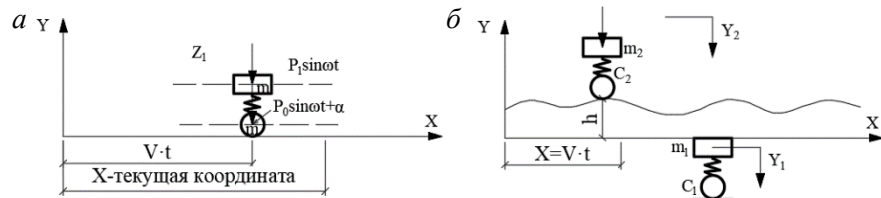


Рис. 3. Расчетная схема взаимодействия нагрузки с пролетным строением:

a – ровная проезжая часть; b – проезжая часть с неровностями, $\alpha = \frac{V_0 \cdot L}{\pi} \sqrt{\frac{F \cdot \rho}{E \cdot J}}$

Переменный характер динамического коэффициента зафиксирован в изменении максимальных в пролете перемещений и моментов в зависимости от скорости движения параметров α и $\beta = 0,5$ (рис. 3, a). Однако для динамического коэффициента важным обстоятельством является именно соотношение параметров α и β , при котором наступает отрыв нагрузки в конце пролета, сопровождаемый соударением подвижной нагрузки с балкой в зоне деформационного шва, и отличие его в середине пролета.

В фундаментальных исследованиях Ю.А. Шиманского динамический коэффициент $k_{\text{дин}}$ является затухающей периодической функцией отношения $\frac{t_t}{p}$ с предельной величиной от 1 до 2 и определяется из выражения [15, с. 78]:

$$k_{\text{дин}} = 1 + \left[\frac{p}{\pi \cdot t_t} \sin \frac{\pi \cdot t_t}{p} \right], \quad (26)$$

где $t_t = t_0 - t$ – время действия временной нагрузки; p – частота собственных колебаний; при $\frac{t_t}{p} > 6$ $k_{\text{дин}} \leq 1,05$; при $\frac{t_t}{p} > 0,5$ $k_{\text{дин}} = \frac{\pi \cdot t_t}{p} = 1$.

Состоящий из двух слагаемых динамический коэффициент $k_{\text{дин}}$ объясняется автором двухстадийным процессом нагружения динамической системы (рис. 4).

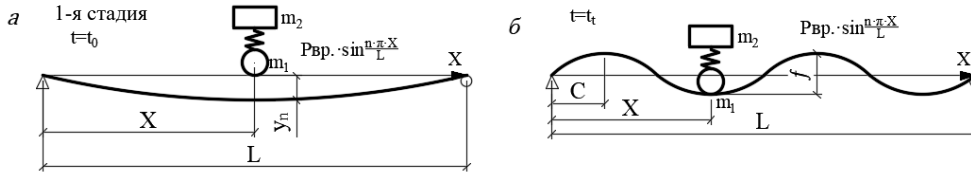


Рис. 4. Двухстадийное нагружение:

а – стадия собственных инерционных колебаний; б – стадия вынужденных колебаний

При $t = t_0$ – время отсчета – колебания отсутствуют; $t = t_1$ – стадия свободного колебания; $t = t_t$ – стадия вынужденных колебаний; $t = t_c$ – сход временной нагрузки с пролета; $f = \sin \frac{n \cdot \pi \cdot x}{L}$; $n = 2, 4, 6$.

Научную идею Ю.А. Шиманского поддержал и развил И.Г. Бондарь, в которой динамический коэффициент выступает как функция динамического прогиба и момента соответствия статическому и динамическому нагружению [16, с. 111] и соотношение масс автотранспорта и пролетного строения $\beta = \frac{m_a}{m_n} \approx 0,5-1,0$.

В дальнейшем были получены математические зависимости для прогиба и момента в сечении $L/2$ в виде

$$\left. \begin{aligned} (1 + \mu)y &= 1 + \frac{\alpha^2}{10} + \frac{g_{\text{вп}} \cdot \alpha \cdot \beta}{\pi^5} \sin \frac{w \cdot p}{\alpha \cdot V}, \\ (1 + \mu)M_d &= 1 + \frac{\alpha^2}{12} + \frac{8 \cdot \alpha \cdot l^3}{\pi^3} \sin \frac{w \cdot p}{2V}, \\ M_g^{1/2} &= \frac{F \cdot L}{4} (1 + \mu)M_d + \frac{g \cdot L^2}{8}. \end{aligned} \right\}. \quad (27)$$

При $x = V \cdot t$; $P_{\text{вп}} = F$; g – равномерно распределенная нагрузка от собственного веса системы; $\beta = \frac{\alpha^2}{3\pi^2} - 1$; $\alpha = \frac{V}{V_{\text{кр}}} \frac{1}{\sqrt{1 + 2\beta}}$.

В более поздних фундаментальных исследованиях О.Ф. Ганиева, В.О. Кононенко было отмечено, что любая динамическая добавка μ функционально зависима от частотных характеристик p и w и встроена в ε_s – «расстройка частоты», указывающая на приближение к предрезонансному $w \cong p$, $p \cong w \pm \mu \cdot \varepsilon_s$ или резонансному состоянию $w = p$, $p - \mu \cdot \varepsilon_s < w < p + \mu \cdot \varepsilon_s$.

Фактически μ как динамическая добавка и второе слагаемое динамического коэффициента в большей степени приближена к оценке влияния вынуж-

денных колебаний на динамический процесс в системе, что нашло отражение в критерии Эрлита – Гурвица в выражении [17, с. 67, 118]:

$$w \cong \mu \cdot \varepsilon_s, \quad (28)$$

где ε_s – малая по сравнению с w величина, имеющая размерность частоты, равную $\frac{1}{g} - h$; $s = 1, 2, 3$; h – коэффициент сопротивления системы при основной форме колебания, увеличение которого уменьшает ε_s и устойчивость и повышает уровень риска резонанса. При $h \geq \frac{1}{w} g_{вр}$ частотная характеристика w соответствует выражению (28).

