

Научно-теоретический журнал
ВЕСТНИК

БГТУ им. В.Г. Шухова

ISSN 2071-7318

11

2021

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
БЕЛГОРОДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
им. В.Г. ШУХОВА

**НАУЧНО-ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ
ВЕСТНИК
БГТУ им. В.Г. ШУХОВА**

№ 11, 2021 год

**SCIENTIFIC AND THEORETICAL JOURNAL
BULLETIN
of BSTU named after V.G. Shukhov**

Vol. 11. 2021

Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова

научно-теоретический журнал

К рассмотрению и публикации в НТЖ «Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова» принимаются научные статьи и обзоры по фундаментальным и прикладным вопросам в области строительства, архитектуры, производства строительных материалов и композитов специального назначения, химических технологий, машиностроения и машиноведения, освещающие актуальные проблемы отраслей знания, имеющие теоретическую или практическую значимость, а также направленные на внедрение результатов научных исследований в образовательную деятельность.

Журнал включен в утвержденный ВАК Минобрнауки России Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук, по научным специальностям и соответствующим им отраслям науки:

- 05.23.01** – Строительные конструкции, здания и сооружения (технические науки)
- 05.23.03** – Теплоснабжение, вентиляция, кондиционирование воздуха, газоснабжение и освещение (технические науки)
- 05.23.05** – Строительные материалы и изделия (технические науки)
- 05.23.20** – Теория и история архитектуры, реставрация и реконструкция историко-архитектурного наследия(архитектура)
- 05.23.21** – Архитектура зданий и сооружений. Творческие концепции архитектурной деятельности (архитектура)
- 05.23.22** – Градостроительство, планировка сельских населенных пунктов (технические науки)
- 05.23.22** – Градостроительство, планировка сельских населенных пунктов (архитектура)
- 05.17.06** – Технология и переработка полимеров и композитов (технические науки)
- 05.17.11** – Технология силикатных и тугоплавких неметаллических материалов (технические науки)
- 05.02.05** – Роботы, мехатроника и робототехнические системы (технические науки)
- 05.02.07** – Технология и оборудование механической и физико-технической обработки (технические науки)
- 05.02.08** – Технология машиностроения (технические науки)
- 05.02.13** – Машины, агрегаты и процессы (по отраслям) (технические науки)

Все поступающие материалы проходят научное рецензирование (двойное слепое). Рецензирование статей осуществляется членами редакционной коллегии, ведущими учеными БГТУ им. В.Г. Шухова, а также приглашенными рецензентами – признанными специалистами в соответствующей отрасли знания. Копии рецензий или мотивированный отказ в публикации предоставляются авторам и в Минобрнауки России (по запросу). Рецензии хранятся в редакции в течение 5 лет.

Редакционная политика журнала базируется на основных положениях действующего российского законодательства в отношении авторского права, плагиата и клеветы, и этических принципах, поддерживаемых международным сообществом ведущих издателей научной периодики и изложенных в рекомендациях Комитета по этике научных публикаций (COPE).

Наименование органа, зарегистрировавшего издание:	Журнал зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций Регистрационный номер и дата принятия решения о регистрации: ПИ № ФС77-80909 от 21 апреля 2021 г.
Учредитель/Издатель:	Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова» (БГТУ им. В.Г. Шухова) Россия, 308012, Белгородская обл., г. Белгород, ул. Костюкова, д. 46
Адрес редакции:	Россия, 308012, Белгородская обл., г. Белгород, ул. Костюкова, д. 46, БГТУ им. В.Г. Шухова, оф. 724/4 Гк
Адрес типографии:	Россия, 308012, Белгородская обл., г. Белгород, ул. Костюкова, д. 46, Издательский центр БГТУ им. В.Г. Шухова
Тел:	+7 (4722) 30-99-77
E-mail:	VESTNIK@intbel.ru
Официальный сайт журнала:	https://bulletinbstu.editorum.ru
Подписка и распространение	Журнал распространяется бесплатно в открытом доступе и по подписке. Подписной индекс в Объединенном каталоге «Пресса России» – 44446. (+12) Online подписка: http://www.akc.ru/itm/2558104627/ Цена свободная.
Подписан в печать	19.11.2021
Выход в свет	29.11.2021

Формат 60×84/8. Усл. печ. л. 14,07. Уч.-изд. л. 15,13. Тираж 40 экз. Заказ № 114

Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov

scientific and theoretical journal

Scientific articles and reviews on fundamental and applied questions in the field of construction, architecture, productions of construction materials and composites of a special purpose, chemical technologies, machine building and engineering science covering the current problems of branches of knowledge having the theoretical or practical importance and also directed to introduction of research results in educational activity are accepted to be considered and published in the journal.

The journal is included in the list for peer-reviewed scientific publications approved by the Higher Attestation Commission under the Ministry of Science and Education of the Russian Federation, which should publish the main scientific results of dissertations for the degree of candidate of Sciences, for the degree of Doctor of Sciences, for scientific specialties and relevant branches of science:

- 05.23.01** – Building structures, constructions and facilities (technical sciences)
- 05.23.03** – Heat supply, ventilation, air conditioning, gas supply and lighting (technical sciences)
- 05.23.05** – Building materials and products (technical sciences)
- 05.23.20** – Theory and history of architecture, restoration and reconstruction of historical and architectural heritage (architecture)
- 05.23.21** – Architecture of buildings and structures. Creative concepts of architectural activity (architecture)
- 05.23.22** – Urban planning, rural settlement planning (technical sciences)
- 05.23.22** – Urban planning, rural settlement planning (architecture)
- 05.17.06** – Technology and processing of polymers and composites (technical sciences)
- 05.17.11** – Technology of silicate and refractory nonmetallic materials (technical sciences)
- 05.02.05** – Robots, mechatronics and robotic systems (technical sciences)
- 05.02.07** – Technology and equipment of mechanical and physical-technical processing (technical sciences)
- 05.02.08** – Engineering technology (technical sciences)
- 05.02.13** – Machines, units and processes (branch-wise) (technical sciences)

All arriving materials undergo scientific reviewing (double blind). Reviewing of articles is carried out by the members of editorial board, the leading scientists of BSTU named after V.G. Shukhov and by invited reviewers – recognized experts in the relevant branch of knowledge. Copies of reviews or motivated refusal in the publication are provided to the authors and to the Ministry of Science and Education of the Russian Federation (on request). Reviews are stored in the editorial office for 5 years.

The editorial policy of the journal is based on the general provisions of the existing Russian legislation concerning copyright, plagiarism and slander, and the ethical principles maintained by the international community of the leading publishers of the scientific periodical press and stated in the recommendations of the Committee on Publication Ethics (COPE).

Founder / Publisher:	Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov” (BSTU named after V.G. Shukhov) 46 Kostyukova street, Belgorod, 308012, Russian Federation
Editorial office address:	46 Kostyukova street, Belgorod, 308012, Russian Federation BSTU named after V.G. Shukhov, of. 724/4
Printing house address:	46 Kostyukova street, Belgorod, 308012, Russian Federation Publishing Center, BSTU named after V.G. Shukhov
Tel:	+7 (4722) 30-99-77
E-mail:	VESTNIK@intbel.ru
Official website of the journal	https://bulletinbstu.editorum.ru
Подписка и распространение	Subscription index in the united catalogue of "Press of Russia" – 44446. Online subscription: http://www.akc.ru/itm/2558104627/
Signed for printing:	19.11.2021

Главный редактор

Евтушенко Евгений Иванович, д-р техн. наук, проф., первый проректор, заведующий кафедрой технологии стекла и керамики Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова (РФ, г. Белгород).

Заместитель главного редактора

Уваров Валерий Анатольевич, д-р техн. наук, проф., директор инженерно-строительного института, заведующий кафедрой теплогазоснабжения и вентиляции Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова (РФ, г. Белгород).

Члены редакционной коллегии

Айзенштадт Аркадий Михайлович, д-р хим. наук, проф., заведующий кафедрой композиционных материалов и строительной экологии Высшей инженерной школы, Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова (РФ, г. Архангельск).
Ахмедова Елена Александровна, член-корр. РААСН, д-р арх., проф., заведующий кафедрой градостроительства Самарского государственного технического университета, Архитектурно-строительной академии (РФ, г. Самара).

Благоевич Деян, PhD, проф. Высшей технической школы по профессиональному образованию в Нише (Республика Сербия, г. Ниш).
Богданов Василий Степанович, д-р техн. наук, проф., заведующий кафедрой механического оборудования Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова (РФ, г. Белгород).