Противоречивость и неподтвержденность фактического значения динамической добавки μ в современных исследованиях просматриваются в работах [18, с. 47; 19, с. 7]. Представляя динамическую надбавку μ как разницу между $y_{дин}^{max} - y_{ст}$ и отношения массы временной нагрузки ($m_{вр}$) к массе пролетного строения ($m_с$), можно получить значения при различной скорости движения, а именно: при $\mu = 0,1$ $V = 70$ км/ч; при $\mu = 0,2$ $V = 80$ км/ч; при $\mu = 0,08$ $V = 100$ км/ч и более.

Такое соотношение между μ и V не может быть признано для современного класса временной подвижной нагрузки, т. к. $\mu = 0,1$ можно представить как значение ошибки при измерении колебаний приборами. Несколько позже авторами объявляются результаты исследований $1+\mu$, где значение коэффициента в зависимости от скорости от 5 до 70 км/ч $1+\mu$ составляет от 1,6 до 2,4 между предыдущими значениями от 30 до 70 %, что недопустимо для практического применения.

В современных отечественных и международных изданиях эффект от динамического воздействия временной подвижной нагрузки имеет эмпирическую ограниченную модель определения в зависимости от длины пролета L в пределах от 1,0 до 1,75 [18, с. 22]. В нормах Италии к нормативным нагрузкам вводят коэффициент динамичности μ для длины пролета (L) меньше 100 м равный

$$\mu = \frac{1 + (100 - L)^2}{\frac{250 - L}{100}}, \quad (29)$$

для $L \geq 100$ м $\mu = 1,0$.

Во французских нормативных документах динамический коэффициент μ представлен в виде

$$\mu = \frac{1 + 0,80}{1 + 0,2L}. \quad (30)$$

В регламенте на проектирование мостов в Норвегии динамический коэффициент (μ) равен от 1,4 до 1,75 в зависимости от типа временной, в основном двухосных экипажей, нагрузки и вводится в формулу для определения изгибающего момента M , равного [20, с. 415, 417]:

$$M = M_{\text{вр}} \cdot \mu. \quad (31)$$

Величина динамического коэффициента, установленная стандартом 4СН73-6204, зависит в основном от начальных условий движения временной нагрузки, конструкции и состояния проезжей части мостов. Так же, как и для стран с нормами Еврокода, за исключением Бельгии, динамический коэффициент в большинстве случаев мало отличается от 1,0, что нереально для эксплуатации мостов в современных условиях [20, с. 420].

Таким образом, всесторонний анализ динамического поведения автодорожных мостов в нашей стране и за рубежом показывает, что гамма обозначений в большинстве случаев не характеризует сущность динамического эффекта, не обоснована и не подтверждена научными исследованиями в части определения динамического коэффициента и его структуры.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Ильяевич С.А.* Основы динамического расчета балочных металлических мостов. Москва : ОНТИ. НКТП СССР, Госмашметиздат, 1934. 200 с.
2. *Пановко Я.Г.* Основы прикладной теории упругих колебаний. Москва : Машиностроение, 1967. 316 с.
3. *Шестоперов Г.С.* Некоторые задачи динамического пространственного расчета балочных мостов : автореферат диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. Москва, 1969. 23 с.
4. *Тимошенко С.П., Янг Д.Х.* Колебания в инженерном деле. Москва : Машиностроение, 1985. 472 с.
5. *Клаф Р., Пензиен Д.* Динамика сооружений. Москва : Стройиздат, 1979. 320 с.
6. *Кац Я.М.* О вынужденных нелинейных колебаниях // Труды ЛИИ. 1939. № 3. С. 102–120.
7. *Снитко Н.К.* Методы расчета сооружений на вибрацию и удар. Ленинград ; Москва : Гос. изд-во лит. по стр-ву и архитектуре, 1953. 288 с.
8. *Лисовский А.* Колебания прямых стержней и рам / пер. с польского Г.Н. Вилкова ; под ред. И.Л. Корчинского. Москва : Госстройиздат, 1961. 160 с.
9. *Бидерман В.Л.* Прикладная теория механических колебаний. Москва : Высшая школа, 1972. 416 с.
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 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.
12. *Картопольцев В.М., Картопольцев А.В., Бочкарев Н.Н.* Автоматизированный комплекс динамических испытаний мостов // Современные техника и технологии. Труды 4-й областной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. Томск, 1998. С. 106–109.
13. *Моргаевский А.Б.* О влиянии рессор на величину динамического эффекта от подвижных нагрузок // Исследования по теории сооружений. Вып. XIV. Москва : Стройиздат, 1965. С. 65–71.
14. *Филиппов А.П., Кохманюк С.С.* Расчет сооружений на подвижные нагрузки. Динамический расчет зданий и сооружений. Москва : Стройиздат, 1984. С. 205–211.
15. *Шиманский Ю.А.* Динамический расчет судовых конструкций / под общ. ред. В.И. Першина. Ленинград : Судпромгиз, 1948. 408 с.
16. *Бондарь Н.Г.* Динамический расчет на движущуюся нагрузку // Исследования по теории сооружений. Вып. VI. Москва : Стройиздат, 1954. 111 с.
17. *Ганиев, Р.Ф., Кононенко В.О.* Колебания твердых тел. Москва : Наука, 1976. 432 с.

18. Ефимов П.П. Динамическое воздействие движущихся автомобилей на мосты малых пролетов // Теоретические и экспериментальные исследования мостов и сооружений : сб. науч. трудов / СибАДИ. Омск : Зап.-Сиб. кн. изд-во, 1972. № 5. С. 46–51.
19. Ефимов П.П. Исследование некоторых свойств динамической системы «пролетное строение + нагрузка» для случая движения нагрузки по неровной проезжей части пролетных строений малой длины // Теоретические и экспериментальные исследования мостов и строительных конструкций : сб. науч. трудов / СибАДИ. Омск : Зап.-Сиб. кн. изд-во, 1971. № 4. С. 5–10.
20. Гордеев В.Н., Лантух-Лященко А.И., Пашинский В.А., Перельмутер А.В., Пичугин С.Ф. Нагрузки и воздействия на здания и сооружения / под общ. ред. А.В. Перельмутера. Москва : Изд-во АСВ. 2006. 478 с.

REFERENCES

1. Ilyashevich S.A. Osnovy dinamicheskogo rascheta balochnykh metallicheskh mostov [Basics of dynamic analysis of beam metal bridges]. Moscow: Gosmashmethizdat, 1934. 200 p. (rus)
2. Panovko Y.G. Osnovy prikladnoi teorii uprugikh kolebaniy [Basics of applied theory of elastic oscillations]. Moscow: Mashinostroenie, 1967. 316 p. (rus)
3. Shestoporov G.S. Nekotorye zadachi dinamicheskogo prostranstvennogo rascheta balochnykh mostov [Some tasks of dynamic spatial analysis of beam bridges. PhD Abstract]. Moscow, 1969. 23 p. (rus)
4. Tymoshenko S.P., Yang D.H. Kolebaniya v inzhenernom dele [Oscillations in engineering]. Moscow: Mashinostroenie, 1985. 472 p. (rus)
5. Clough R.W., Penzien J. Dinamika sooruzhenii [Dynamics of structures]. Moscow: Stroyizdat, 1979. 320 p. (transl. from Engl.)
6. Katz Y.M. O vyznuzhennykh nelineinykh kolebaniyakh [Forced nonlinear oscillations]. Trudy LII. 1939. No. 3. Pp. 102–120. (rus)
7. Snitko N.K. Metody rascheta sooruzhenii na vibratsiyu i udar [Methods for structural analysis of vibration and blow]. Leningrad; Moscow, 1953. 288 p. (rus)
8. Lisovski A. Kolebaniya pryamykh sterzhnei i ram [Oscillations of straight rods and frames]. Moscow: Gosstroyisdat, 1961. 160 p. (transl. from Pol.)
9. Biderman V.L. Prikladnaya teoriya mekhanicheskikh kolebaniy [Applied theory of mechanical oscillations]. Moscow: Vysshaya shkola, 1972. 416 p. (rus)
10. Kartopoltsev V.M., Kisov D., Kartopoltsev A.V., Kolmakov B.D. Dinamicheskie ispytaniya stalezhelezobetonnykh mostov s uchetom vliyaniya defektov proezzhei chasti [Dynamic tests of composite bridges with pavement defects]. Vestnik of Tomsk State University of Architecture and Building. 2016. No. 5. Pp. 178–193. (rus)
11. 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 bridge]. Vestnik of Tomsk State University of Architecture and Building. 2016. No. 3. Pp. 194–204. (rus)
12. Kartopoltsev V.M., Kartopoltsev A.V., Bochkarev N.N. Avtomatizirovannyi kompleks dinamicheskikh ispytaniy mostov [Automated system of dynamic tests of bridges]. In: Sovremennye tekhnika i tekhnologii. Trudy 4-i oblastnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii studentov, aspirantov i molodykh uchenykh (Proc. 4th Sci. Conf. of Students and Young Scientists 'Modern Engineering and Technologies'). Tomsk, 1998. Pp. 106–109. (rus)
13. Morgaevsky A.B. O vliyaniy ressor na velichinu dinamicheskogo effekta ot podvizhnykh nagruzok [Spring effect on dynamic live loads]. In: Issledovaniya po teorii sooruzhenii [Studies on the structural theory], vol. XIV. Moscow: Stroyzdat, 1965. Pp. 65–71. (rus)
14. Filippov A.P., Kokhmanyuk S.S. Easchet sooruzhenii na podvizhnye nagruzki. Dinamicheskii raschet zdaniy i sooruzhenii [Structural analysis of live loads. Dynamic analysis of buildings]. Moscow: Stroyzdat, 1984. Pp. 205–211. (rus)
15. Shimansky Y.A. Dinamicheskii raschet sudovykh konstruktssii [Dynamic analysis of ship structures], V.I. Pershin, Ed. Leningrad: Sudpromgiz, 1948. 408 p. (rus)
16. Bondar N.G. Dinamicheskii raschet na dvizhushchuyusya nagruzku [Dynamic analysis of live load]. In: Issledovaniya po teorii sooruzhenii [Studies on the theory of structures], vol. VI. Moscow: Stroyzdat, 1954. 111 p. (rus)

17. *Ganiev R.F., Kononenko V.O.* Kolebaniya tverdykh tel [Oscillations of solids]. Moscow: Nauka, 1976. 432 p. (rus)
18. *Efimov P.P.* Dinamicheskoe vozdeistvie dvizhushchikhsya avtomobilei na mosty malyykh proletoy [Dynamic impact of moving cars on small span bridges]. In: Teoreticheskie i eksperimental'nye issledovaniya mostov i sooruzhenii: sb. nauch. trudov (*Coll. Papers "Theoretical and Experimental Studies of Bridges and Structures"*). Omsk: SibADI, 1972. No. 5. Pp. 46–51. (rus)
19. *Efimov P.P.* Issledovanie nekotorykh svoystv dinamicheskoi sistemy "proletnoe stroenie + nagruzka" dlya sluchaya dvizheniya nagruzki po nerovnoi proezzhei chasti proletnykh stroenii maloi dliny [The properties of "span structure–load system for load on uneven span road of low length]. Teoreticheskie i eksperimental'nye issledovaniya mostov i stroitel'nykh konstruksii: sb. nauch. trudov (*Coll. Papers "Theoretical and Experimental Studies of Bridges and Buildings"*). Omsk: SibADI, 1971. No. 4. Pp. 5–10. (rus)
20. *Gordeev V.N., Lanthukh-Lyashchenko A.I., Pashinsky V.A., Perelmutter A.V., Pichugin S.F.* Nagruzki i vozdeistviya na zdaniya i sooruzheniya [Loads on buildings and structures], A.V. Perelmutter, Ed. Moscow: ASV, 2006. 478 p. (rus)