Борисов Иван Николаевич, д-р техн. наук, проф., заведующий кафедрой технологии цемента и композиционных материалов Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова (РФ, г. Белгород).

Братан Сергей Михайлович, д-р техн. наук, проф., заведующий кафедрой технологии машиностроения Севастопольского государственного университета (РФ, г. Севастополь).

Везенцев Александр Иванович, д-р техн. наук, проф., заведующий кафедрой общей химии Белгородского государственного национального исследовательского университета (РФ, г. Белгород).

Глаголев Сергей Николаевич, д-р экон. наук, ректор Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова (РФ, г. Белгород).

Грабовый Петр Григорьевич, д-р экон. наук, проф., заведующий кафедрой организации строительства и управления недвижимостью, НИУ Московского государственного строительного университета (РФ, г. Москва).

Григачин Анатолий Митрофанович, д-р техн. наук, проф., Президент Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова (РФ, г. Белгород).

Давидюк Алексей Николаевич, д-р техн. наук, директор НИИЖБ им. А.А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство» (РФ, г. Москва).

Дуюн Татьяна Александровна, д-р техн. наук, проф., заведующий кафедрой технологии машиностроения Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова (РФ, г. Белгород).

Ерофеев Владимир Трофимович, академик РААСН, д-р техн. наук, проф., декан архитектурно-строительного факультета, заведующий кафедрой строительных материалов и технологий, директор НИИ «Материаловедение» Национального исследовательского Мордовского государственного университета имени Н.П. Огарёва (РФ, Республика Мордовия, г. Саранск).

Зайцев Олег Николаевич, д-р техн. наук, проф., заведующий кафедрой теплогазоснабжения и вентиляции Академии строительства и архитектуры – структурное подразделение Крымского федерального университета имени В.И. Вернадского (РФ, г. Симферополь).

Ильницкая Светлана Валерьевна, д-р арх., проф., заведующий кафедрой архитектуры Государственного университета по землеустройству (РФ, г. Москва).

Кожухова Марина Ивановна, PhD, научный сотрудник кафедры гражданского строительства и охраны окружающей среды, Школа инжиниринга и прикладных наук, Университет Висконсин-Милуоки, штат Висконсин.

Козлов Александр Михайлович, д-р техн. наук, проф., заведующий кафедрой технологии машиностроения Липецкого государственного технического университета (РФ, г. Липецк).

Леонидов Сергей Николаевич, иностранный член академик РААСН, д-р техн. наук, проф., заведующий кафедрой технологии строительного производства Белорусского национального технического университета (Республика Беларусь, г. Минск).

Лесовик Валерий Станиславович, чл.-корр. РААСН, д-р техн. наук, проф., заведующий кафедрой строительного материаловедения изделий и конструкций Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова (РФ, г. Белгород).

Логачев Константин Иванович, д-р техн. наук, проф. кафедры теплогазоснабжения и вентиляции Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова (РФ, г. Белгород).

Мещерин Виктор Сергеевич, PhD, проф., директор института строительных материалов и заведующий кафедрой строительных материалов Дрезденского Технического Университета (Германия, г. Дрезден).

Меркулов Сергей Иванович, чл.-корр. РААСН, д-р техн. наук, проф., заведующий кафедрой промышленного и гражданского строительства Курского государственного университета (РФ, г. Курск).

Павленко Вячеслав Иванович, д-р техн. наук, проф., директор института химических технологий, заведующий кафедрой теоретической и прикладной химии Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова (РФ, г. Белгород).

Павлович Ненад, PhD, проректор по научной работе и издательской деятельности, проф. Машиностроительного факультета Государственного Нишского университета (Республика Сербия, г. Ниш).

Перькова Маргарита Викторовна, д-р арх., проф., и.о. директора Высшей школы архитектуры и дизайна, Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого (РФ, г. Санкт-Петербург).

Пивинский Юрий Ефимович, д-р техн. наук, проф., научный руководитель ООО «Научно-внедренческая фирма «КЕРАМБЕТ-ОГНЕУПОР» (РФ, г. Санкт-Петербург).

Потапов Евгений Эдуардович, д-р хим. наук, проф. МИРЭА – Российского технологического университета (РФ, г. Москва).

Рыбак Лариса Александровна, д-р техн. наук, проф. кафедры технологии машиностроения Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова (РФ, г. Белгород).

Савин Леонид Алексеевич, д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой мехатроники, механики и робототехники Орловского государственного университета имени И.С. Тургенева (РФ, г. Орел).

Семенов Сергей Владимирович, д-р арх., проф., заведующий кафедрой архитектурного и градостроительного наследия Санкт-Петербургского государственного архитектурно-строительного университета (РФ, г. Санкт-Петербург).

Сиваченко Леонид Александрович, д-р техн. наук, проф., кафедры транспортных и технологических машин Белорусского-Российского университета (Республика Беларусь, г. Могилев).

Соболев Константин Геннадьевич, PhD, проф. Университета Висконсин-Милуоки (штат Висконсин, Милуоки, США).

Смоляго Геннадий Алексеевич, д-р техн. наук, проф. кафедры строительства и городского хозяйства Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова (РФ, г. Белгород).

Строкова Валерия Валерьевна, проф. РАН, д-р техн. наук, проф., заведующий кафедрой материаловедения и технологии материалов Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова (РФ, г. Белгород).

Фишер Ханс-Бертрам, Dr.-Ing., Ваймар (Германия, г. Веймар).

Ханин Сергей Иванович, д-р техн. наук, проф. кафедры механического оборудования Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова (РФ, г. Белгород).

Шоповалов Николай Афанасьевич, д-р техн. наук, проф. Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова (РФ, г. Белгород).

Шубенков Михаил Валерьевич, академик РААСН, д-р арх., проф., заведующий кафедрой градостроительства, проректор по образованию в области градостроительства и урбанистики Московского архитектурного института (государственная академия) (РФ, г. Москва).

Юрьев Александр Гаврилович, д-р техн. наук, проф., кафедры теоретической механики и сопротивления материалов Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова (РФ, г. Белгород).

Яцун Сергей Федорович, д-р техн. наук, проф., заведующий кафедрой механики, мехатроники и робототехники Юго-Западного государственного университета (РФ, г. Курск).

CHIEF EDITOR

Evgeniy I. Evtushenko, Doctor of Technical Sciences, Professor; First Vice-Rector, Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov (Russian Federation, Belgorod).

DEPUTY OF CHIEF EDITOR

Valery A. Uvarov, Doctor of Technical Sciences, Professor, Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov (Russian Federation, Belgorod).

MEMBER OF EDITORIAL BOARD

Arkadiy M. Ayzenshtadt, Doctor of Chemical Sciences, Professor, Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov (Russian Federation, Arkhangelsk).

Elena A. Akhmedova, Corresponding member of the Russian Academy of Architecture and Construction Sciences, Doctor of Architecture, Professor, Samara State Technical University, Academy of Construction and Architecture (Russian Federation, Samara).

Deyan Blagoevich, PhD, Professor, Higher Technical School of Professional Education in Nish (Republic of Serbia, Nish).

Aleksandr I. Vezentsev, Doctor of Technical Sciences, Professor, Belgorod National Research University (Russian Federation, Belgorod).

Vasiliy S. Bogdanov, Doctor of Technical Sciences, Professor, Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov (Russian Federation, Belgorod).

Ivan N. Borisov, Doctor of Technical Sciences, Professor, Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov (Russian Federation, Belgorod).

Sergey M. Bratan, Doctor of Technical Sciences, Professor, Sevastopol State University (Russian Federation, Sevastopol).

Sergey N. Glagolev, Doctor of Economic Sciences, Professor, Rector, Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov (Russian Federation, Belgorod).

Petr G. Graboviy, Doctor of Economic Sciences, Professor, Moscow State University of Civil Engineering (National research University) (Russian Federation, Moscow).

Anatoliy M. Gridchin, Doctor of Technical Sciences, Professor, President, Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov (Russian Federation, Belgorod).

Aleksey N. Davidyuk, Doctor of Technical Science, Director NII ZHB named after A.A. Gvozdeva AO «NIC «Stroitel'stvo» (Russian Federation, Moscow).

Tatyana A. Duyun, Doctor of Technical Sciences, Professor, Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov (Russian Federation, Belgorod).

Vladimir T. Erofeev, Academician of Russian Academy of Architecture and Construction Sciences, Doctor of Technical Sciences, Professor, Director of the Institute "Materials Science", National Research Mordovian State University named after N.P. Ogarev (Russian Federation, Republic of Mordovia, Saransk).