Сведения об авторе

Картопольцев Андрей Владимирович, канд. техн. наук, доцент, ООО «ДИАМОС», 634003, г. Томск, пер. Соляной, 24/1, diamos@mail.ru

Картопольцев Владимир Михайлович, докт. техн. наук, профессор, ООО «ДИАМОС», 634003, г. Томск, пер. Соляной, 24/1, diamos@mail.ru

Кухаренко Светлана Александровна, ст. преподаватель, Томский государственный архитектурно-строительный университет, 634003, г. Томск, пл. Соляная, 2, kaf_most@mail.ru

Authors Details

Andrei V. Kartopoltsev, PhD, A/Professor, ООО "DIAMOS", 24/1, Solyanoy Alley, 634003, Tomsk, Russia, diamos@mail.ru

Vladimir M. Kartopoltsev, DSc, Professor, ООО "DIAMOS", 24/1, Solyanoy Alley, 634003, Tomsk, Russia, 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

УДК 624.046.2:666.96

DOI: 10.31675/1607-1859-2021-23-5-142-150

*В.Н. ЛУКАШЕВИЧ, О.Д. ЛУКАШЕВИЧ, Р.И. МОКШИН,
Томский государственный архитектурно-строительный университет*

ПРЕИМУЩЕСТВА СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЯ ДИСПЕРСНО-АРМИРОВАННЫХ ОРГАНОМИНЕРАЛЬНЫХ СМЕСЕЙ

Актуальность работы предопределена потребностью улучшения характеристик конструктивных слоев дорожных одежд, поскольку в условиях повышения грузоподъемности транспортных средств, значительной интенсивности их движения дорожные одежды, запроектированные и построенные в соответствии с требованиями действующих нормативных документов, разрушаются, не выдерживая установленных сроков службы. Дисперсное армирование покрытий и оснований дорожных одежд химическими волокнами может быть одним из путей решения этой проблемы.

Целью работы являлось исследование процессов структурообразования дисперсно-армированных конструктивных слоев дорожных одежд, выполненных из органоминеральных смесей. Приведены результаты теоретических исследований влияния различных методов армирования на трещинообразование конструктивных слоев дорожных одежд из органоминеральных смесей. Показано, что при направленном армировании конструктивных слоев с использованием сеток растягивающие напряжения компенсируются только в нижней части слоя, там, где расположена сетка. По краям чаши прогиба в верхней зоне конструктивного слоя растягивающие напряжения не компенсируются, поскольку армирующая сетка расположена в нижней части слоя. При дисперсном армировании химические волокна пронизывают весь объем конструктивного слоя, в том числе и его верхнюю часть, где воспринимают растягивающие нагрузки и снижают вероятность образования трещин.

Реализация жидкофазного метода дисперсного армирования органоминеральных смесей приводит к улучшению адгезии битума к поверхности волокон дисперсной арматуры.

Ключевые слова: конструктивный слой дорожной одежды; покрытие дорожной одежды; основание дорожной одежды; дисперсная арматура; химические волокна; адгезия битума к поверхности армирующих волокон; адсорбционно-сольватные оболочки битума.

Для цитирования: Лукашевич В.Н., Лукашевич О.Д., Мокшин Р.И. Преимущества структурообразования дисперсно-армированных органоминеральных смесей // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2021. Т. 23. № 5. С. 142–150.

DOI: 10.31675/1607-1859-2021-23-5-142-150

*V.N. LUKASHEVICH, O.D. LUKASHEVICH, R.I. MOKSHIN,
Tomsk State University of Architecture and Building*

STRUCTURE FORMATION OF DISPERSION HARDENED ORGANOMINERAL MIXTURES

The relevance of the work is determined by the need to improve the properties of the road pavement layers. Under conditions of increasing carrying capacity of vehicles and traffic intensity, pavements designed and constructed in accordance with the regulatory documents are destroyed without reaching the required service life. The pavement reinforcement with chemical fibers is one of the ways to solve this problem. The aim of this work is to study the structure

formation of dispersion reinforcement of the pavement layers made of organomineral mixtures. Theoretical calculations are presented for the structural formation with directional reinforcement by using meshes and interlayers with dispersed reinforcement. It is shown that directional reinforcement of the structural layers provides compensation of tensile stresses only at the bottom layer, where the mesh locates. At the edges of the deflection bowl in the upper layer, tensile stresses are not compensated because the reinforcing mesh locates at the bottom layer. With dispersed reinforcement, chemical fiber penetrates in the structural layer, including its top and perceive tensile loads and reduce the likelihood of cracking. The implementation of the liquid-phase method of dispersed reinforcement of organomineral mixtures improves the bitumen adhesion to the fiber surface of the dispersed reinforcement.

Keywords: pavement layer; subgrade; dispersed reinforcement; chemical fiber; bitumen adhesion; reinforcing fibers; adsorption solvation layer.

For citation: Lukashovich V.N., Lukashovich O.D., Mokshin R.I. Preimushchestva strukturoobrazovaniya dispersno-armirovannykh organomineral'nykh smesei [Structure formation of dispersion hardened organomineral mixtures]. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture. 2021. V. 23. No. 5. Pp. 142–150.
DOI: 10.31675/1607-1859-2021-23-5-142-150

Органоминеральные смеси, используемые для устройства покрытий и оснований дорожных одежд, являются многокомпонентными сложными гетерогенными системами и обладают комплексом характерных свойств (упругость, пластичность, ползучесть, прочность при сжатии, релаксация напряжений и т. д.). Показатели этих свойств предопределены в основном характеристиками вяжущих, используемых для приготовления органоминеральных смесей. Применение вяжущих на основе нефтяных битумов приводит к тому, что конструктивные слои дорожной одежды приобретают свойства термопластичных материалов, характеристики которых зависят от температуры слоя. В летний период температура дорожного покрытия может превышать 60 °С. Под воздействием таких температур ухудшаются характеристики органоминеральных смесей, что приводит к колееобразованию, возникновению гребенки и других деформаций. Для борьбы с этими негативными явлениями применяют различные методы, повышающие сдвигоустойчивость материала, в том числе использование более вязких битумов. Однако в холодное время года, при значительных отрицательных температурах, адсорбционно-сольватные оболочки из более вязких битумов, обеспечивающие связь между частицами минерального материала, теряют эластичность, становятся более хрупкими. Это приводит к повышению интенсивности трещинообразования. Таким образом, для снижения интенсивности возникновения вышеуказанных деформаций и разрушений конструктивных слоев дорожных одежд из органоминеральных смесей необходимо решить довольно сложную задачу – повысить сдвигоустойчивость материала в жаркий летний период и понизить его трещинообразование в холодный зимний период.

Анализ многолетних исследований методов улучшения характеристик органоминеральных материалов позволяет отнести все предлагаемые решения к технологическим либо конструктивным методам [1].

Конструктивные методы основаны на рациональном конструировании дорожных одежд, снижающем уровень напряжений в слое. Они направлены на уменьшение: взаимодействия (горизонтального) между слоями покрытия и ос-

нования за счет применения прослоек из высокопластичных и деформативных материалов, снижающих трение между покрытием и основанием; температурных перепадов в асфальтобетоне за счет увеличения толщины слоя покрытия; растягивающих напряжений в асфальтобетоне в результате армирования слоя покрытия сетками; растягивающих напряжений в асфальтобетоне с помощью нарезки оптимального количества швов в основании или создания множества микротрещин для ограничения величины их раскрытия.

В основе технологических методов лежит регулирование свойств асфальтобетонного покрытия и укрепленного неорганическим вяжущим материала основания. Они направлены на увеличение: механической прочности материала на растяжение за счет оптимизации расхода вяжущего и дисперсного армирования; деформативности путем подбора его зернового состава, вида и расхода вяжущего; релаксационной и деформативной способности за счет использования менее вязких битумов, снижения концентрации минерального порошка в асфальтовом вяжущем, применения полимерных добавок в битум, ПАВ. В группу этих методов входит применение полимерных добавок. Полимерные добавки вводятся преимущественно в битум [2–5]. Однако достичь заданной цели этим способом не представляется возможным, т. к. полимерный материал диспергируется в среде битума. Улучшаются физико-механические свойства, незначительно повышается трещиностойкость [6, 7]. К числу технологических методов относится метод увеличения деформативности минеральных материалов, обработанных неорганическими вяжущими, с помощью подбора оптимального гранулометрического состава, вида и расхода вяжущего [5, 8–12].

Наиболее интересным, целесообразным и перспективным в группе технологических методов, на наш взгляд, является метод дисперсного армирования органоминеральных смесей [13–16]. Улучшаются структурно-механические и деформативно-прочностные свойства дисперсно-армированных органоминеральных материалов [18–20]. Введение дисперсной арматуры повышает сдвигоустойчивость покрытий из органоминеральных материалов при высоких положительных летних температурах, снижая интенсивность возникновения волн, наплывов, а также колееобразования. При отрицательных температурах волокна дисперсной арматуры воспринимают растягивающие усилия, возникающие в конструктивных слоях дорожной одежды. Адсорбционно-сольватные оболочки битума на поверхности частиц минерального материала работают в менее напряженном режиме. Интенсивность трещинообразования при этом снижается. Метод дисперсного армирования имеет существенные преимущества перед методами армирования конструктивных слоев дорожных одежд с помощью сеток и прослоек.

Анализ существующего опыта применения сеток и прослоек для армирования конструктивных слоев дорожных одежд позволяет заключить, что эти методы являются эффективным средством борьбы с трещинообразованием покрытий. Однако направленное армирование позволяет устранять либо уменьшать трещинообразование только в нижней части слоя. Если рассмотреть чашу прогиба дорожной одежды, возникающую под воздействием колеса автомобиля (рис. 1), можно отметить, что эффективность армирования сетками обеспечивается только в нижней части слоя, т. к. растягивающие напряжения воспринимаются расположенной

там сеткой. По краям чаши прогиба в нижней части слоя покрытия (там, где расположена сетка) возникают сжимающие напряжения.

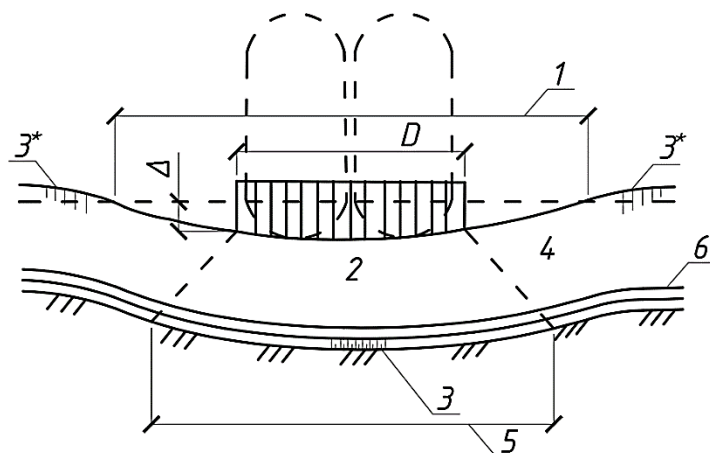


Рис. 1. Влияние различных методов армирования покрытия на разрушение нежестких дорожных одежд под воздействием подвижной нагрузки:

1 – чаша прогиба; 2 – зона сжатия; 3 – зона растяжения в нижней части дорожной одежды; 3* – зона растяжения в верхней части дорожной одежды; 4 – поверхность среза; 5 – площадь передачи давления на грунт; 6 – армирующая сетка; Δ – осадка дорожной одежды; D – диаметр площадки, равновеликой площади контакта шины с покрытием

В верхней же части слоя появляются растягивающие напряжения, которые ничем не компенсируются, т. к. армирующая сетка находится в нижней части слоя покрытия. Именно по этой причине трещинообразование на асфальтобетонном покрытии, армированном в нижней части сетками, начинается с поверхности покрытия. Затем трещина распространяется вглубь слоя покрытия и, достигая армирующей сетки, останавливается. Этот процесс, по данным многих исследований, протекает на протяжении более длительного периода, чем в дорожных одеждах, устроенных без использования армирующих сеток. Таким образом, армирование асфальтобетонных покрытий сетками не исключает трещинообразования на поверхности покрытия. Кроме того, этот метод не позволяет одновременно повысить трещиностойкость и улучшить весь комплекс свойств конструктивного слоя.