Oleg N. Zaytsev, Doctor of Technical Sciences, Professor, V.I. Vernadsky Crimean Federal University (Russian Federation, Simferopol).

Svetlana V. Il'vitskaya, Doctor of Architecture, Professor, State University of Land Use Planning (Russian Federation, Moscow).

Marina I. Kozhukhova, PhD, Research Scientist. Department of Civil Engineering and Environmental Protection, College of Engineering and Applied Science, University of Wisconsin-Milwaukee (USA).

Aleksandr M. Kozlov, Doctor of Technical Sciences, Professor, Lipetsk State Technical University (Russian Federation, Lipetsk).

Valery S. Lesovik, Corresponding member of the Russian Academy of Architecture and Construction Sciences, Doctor of Technical Sciences, Professor, Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov (Russian Federation, Belgorod).

Sergey N. Leonovich, Foreign member of the Russian Academy of Architecture and Construction Sciences, Doctor of Technical Sciences, Professor, Belarusian National Technical University (Republic of Belarus, Minsk).

Konstantin I. Logachev, Doctor of Technical Sciences, Professor, Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov (Russian Federation, Belgorod).

Victor S. Meshcherin, Doctor of Technical Sciences, Professor, Technical University of Dresden (TU Dresden), Director of the Institute of Building Materials and head of the department of building materials (Germany, Dresden).

Sergei I. Merkulov, Corresponding member of the Russian Academy of Architecture and Construction Sciences, Doctor of Technical Sciences, Professor, Kursk State University (Russian Federation, Kursk).

Vyacheslav I. Pavlenko, Doctor of Technical Sciences, Professor, Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov (Russian Federation, Belgorod).

Margarita V. Per'kova, Doctor of Architecture, Professor, Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University (Russian Federation, Belgorod).

Nenad Pavlovich, PhD, Vice-rector for Scientific Work and Publishing Activities, Professor, Mechanical Engineering Faculty State University of Nish (Republic of Serbia, Nish).

Yuriy E. Pivinski, Doctor of Technical Sciences, Professor, Director of the "Research and development company" KERAMBET-OGNEUPOR" (Russian Federation, Saint Petersburg).

Evgeniy E. Potapov, Doctor of Chemical Sciences, Professor, MIREA – Russian Technological University (Russian Federation, Moscow).

Larisa A. Rybak, Doctor of Technical Sciences, Professor, Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov (Russian Federation, Belgorod).

Leonid A. Savin, Doctor of Technical Sciences, Professor, Orel State University named after I.S. Turgenev (Russian Federation, Orel).

Sergey V. Sementsov, Doctor of Architecture, Professor, Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering (Russian Federation, Saint Petersburg).

Leonid A. Sivachenko, Doctor of Technical Sciences, Professor, Belarusian-Russian University (Republic of Belarus, Mogilev).

Konstantin G. Sobolev, PhD, Professor, University of Wisconsin-Milwaukee (USA).

Gennadiy A. Smolyago, Doctor of Technical Sciences, Professor, Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov (Russian Federation, Belgorod).

Valeriya V. Stroikova, Professor of the Russian Academy of Sciences, Doctor of Technical Sciences, Professor, Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov (Russian Federation, Belgorod).

Hans Bertram Fischer, Dr.-Ing., Deputy Head of the Construction Materials Department, Bauhaus-University of Weimar (Bauhaus-Universität Weimar) (Germany, Weimar).

Sergey I. Khanin, Doctor of Technical Sciences, Professor, Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov (Russian Federation, Belgorod).

Nikolai A. Shapovalov, Doctor of Technical Sciences, Professor, Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov (Russian Federation, Belgorod).

Mikhail V. Spubenkov, Academician of the Russian Academy of Architecture and Construction, Doctor of Architecture, Professor, Moscow Institute of Architecture (State Academy) (Russian Federation, Moscow).

Aleksandr G. Yur'yev, Doctor of Technical Sciences, Professor, Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov (Russian Federation, Belgorod).

Sergey F. Yatsun, Doctor of Technical Sciences, Professor, Southwest State University (Russian Federation, Kursk).

СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

Строкова В.В., Хмара Н.О., Нелюбова В.В., Шаповалов Н.А. МАЛЫЕ АРХИТЕКТУРНЫЕ ФОРМЫ: СОСТАВ И СВОЙСТВА БЕТОНОВ ДЛЯ ИХ ПОЛУЧЕНИЯ	8
Обухов А.Г., Высоцкая М.А. ЭФФЕКТИВНЫЕ БИТУМНЫЕ ВЯЖУЩИЕ ДЛЯ АСФАЛЬТОБЕТОННЫХ ПОКРЫТИЙ	32
Никулина Ю.А. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТРЕЩИНОСТОЙКОСТИ ПРЕДВАРИТЕЛЬНО НАПРЯЖЕННЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ БАЛОК ТРАПЕЦИЕВИДНОГО ПОПЕРЕЧНОГО СЕЧЕНИЯ	41
Суслов Д.Ю. ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ БИОМЕТАНА В СИСТЕМАХ ГАЗОСНАБЖЕНИЯ	49
Ризаева М.И., Ладик Е.И., Перькова М.В., Бик О.В. ВЫЯВЛЕНИЕ ГРАДОСТРОИТЕЛЬНЫХ КОНФЛИКТОВ В СТРУКТУРЕ ИСТОРИЧЕСКОЙ ЗАСТРОЙКИ МАЛЫХ ГОРОДОВ (НА ПРИМЕРЕ Г. ВАЛУЙКИ БЕЛГОРОДСКОЙ ОБЛАСТИ)	58
Борисов С.В., Рагулина А.В. К ВОПРОСУ ОБ ИССЛЕДОВАНИИ ПОДЗЕМНОЙ АРХИТЕКТУРЫ ХРИСТИАНСТВА	69
Золотарева М.В. РЕФОРМЫ УПРАВЛЕНИЯ СТРОИТЕЛЬСТВОМ В XIX ВЕКА В РОССИИ	78
Савельева Н.В. ИСТОРИКО-АРХИТЕКТУРНЫЙ АНАЛИЗ КОМПЛЕКСА ДОРЕВОЛЮЦИОННОЙ ПРОМЫШЛЕННОЙ УСАДЬБЫ РЯБЧИКОВЫХ В Г. ИВАНОВО	89
Трюхан М.Ю., Барабаш М.В. СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ ФУНКЦИОНАЛЬНО-ПЛАНИРОВОЧНОГО ФОРМИРОВАНИЯ ЛЕДОВЫХ СООРУЖЕНИЙ	97

ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ

Строкин К.Б., Новиков Д.Г., Коновалова В.С., Касьяненко Н.С. ИЗМЕНЕНИЕ СТРУКТУРНО-ФАЗОВОГО СОСТАВА ЦЕМЕНТНОГО БЕТОНА ПРИ МИКРОБИОЛОГИЧЕСКОЙ КОРРОЗИИ	106
---	-----

МАШИНОСТРОЕНИЕ И МАШИНОВЕДЕНИЕ

Исабеков Ж.Н., Мороз К.А., Керимжанова М.Ф. ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ ИСПОЛНИТЕЛЬНОГО МЕХАНИЗМА ЭКЗОСКЕЛЕТА	114
--	-----

CONSTRUCTION AND ARCHITECTURE

Strokova V.V., Khmara N.O., Nelyubova V.V., Shapovalov N.A. SMALL ARCHITECTURAL FORMS: COMPOSITION AND PROPERTIES OF CONCRETE FOR THEIR PRODUCTION	8
Obukhov A.G., Vysotskaya M.A. EFFICIENCY OF REINFORCEMENT OF TECHNOLOGICAL SOIL BY MINERAL MODIFIERS	32
Nikulina Yu.A. DETERMINATION OF CRACK RESISTANCE OF PRESTRESSED REINFORCED CONCRETE BEAMS OF TRAPEZOIDAL CROSS-SECTION	41
Suslov D.Y. THEORETICAL SUBSTANTIATION OF THE USE OF BIOMETHANE IN GAS SUPPLY SYSTEMS	49
Rizaeva M.I., Ladik E.I., Perkova M.V., Bik O.V. IDENTIFICATION OF URBAN CONFLICTS IN THE STRUCTURE OF HISTORICAL BUILDING OF SMALL TOWNS (ON THE EXAMPLE OF VALUYKI, BELGOROD REGION)	58
Borisov S.V., Ragulina A.V. TO THE QUESTION OF STUDING UNDERGROUND ARCHITECTURE OF CHRISTIANITY	69
Zolotareva M.V. CONSTRUCTION MANAGEMENT REFORMS IN THE XIX CENTURY IN RUSSIA	78
Savelyeva N.V. HISTORICAL AND ARCHITECTURAL ANALYSIS OF THE PRE-REVOLUTIONARY INDUSTRIAL COMPLEX OF RYABCHIKOV'S ESTATE IN IVANOVO	89
Tryukhan M.Yu., Barabash M.V. MODERN TRENDS OF FUNCTIONAL-PLANNING FORMATION OF ICE FACILITIES	97