При дисперсном армировании образуется объемная армирующая структура из волокон дисперсной арматуры. Отрезки волокон армирующих структур распределяются по всему объему конструктивного слоя. Они находятся и в нижней, и в верхней части слоя, в том числе в зоне образования трещин 3*, в той зоне, в которой при направленном армировании растягивающие напряжения ничем не компенсируются, поскольку направленная арматура в этой части конструктивного слоя отсутствует. Таким образом, дисперсное армирование снижает интенсивность образования трещин и в нижней, и в верхней части конструктивных слоев дорожной одежды, что является существенным преимуществом этого метода армирования.

Существуют различные методы дисперсного армирования органоминеральных смесей. Общепринятым методом является введение в смесь отрезков волокон (дискретный метод дисперсного армирования) [1]. Разработаны другие оригинальные методы дисперсного армирования органоминеральных смесей, предусматривающие введение в армируемую смесь расплава либо раствора волокнообразующего полимера (жидкофазный метод дисперсного армирования) с последующим формированием армирующих волокон непосредственно в приготавливаемой смеси [17, 18]. Введение в органоминеральную смесь расплава волокнообразующего полимера предоставляет ряд технологических преимуществ. К ним можно отнести возможность использования для дисперсного армирования любых термопластичных полимеров, в том числе в виде различных отходов и побочных продуктов промышленности, не обладающих волокнистой структурой.

Очень важным фактором, влияющим на процессы структурообразования органоминеральных смесей, является адгезия вяжущего к компонентам смеси. При введении в асфальтобетонную смесь отрезков химических волокон не всегда обеспечивается необходимая адгезия нефтяного битума к поверхности дисперсной арматуры. Для повышения адгезии волокна дисперсной арматуры обрабатывают поверхностно-активными веществами (ПАВ). Это повышает стоимость материала и усложняет технологию приготовления смеси. При реализации жидкофазного метода дисперсного армирования волокнообразующий полимер вводится через фильеры в виде расплава или раствора непосредственно в смесительную установку. При этом формирование армирующих волокон и создание пространственной армирующей решетки происходит непосредственно в смесителе. Адгезия нефтяного битума к волокнам дисперсной арматуры, формирующимся из расплава или раствора волокнообразующего полимера, существенно выше, чем к уже сформированным волокнам (полимер в твердом состоянии). Для проверки этого предположения были проведены экспериментальные исследования величины адгезии битума к волокнообразующему полимеру, находящемуся в твердом состоянии, в состоянии расплава и раствора. Оценка адгезии производилась по величине краевого угла смачивания нефтяным битумом марки БНД 90/130 поверхности волокнообразующего полимера. Результаты исследования представлены на рис. 2.

В ходе экспериментальных работ были приготовлены образцы полимеров, используемых для производства волокон по технологиям «из расплава» и «из раствора». Образец (а) представлял собой изотактический полипропилен в твердом состоянии, а образец (б) – тот же полимер в состоянии расплава. Образцы (в) и (г) представляли собой поликарбонат соответственно чистый и наполненный. На поверхность каждого образца размещалась капля горячего битума марки БНД 90/130. На каждый образец направлялся луч мультимедийного проектора. Изображение капли битума на образце полимера проецировалось на белый экран, где контуры капли достраивались до полного круга, выявлялся его центр и определялся краевой угол смачивания.

На рис. 2 видно, что краевой угол смачивания нефтяным битумом волокнообразующего полимера в состоянии расплава и раствора существенно ниже, чем краевой угол смачивания волокнообразующего полимера, находящегося

в твердом состоянии. Следовательно, адгезия битума к твердому полимеру существенно ниже, чем к полимеру в состоянии расплава и раствора.

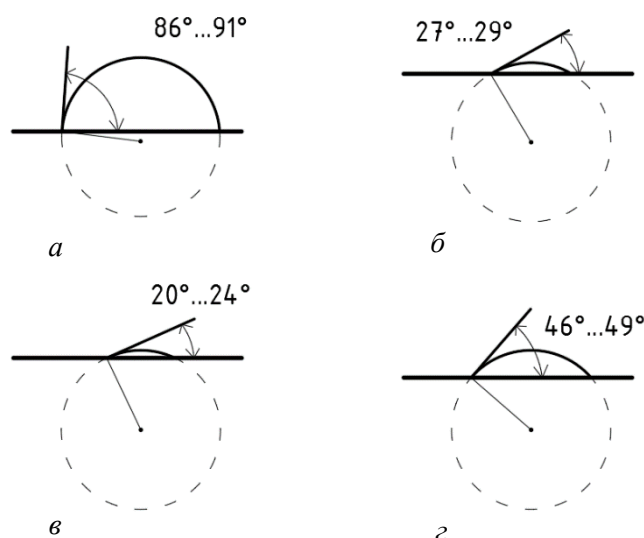


Рис. 2. Расчетные схемы для определения величины краевого угла смачивания нефтяным битумом поверхностей волокнообразующих полимеров:

а – полипропилен в твердом состоянии; *б* – полипропилен в состоянии расплава;
в – поликарбонат в растворенном состоянии; *г* – наполненный поликарбонат в растворенном состоянии

Таким образом, вышеприведенные исследования показали, что при направленном армировании конструктивных слоев с использованием сеток растягивающие напряжения компенсируются только в нижней части слоя, там, где расположена сетка. По краям чаши прогиба, в верхней зоне конструктивного слоя, растягивающие напряжения не компенсируются, поскольку армирующая сетка расположена в нижней части слоя. Дисперсное армирование химическими волокнами позволяет создать в конструктивном слое дорожной одежды пространственную армирующую решетку, пронизывающую весь объем слоя. При этом растягивающие напряжения, возникающие по краям чаши прогиба в верхней части конструктивного слоя, воспринимаются волокнами дисперсной арматуры, расположенной в этой зоне слоя, что снижает нагруженность адсорбционно-сольватных оболочек нефтяного битума и уменьшает вероятность образования трещин. Реализация жидкофазного метода дисперсного армирования органоминеральных смесей приводит к улучшению адгезии нефтяного битума к поверхности волокон дисперсной арматуры, что также снижает интенсивность трещинообразования.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Армирование асфальтобетонных покрытий при строительстве и реконструкции дорожных одежд // ОИ/ЦБНТИ Минавтодора РСФСР. Вып. 5. Автомобильные дороги. Москва, 1990. 44 с.

2. Кисина А.М., Стабников Н.В. Исследование свойств битумов, модифицированных полимерными добавками // Труды Союздорнии, 1970. Вып. 46. С. 181–186.
3. Маркина Г.Я., Гезенцев Л.Б. Исследование асфальтобетона с добавкой нефтеполимерной смолы // Применение полимерных материалов в дорожном строительстве : труды Союздорнии, 1977. Вып. 89. С. 95–104.
4. Методические рекомендации по применению асфальтобетонных смесей с полимерными отходами промышленности. Москва : Союздорнии, 1986. 26 с.
5. Рвачева Э.М., Плотникова Н.А., Гофман Л.М. Улучшение свойств полимеров // Применение полимерных материалов в дорожном строительстве : труды Союздорнии, 1977. Вып. 89. С. 88–95.
6. Гохман Л.М. Комплексные органические вяжущие на основе ПАВ и полимеров // Полимерные материалы в строительстве покрытий автомобильных дорог. Москва, 1981 С. 28–33.
7. Методические рекомендации по приготовлению и применению комплексных органических вяжущих продуктов переработки нефти и угля ПАВ полимеров и других высокодисперсных наполнителей. Москва : Союздорнии, 1987. 49 с.
8. Плотникова И.А. Оптимальное использование битумов разных марок в асфальтобетонных смесях // Автомобильные дороги. 1982. № 4. С. 4–6.
9. Фарберов Е.Я., Лаврухин В.П., Микрин В.И. Вяжущие из гудрона с добавками каменноугольных смол // Автомобильные дороги. 1983. № 1. С. 8–10.
10. Финашин В.Н. Дорожные основания из битумоминеральных смесей. Москва : Транспорт, 1984. 120 с.
11. Фрязинов В.В., Грудников И.В. Зависимость некоторых структурно-механических и товарных свойств битумов от их компонентного состава и качества масляного компонента : труды Союздорнии. 1970. Вып. 46. С. 40–70.
12. Хрипунов В.А. Структура и свойства полимербетона ФАМ с дисперсным армированием : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук. Саратов, 1990. 21 с.
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. Revement Tris mince Mediflex en couche de Voulement sur Absur troisieme 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. 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.
18. Лукашевич В.Н., Ефанов И.Н., Прокофьева Г.И., Вакс И.В. Исследования структурно-механических свойств дисперсно-армированных органоминеральных материалов // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2015. № 6. С. 177–185.
19. Алиахван А., Калгин Ю.И. Улучшение структурно-механических свойств теплового асфальтобетона методом полимерно-дисперсного армирования // Проектирование и строительство дорог, метрополитенов, аэродромов, мостов и транспортных тоннелей. 2021. Вып. 61. С. 53–61.
20. Пиеничных О.А. Деформационно-прочностные характеристики дисперсно-армированных асфальтобетонов // Вестник Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. 2020. Вып. 143. С. 41–44.
21. Патент № 2135426 Российская Федерация, МКИ С 04 В 26/26//С 04 В 111:20, Е01С 19/10. Способ армирования асфальтобетонной смеси и устройство его осуществления / Лукашевич В.Н. // Открытия. Изобретения. 1999. № 24.

22. Патент № 2102353 Российская Федерация, МКИ С 04 В 26/26//С 04 В 111:20. Способ армирования асфальтобетонной смеси / Лукашевич В.Н. [и др.] // Открытия. Изобретения. 1998. № 2.