CHEMICAL TECHNOLOGY

Strokin K.B., Novikov D.G., Konovalova V.S., Kasiyanenko N.S. CHANGES IN THE STRUCTURAL AND PHASE COMPOSITION OF CEMENT CONCRETE DURING MICROBIOLOGICAL CORROSION	106
--	-----

MACHINE BUILDING AND ENGINEERING SCIENCE

Issabekov Zh.N., Moroz K.A., Kerimzhanova M.F. STUDY OF THE DYNAMICS OF THE EXOSKELETON ACTUATING UNIT	114
--	-----

СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

DOI: 10.34031/2071-7318-2021-6-11-8-31

Строкова В.В., *Хмара Н.О., Нелюбова В.В., Шаповалов Н.А.*Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова***E-mail: nataly26071992@mail.ru*

МАЛЫЕ АРХИТЕКТУРНЫЕ ФОРМЫ: СОСТАВ И СВОЙСТВА БЕТОНОВ ДЛЯ ИХ ПОЛУЧЕНИЯ

Аннотация. Работа является результатом многостороннего анализа научных публикаций, затрагивающих изучение свойств и характеристик композиционных вяжущих и бетонов на их основе, используемых в проектировании и производстве малых архитектурных форм, так же, дана общая оценка перспективы применения композиционных вяжущих в такого типа сооружениях и конструкциях.

Все публикации и опытные материалы по данной тематике были сведены и обобщены по следующим параметрам: библиометрические показатели статей за период с 2000 по 2020 гг., виды бетонов, применяемых для малых архитектурных форм, виды используемых вяжущих, заполнителей, наполнителей и добавок, физико-механические свойства и контролируемые параметры бетона.

Показано, что в большинстве рассматриваемых работ использовали мелкозернистый бетон на основе белого, общестроительного и цветного цемента. При этом для повышения эффективности готовых изделий в части формирования развитой формы и обеспечения их атмосферостойкости, используются высокомарочные цементы, снижается водоцементное отношение, в том числе за счет использования добавок различного назначения.

Обосновано, что подбор состава бетона для малых архитектурных форм должен осуществляться исходя из заданных требований для данного типа конструкций с учетом получения высокоподвижных смесей для обеспечения заданной удобоукладываемости с целью формирования изделий различных конфигураций и типоразмеров при сохранении архитектурной выразительности и соответствия современному ландшафту городского пространства.

Ключевые слова: малые архитектурные формы, композиционные вяжущие, мелкозернистый бетон, архитектурный бетон, декоративный бетон, белый цемент, цветной цемент.

Введение. Бетон, в современном строительстве, это комплексный, технологически сложный композиционный материал, который, несмотря на это, уже очень долгое время является одним из самых популярных. Так, бетон является самым потребляемым материалом в мире после воды [1, 7]. Его ежегодное потребление составляет около 30 млрд. тонн, и за последние 65 лет его производство увеличилось в 10 раз (по сравнению со сталью и деревом) [2, 3].

Области применения бетона обширны и разнообразны, начиная от сложных несущих конструкций, которые должны соответствовать множеству показателей, и, заканчивая, малыми архитектурными формами – элементами не менее важными в построении городского пространства.

Ориентация современных планировочных решений при проектировании городской застройки на архитектурную выразительность, ставит задачи по поиску способов обеспечения не только функциональности, но и эстетичности конструкций различного назначения. Это означает, что, несмотря на широкий спектр материалов, которые можно использовать для создания малых архитектурных форм (металл, дерево, пластик и т. д.), бетон является одним из наиболее

востребованных. Это связано с сочетанием требуемой несущей способности, долговечности (заданного эксплуатационного срока) и возможности отделки внешней поверхности (окрашивание, офактуривание и др.).

Терминологические вопросы. Малые архитектурные формы (МДФ) – это сооружения либо изделия, предназначенные для архитектурно-планировочной организации объектов ландшафтной архитектуры, создания комфортной среды жизнедеятельности человека, ландшафтно-эстетического обогащения территории в целом. МДФ дополняют дизайн ландшафта, помогают создать определенный стиль и подчеркнуть индивидуальность городской территории, гармонично сочетая удобство и оригинальный дизайн, украшают и добавляют эстетическую привлекательность окружающему пространству. Наличие МДФ в окружении человека несет не только практическую, вспомогательную функцию (указатели, въездные стеллы, скамьи), но и медитативную, расслабляющую (фонтаны, скульптуры, вазоны с цветами), что является важным фактором, нивелирующим негативное влияние современного урбанистического мира на эмоциональное состояние человека.

Существуют различные классификации МАФ по функциональному назначению [1, 3, 4, 32], обобщив которые можно укрупненно выделить пять видов областей использования (рис. 1):

мобильные сооружения, временные сооружения, декоративные объекты практического назначения, объекты утилитарного назначения, художественно-декоративные объекты.



Рис. 1. Области использования МАФ

Для описания бетонов, предназначенных для производства МАФ, используются такие термины как «декоративный бетон» [6–8, 17, 20, 22, 23, 39], «архитектурный бетон» [8, 11, 12, 20, 26, 25, 36, 37], «белый бетон» [14, 15, 30], «цветной бетон» [18, 24, 26]. При этом для описания составов бетона для архитектурных форм использовались понятия «белые цементы» [10, 14, 37] и «цветные цементы» [33, 34, 35, 40].

В зарубежных публикациях такого понятия, как МАФ, нет, но, к ним относят Landscape products (Ландшафтные изделия) [11]. При этом бетоны, применение которых возможно для Landscape products фигурируют в статьях как «architectural concrete» [11, 12, 36] и «decorative colored concrete» [13].

Требования к свойствам растворной смеси и бетонам. Несмотря на широкий спектр материалов, используемых для создания МАФ, по совокупности технико-экономических и функциональных показателей наиболее распространённым среди разнообразия бетонов до сих пор остается мелкозернистый бетон.

С технологической точки зрения, основным требованием к бетонным смесям для МАФ является высокая подвижность и уплотняемость смеси, что обеспечивает возможность придания изделию любой конфигурации и тем самым индивидуальность и эксклюзивность архитектурной формы.

МАФ постоянно подвергаются специфическим негативным внешним воздействиям окружающей среды: перепадам температур и влажности, кислотно-щелочным осадкам, вибрации от проезжающего транспорта и др. В этой связи для обеспечения требуемой долговечности (жизнеспособности) архитектурных конструкций, бетоны для декоративных элементов должны отвечать определенным требованиям к прочности, коррозионной и морозостойкости. Это будет обеспечивать сохранение декоративности и функциональности изделий, а именно: целостности изделия, отсутствие сколов, трещин, яркости окраски и т.д.

Необходимо отметить, что малые архитектурные формы из бетона в России не нормируются техническими документами и их производство регламентируется созданием технических условий (ТУ) на каждое конкретное изделие.

Несмотря на то, что существуют работы по разработке составов для МАФ [1–40], остается ряд нерешенных вопросов, связанных с расширением линейки составов для изделий премиум-класса, повышением эксплуатационных и декоративных свойств материалов. С целью обобщения результатов исследований, выявления применяемых технологических решений и их влияния на свойства бетонов для МАФ, предлагаемый анализ научных публикаций представляется весьма актуальным.

Таким образом, предметом настоящей статьи является анализ литературных источников, рассматривающих, с одной стороны, вопросы разработки бетонов для производства малых архитектурных форм в целом, и, с другой, композиционных вяжущих на основе белых цементов, как основного компонента МАФ с высоким декоративным потенциалом. Это позволит оценить перспективы и наметить пути проектирования рациональных составов с учетом имеющегося опыта использования различных видов сырьевых компонентов как для повышения эффективности, так и снижения стоимости бетонов для МАФ премиум-класса.

Анализ динамики публикационной активности. Основными базами данных для изучения публикационной активности в динамике, являлись такие электронные интернет-ресурсы, как sciencedirect.com, dissercat.com, researchgate.net, eLibrary.ru и прочие.

Однако, база reserchgate.net не дает аналитических инструментов для подробного анализа, поэтому нет возможности выделить критерии поиска и провести подбор публикаций по заданной тематике.

Используя библиометрические критерии баз sciencedirect.com и eLibrary.ru и аналитические

инструменты, были сделаны обобщенные выводы количественного характера (рис. 2–5).

Поиск научных работ по предложенной тематике проводился в базе электронной научной библиотеки eLibrary.ru за период 2000–2020 гг. по запросам: «бетон», «малые архитектурные формы». Затем, запросы, для сужения поиска конкретно по тематике настоящей статьи, изменили на «архитектурный бетон», «бетоны для малых архитектурных форм», «белый бетон», «белый цемент», «цветной бетон», «цветной цемент». Так же был использован запрос «декоративный бетон», но при сужении поиска результаты перекликались с запросами выше и были исключены из статистики.

Бетоны – это настолько всеобъемлющее понятие, что проводить оценку публикаций по данному ключевому слову нецелесообразно. Публикации, рассматривающие МАФ, охватывают различные научные области, начиная от архитектуры, оборудования и форм для МАФ, заканчивая составами бетонов (рис. 2, а). Число работ, связанных с проектированием составов бетонов непосредственно для МАФ (рис. 2, б) значительно меньше.

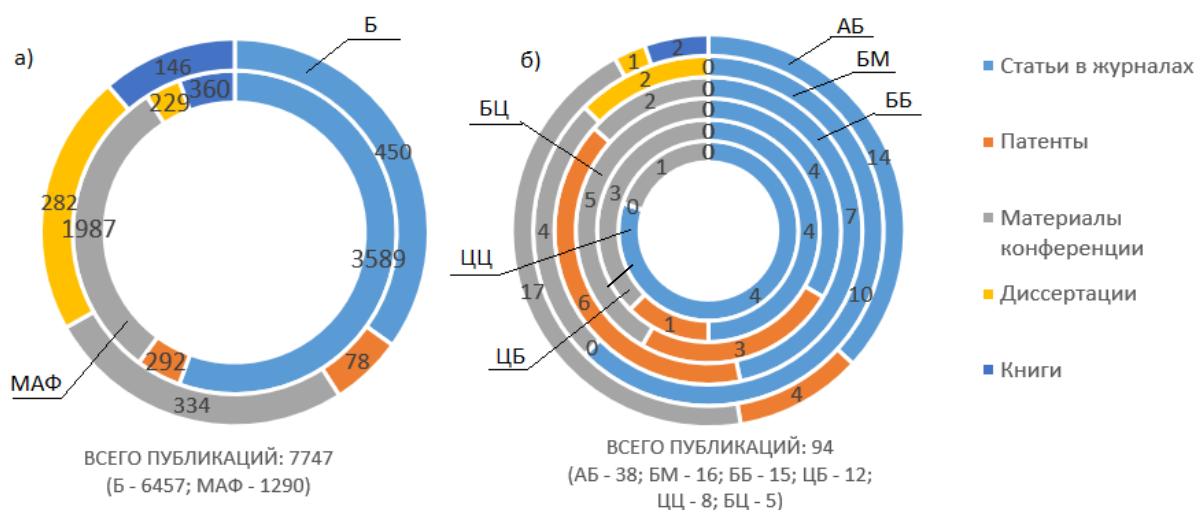


Рис. 2. Анализ базы eLibrary.ru по качественным и количественным показателям по запросам: а – «бетон» (Б), «малые архитектурные формы» (МАФ); б – «архитектурный бетон» (АБ), «бетоны для малых архитектурных форм» (БМ), «белый бетон» (ББ), «цветной бетон» (ЦБ), «цветной цемент» (ЦЦ), «белый цемент» (БЦ)

При качественном анализе публикаций (рис. 2, б) выявлено, что такие узкие направления как бетонные смеси для МАФ, равно как и композиционные вяжущие на основе белых цементов – представлены в отечественной научной литературе в последние 20 лет недостаточно.

Поиск публикаций по базе sciencedirect.com выполнен по тем же ключевым словам, что в базе eLibrary.ru. Использовались следующие запросы:

«concrete», «landscape products» и суженый поиск по «architectural concrete», «decorative colored concrete», «white concrete».

Количественный анализ зарубежных публикаций (рис. 3) показывает обширные исследования в области бетонных материалов и широкий круг изучения ландшафтных изделий (рис. 3, а), но при этом малоизученность применения бетонных смесей именно для МАФ.

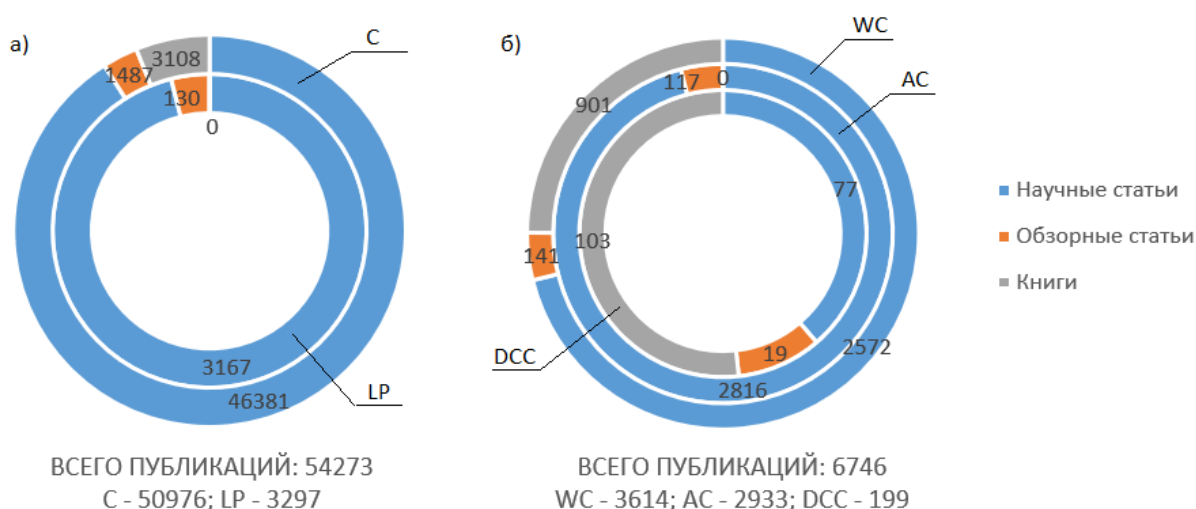


Рис. 3. Количественный и качественный анализ базы sciencedirect.com по запросам: а – «concrete» (C), «landscape products» (LP); б – «architectural concrete» (AC), «decorative colored concrete» (DCC), «white concrete» (WC)

Статьи, отражающие результаты разработки составов бетонов для МАФ и анализа их свойств за период 2000–2020 гг., опубликованные в ведущих рецензируемых российских и зарубежных изданиях, находящихся в открытом доступе, подвергались детальному анализу. При этом был выявлен растущий с каждым годом интерес к данной тематике (рис. 4). Особенно выросло количество патентов на МАФ из бетона. Данную тенденцию можно связать с тем, что в настоящее время всё большее внимание уделяется не только

практическим (механическим) свойствам окружающих объектов, но и эстетической составляющей.

Кроме того, потребности в формировании изделий с индивидуальными требованиями заказчика, в частности, сложная конфигурация, особая окраска, фактура и др. – требуют разработки специальных составов бетонов, обеспечивающих вышеназванные характеристики, как бетона, так и архитектурного объекта на его основе.