REFERENCES

1. Armirovanie asfal'tobetonnykh pokrytij pri stroitel'stve i rekonstrukcii dorozhnykh odezhd [Reinforcement of asphalt concrete pavements during the construction and reconstruction of road pavements]. Moscow, 1990. 44 p. (rus)
2. Kisina A.M., Stabnikov N.V. Issledovanie svojstv bitumov, modificirovannykh polimernymi do-bavkami [The properties of bitumen modified by polymer additives]. In: Trudy Soyuzdornii, 1970. No. 46. Pp. 181–186. (rus)
3. Markina G.Ya., Gezenecvej L.B. Issledovanie asfal'tobetona s dobavkoj neftepoli-mernoj smoly [Asphalt concrete with the addition of petroleum resin]. In: Primenenie polimernykh materialov v dorozhnom stroitel'stve. Trudy Soyuzdornii. 1977. No. 89. Pp. 95–104. (rus)
4. Metodicheskie rekomendacii po primeneniyu asfal'tobetonnykh smesej s polimernymi othodami promyshlennosti [Guidelines for the use of asphalt concrete mixtures with polymer industrial waste]. Moscow: Soyuzdornii, 1986. 26 p. (rus)
5. Rvacheva E.M., Plotnikova N.A., Gofman L.M. Uluchshenie svojstv polimerov [Improvement of polymer properties]. In: Primenenie polimernykh materialov v dorozhnom stroitel'stve. Trudy Soyuzdornii. 1977. No. 89. Pp. 88–95. (rus)
6. Gohman L.M. Kompleksnye organicheskie vyazhushchie na osnove PAV i polimerov [Complex organic binders based on surfactants and polymers]. In: Polimernye materialy v stroitel'stve pokrytij avtomobil'nykh dorog. Moscow, 1981 Pp. 28–33. (rus)
7. Metodicheskie rekomendacii po prigotovleniyu i primeneniyu kompleksnykh organi-cheskikh vyazhushchih produktov pererabotki nefti i uglya PAV polimerov i drugih vyso-kodispersnykh napolnitelej [Guidelines for preparation and use of complex organic binders of oil and coal processing, polymer surfactants and other highly dispersed fillers]. Moscow: Soyuzdornii, 1987. 49 p. (rus)
8. Plotnikova I.A. Optimal'noe ispol'zovanie bitumov raznykh marok v asfal'tobetonnykh smesyah [Optimal use of different brands of bitumen in asphalt mixes]. Avtomobil'nye dorogi. 1982. No. 4. Pp. 4–6. (rus)
9. Farberov E.Ya., Lavruhin V.P., Mikrin V.I. Vyazhushchie iz gudrona s dobavkami kamen-nou-gol'nykh smol [Tar binders with coal additives]. Avtomobil'nye dorogi. 1983. No. 1. Pp. 8–10. (rus)
10. Finashin V.N. Dorozhnye osnovaniya iz bitumomineral'nykh smesej [Road bases made of bitu-men-mineral mixtures]. Moscow: Transport, 1984. 120 p. (rus)
11. Fryazinov V.V., Grudnikov I.V. Zavisimost' nekotorykh strukturno-mekhanicheskikh i tovarnykh svojstv bitumov ot ih komponentnogo sostava i kachestva maslyanogo kompo-nenta [Dependence of structural, mechanical and commercial properties of bitumen on composition and quality of oil component]. Trudy Soyuzdornii. 1970. No. 46. Pp. 40–70. (rus)
12. Hripunov V.A. Struktura i svojstva polimerbetona FAM s dispersnym armirovaniem. Avtoreferat diss. ... kand. tekhn. nauk. [Structure and properties of FAM polymer concrete with dispersed reinforcement. PhD Abstract]. Saratov, 1990. 21 p. (rus)
13. Merzlikin A.E., Gamelyak I.P. Ispytaniya konstrukcij dorozhnykh odezhd dlya ocenki effektivnosti primeneniya dispersno armirovannogo asfal'tobetona [Pavement testing to assess the effectiveness of dispersion reinforced asphalt concrete]. In: Konstruirovanie, raschet i ispytanie dorozhnykh odezhd. Soyuzdornii. 1990. Pp. 17–25. (rus)
14. Smith R.D. Laboratory testing of fabric interlayer for asphalt concrete paving: interim report. Transportation Research Record. 1983. No. 916. Pp. 6–18.
15. Tessoneau H. Revement tris mince mediflex en couche de voulement sur absur troisiene voie macon nord. Revue Generale des Routes et des Aerodromes. 1988. V. 62. No. 650. Pp.77–78.
16. Pshenichnykh O.A., Skorik D.S. Opyt primeneniya dispersno-armirovannykh asfal'tobetonov v dorozhnom stroitel'stve [Application of dispersion-reinforced asphalt concrete in road construction]. Vestnik Donbasskoi natsional'noi akademii stroitel'stva i arkhitektury. No. 141, Pp. 121–127. (rus)
17. Lukashevich V.N., Efanov I.N., Prokof'eva G.I., Vaks I.V. Issledovaniya strukturno-mekhanicheskikh svojstv dispersno-armirovannykh organomineral'nykh materialov [Structure and me-

- chanical properties of fiber-reinforced organo-mineral materials]. *Vestnik of Tomsk State University of Architecture and Building*. 2015. No. 6. Pp. 177–185. (rus)
18. *Alshakhvan A., Kalgin Yu.I.* Uluchshenie strukturno-mekhanicheskikh svoistv teplogo asfal'tobetona metodom polimerno-dispersnogo 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)
 19. *Pshenichnykh O.A.* Deformatsionno-prochnostnye kharakteristiki dispersno-armirovannykh asfal'tobetonov [Deformation and strength properties of dispersion-reinforced asphalt concrete]. *Vestnik Donbasskoi natsional'noi akademii stroitel'stva i arkhitektury*. 2020. No. 143. Pp. 41–44. (rus)
 20. *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.
 21. *Lukashevich V.N.* Sposob armirovaniya asfal'tobetonnoj smesi i ustrojstvo ego osushchestvleniya [Reinforcement method of asphalt concrete mixture and a device for its implementation]. Patent Russ. Fed. N 2135426, 1999. (rus)
 22. *Lukashevich V.N., et al.* Sposob armirovaniya asfal'tobetonnoj smesi [Reinforcement method of asphalt concrete mixture]. Patent Russ. Fed. N 2102353, 1998. (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

Лукашевич Ольга Дмитриевна, докт. техн. наук, профессор, Томский государственный архитектурно-строительный университет, 634003, г. Томск, пл. Соляная, 2, odluk@yandex.ru

Мокшин Роман Ильич, аспирант, Томский государственный архитектурно-строительный университет, 634003, г. Томск, пл. Соляная, 2, 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

Olga D. Lukashevich, DSc, Professor, Tomsk State University of Architecture and Building, 2, Solyanaya Sq., 634003, Tomsk, Russia, odluk@yandex.ru

Roman I. Mokshin, Research Assistant, Tomsk State University of Architecture and Building, 2, Solyanaya Sq., 634003, Tomsk, Russia, mokshinroman@mail.ru