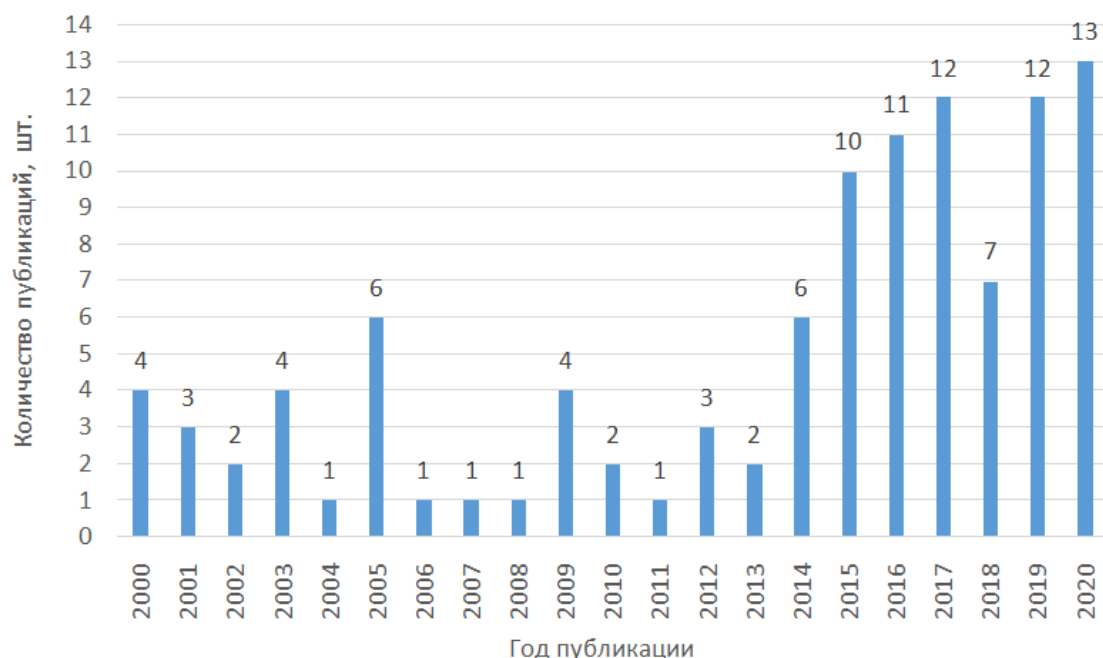


Рис. 4. Динамика публикационной активности

Таким образом, для анализа было выбрано около 40 источников, в их число не вошли обзорные статьи, материалы конференций, статьи в за-

крытом и ограниченном доступе, тексты авторефератов и диссертаций. Так же не были использованы результаты исследований с недостаточной проработкой заданной тематики.

Анализ результатов экспериментальных исследований. Для анализа были использованы работы, в которых в качестве вяжущего использовались белый или цветной портландцемент, а бетонная смесь предлагалась для производства малых архитектурных форм. Данная тема узконаправленна, поэтому в обзор вошли статьи и патенты не только с конкретным подбором состава бетона для МАФ, но и работы, где авторы предлагают новый композиционный материал с широким спектром применения, в число которых входят и малые архитектурные формы.

В таблице 1 представлен результат анализа экспериментальных исследований по следующим критериям:

- вид используемого сырья;
- состав вяжущего (исходного или композиционного);
- контролируемые параметры и физико-механические свойства композиционного вяжущего;

- состав бетонной смеси;
- контролируемые параметры и физико-механические свойства бетона.

При описании результатов исследований из различных публикаций в таблице 1 были указаны не только источники информации, но и номер состава (первая колонка таблицы) для более удобного восприятия данных.

Анализ предлагаемых публикаций позволяет выделить несколько общих направлений исследований. В подборке представлены статьи: с разработкой состава бетонной смеси [1–21, 23–29], состава композиционного вяжущего [3, 4, 30–34, 36–40] и статьи с подбором дозировки пластификатора или модифицирующей добавки [1, 22–24, 26, 27]. При этом в одной публикации может затрагиваться несколько таких направлений. На рис. 5 представлена диаграмма, где наглядно можно увидеть основную направленность исследований.

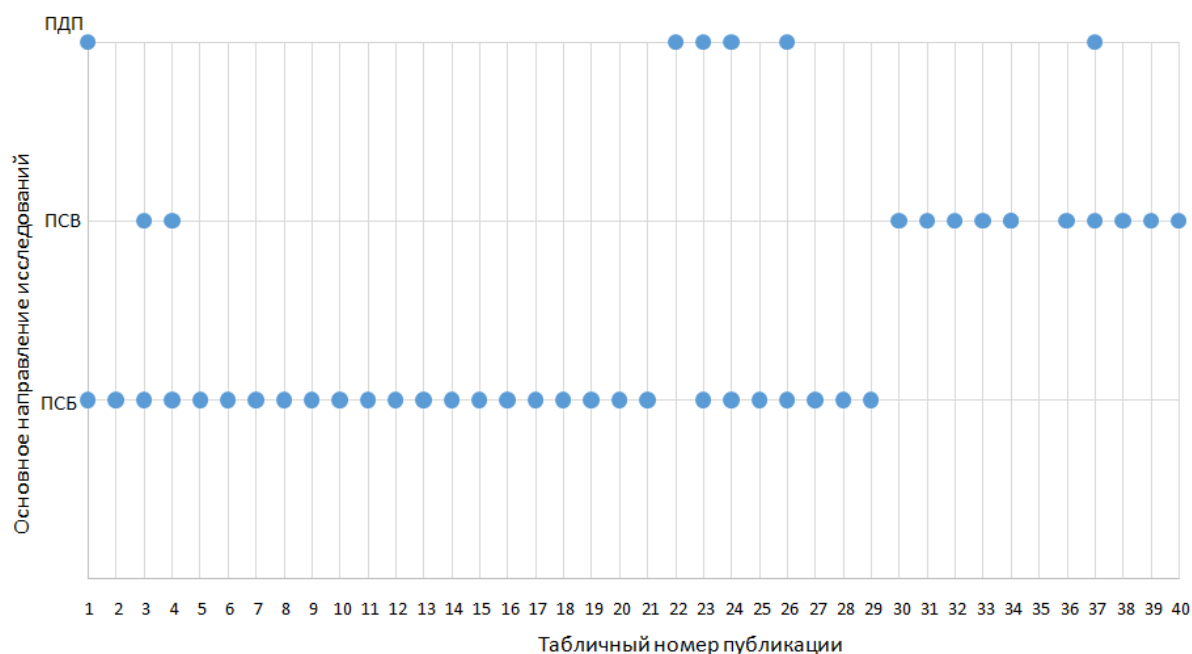


Рис. 5. Основные направления исследований проанализированных публикаций: ПСБ – подбор состава бетона, ПСВ – подбор состава вяжущего, ПДП – подбор дозировки пластификатора или модифицирующей добавки

В качестве вяжущих в работах используются портландцемент общестроительный [4, 8, 14, 24, 28], цветной [13, 17, 24, 25, 30, 31, 32, 40] и белый [19, 4, 6]. При этом в случае последнего в работах [8, 11, 12, 14, 28, 36, 38, 15] используется цемент зарубежных производителей. Объяснением большей частоты использования белого цемента по сравнению с другими является необходимость получения изделий широкой цветовой номенклатуры. Тем не менее, портландцемент не теряет своей популярности, так как является наиболее доступным и экономически выгодным видом цемента. Однако, даже при значительной разнице в

частоте использования в составах белого и цветного цемента по сравнению с серым, упоминание в публикациях является практически одинаковым (рис. 6). Это говорит нам о том, что современные архитектурные и дизайнерские решения требуют более гибкого подхода к выбору цвета цемента.

Ввиду специфических требований к архитектурным объектам, в числе которых высокая механическая прочность и атмосферостойкость, применение рядовых и низкомарочных бетонов при производстве МАФ фактически невозможно. Поэтому наиболее часто в качестве вяжущего применяется белый портландцемент и серый

портландцемент, типа I класс 52,5 нормально твердеющий. Кроме того, применение пигментов для создания окрашенных бетонов требует использования высокомарочного белого цемента,

производство которого в России и в мире ограничено.

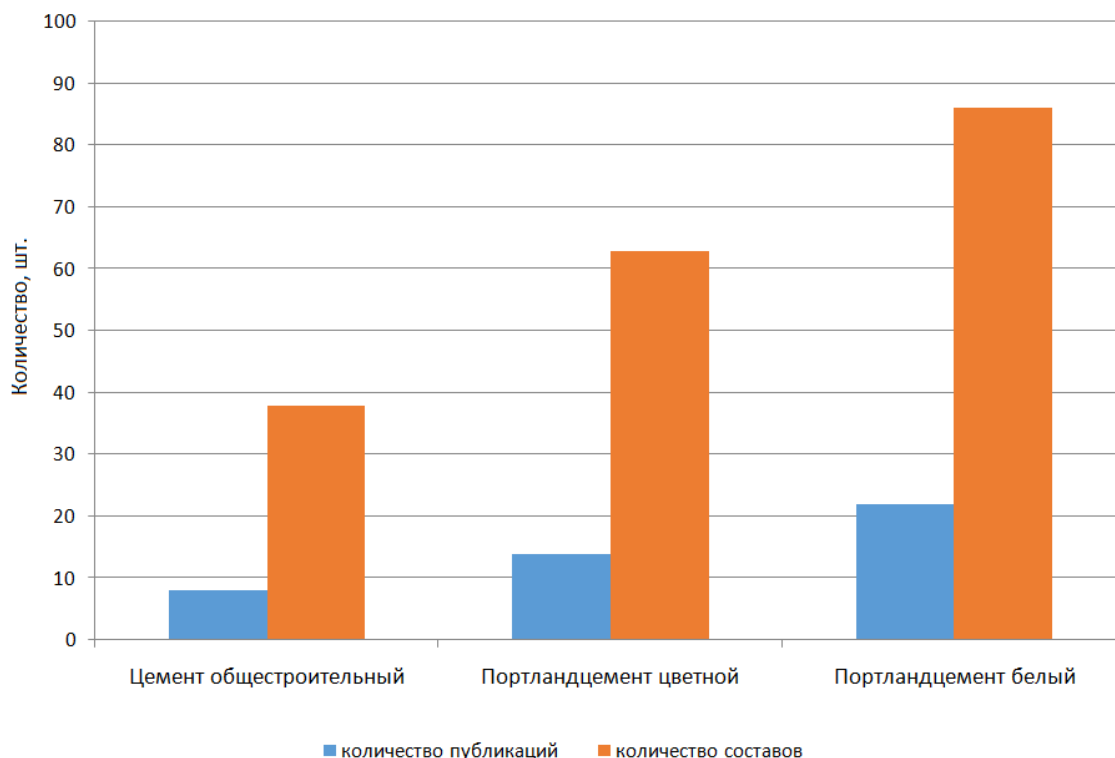


Рис. 6. Статистика по обработанным статьям и составам, представляющая использование различных видов цемента

Важным фактором для приготовления качественного бетона является водоцементное соотношение (В/Ц), обеспечивающее, с одной стороны, заданную подвижность смеси, а с другой – формирование цементного камня с определенной пористостью и механической прочностью. Согласно анализа, значения В/Ц в

составах, названных авторами оптимальными, колеблются от 0,25 до 0,48 (рис. 7, 8). Очевидно, что высокое значение водоцементного отношения может стать причиной падения прочности изделий в виду существенной естественной сформированной развитой поровой структуры.

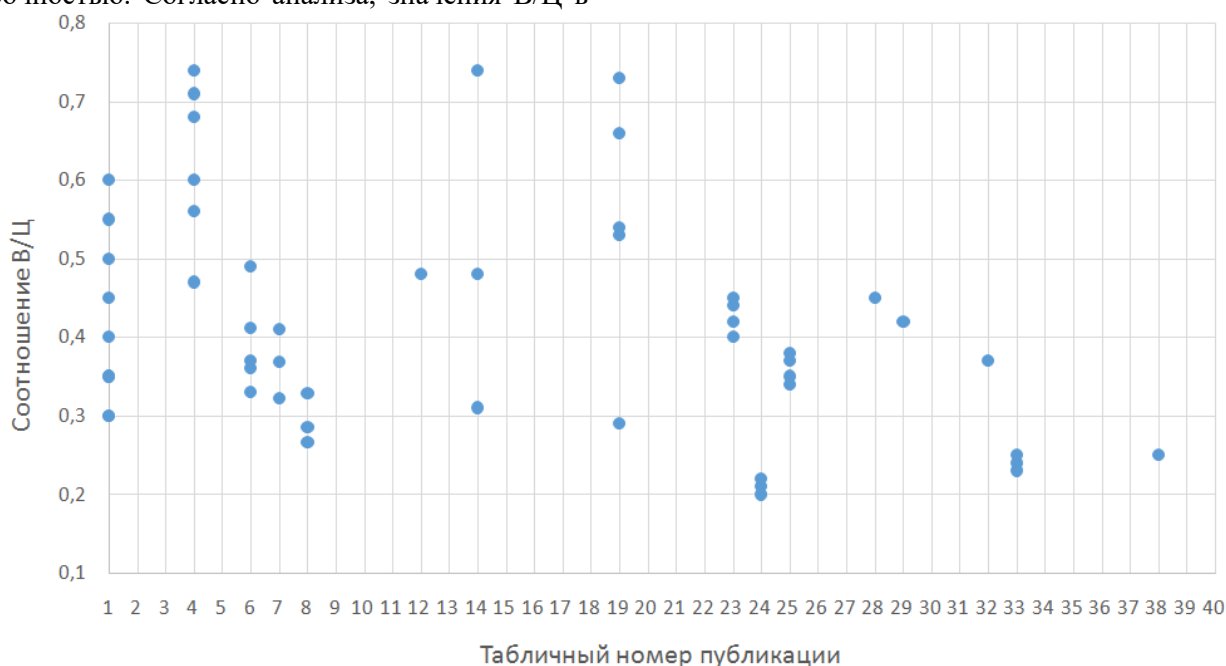


Рис. 7. Значения водоцементного отношения при подборе оптимальных составов

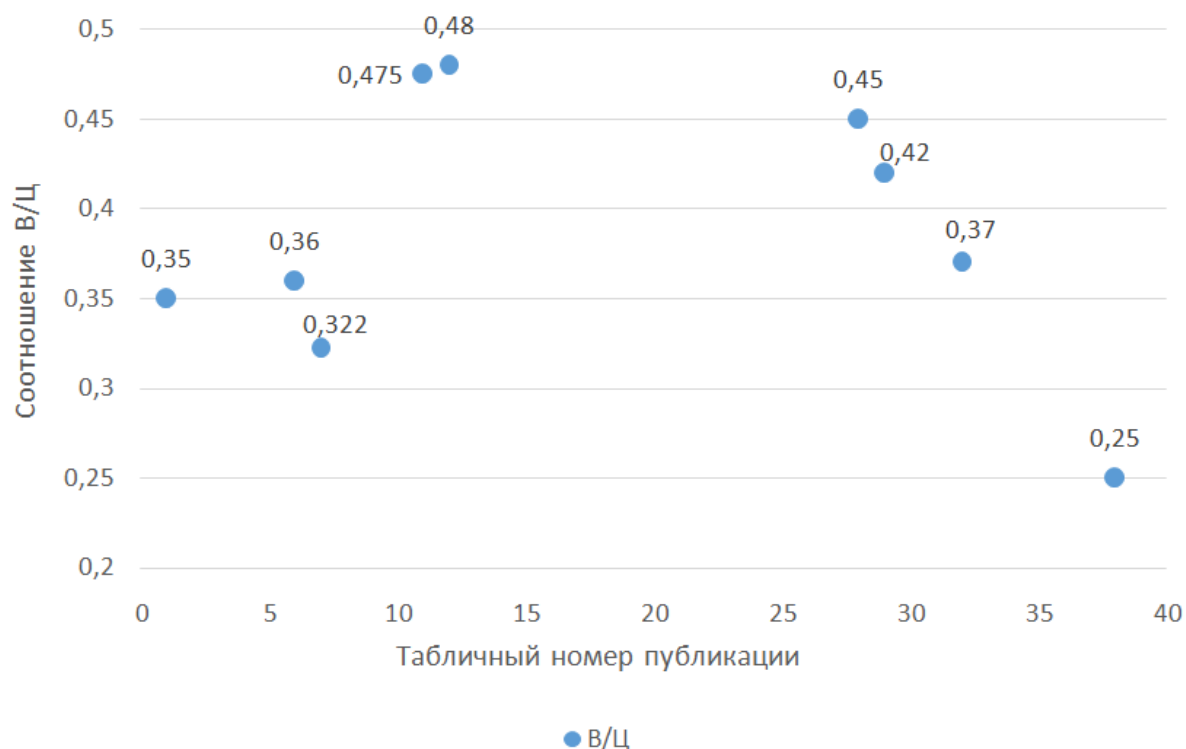


Рис. 8. Значения водоцементного отношения для бетонной смеси, указанные авторами как оптимальные

Для создания МАФ различных конфигураций и типоразмеров необходимо обеспечение заданной подвижности и удобоукладываемости бетонной смеси, что может быть достигнуто увеличением водоцементного отношения, что приведет к падению основных физико-механических характеристик изделия. Снижение негативного избытка воды в системе при сохранении реологических параметров бетонной смеси достигается использованием пластифицирующих компонентов различного состава. Так, наиболее часто упоминается применение супер- [4, 6, 7, 11, 14, 27, 30, 32, 34, 36, 38] и гиперпластификаторов [20, 21, 22, 27], различных многофункциональных добавок [1, 4, 6, 9, 11, 18, 19, 27, 37].

Атмосферостойкость, коррозионная стойкость и морозостойкость, сопротивление воздействию вибраций и кислотно-щелочных осадков, стойкость к перепадам влажности и температур – важные физико-механические свойства, которые необходимо учитывать при производстве бетонных смесей для МАФ. Однако, согласно анализу публикаций, исследование изменения свойств бетонов при воздействии внешних агрессивных факторов практически не рассматривается. В проанализированных публикациях можно выделить изучение пористости [27], водопоглощения [4, 17, 18, 11, 13] и морозостойкости [3, 4, 18, 26, 38, 39].

Необходимо отметить, что количественные результаты оценки основных физико-механиче-

ских характеристик архитектурных изделий, авторами не раскрываются. Тем не менее, с учетом имеющихся данных, в зависимости от применяемого вяжущего, состава бетона, используемых органических и минеральных добавок, а также пластификаторов, показатели прочности на сжатие образцов вяжущего колеблются от 13,3 до 13,2 МПа, а образцов бетона от 144,0 до 9,5 МПа (рис. 9), прочности на изгиб вяжущего от 12,7 до 2,9 МПа, бетона – от 19,8 до 3,1 МПа (рис. 10). При этом оптимальные составы (рис. 11) с позиции прочностных характеристик, отмечены лишь в некоторых публикациях [1, 3, 6, 7, 11, 12, 28, 29].

Стоит учитывать, что ввиду различия применяемых вяжущих и составов бетонов, полученная информация носит лишь информативный характер, не позволяя установить аналитические зависимости.

В последнее время широкое распространение получают малые архитектурные формы премиум-класс. Данные изделия зачастую являются уникальными и эксклюзивными, изготовленными на заказ. Их отличает использование более дорогостоящих высококачественных сырьевых материалов (белый цемент, мрамор, как наполнитель и заполнитель белого цвета, минеральные отходы промышленности, удовлетворяющие требованиям по белизне, а также напротив, горные породы, обеспечивающие заданную цветовую гамму и фактуру материала и т. д.) и различных видов модифицирующих добавок.

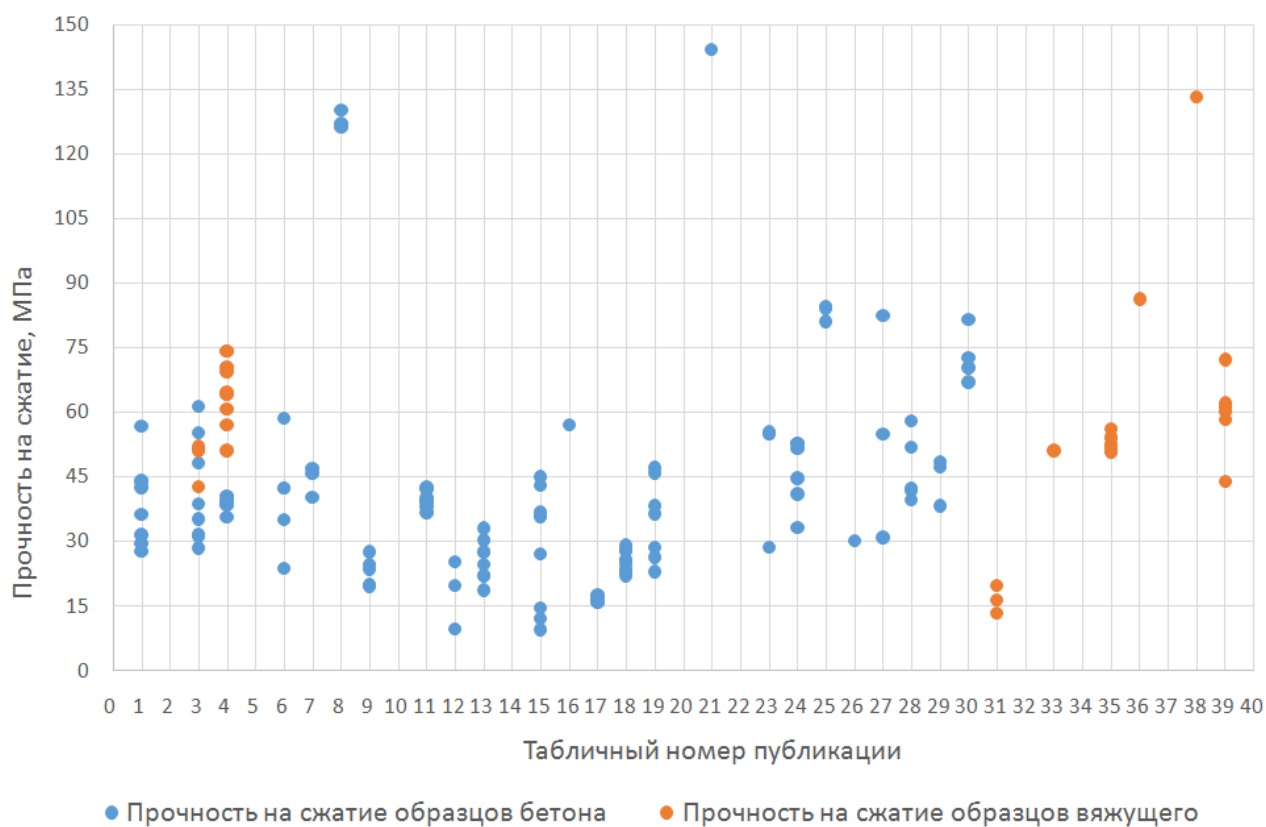


Рис. 9. Прочность на сжатие образцов вяжущих и бетонов

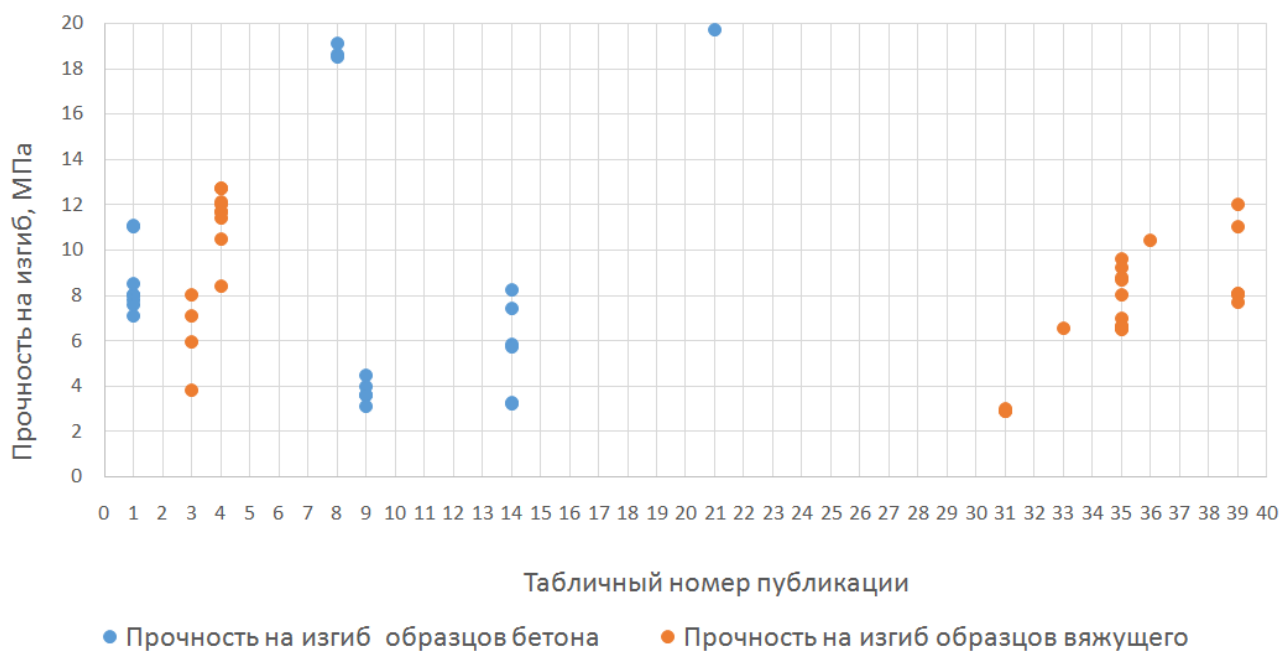


Рис. 10. Прочность на изгиб образцов вяжущих и бетонов

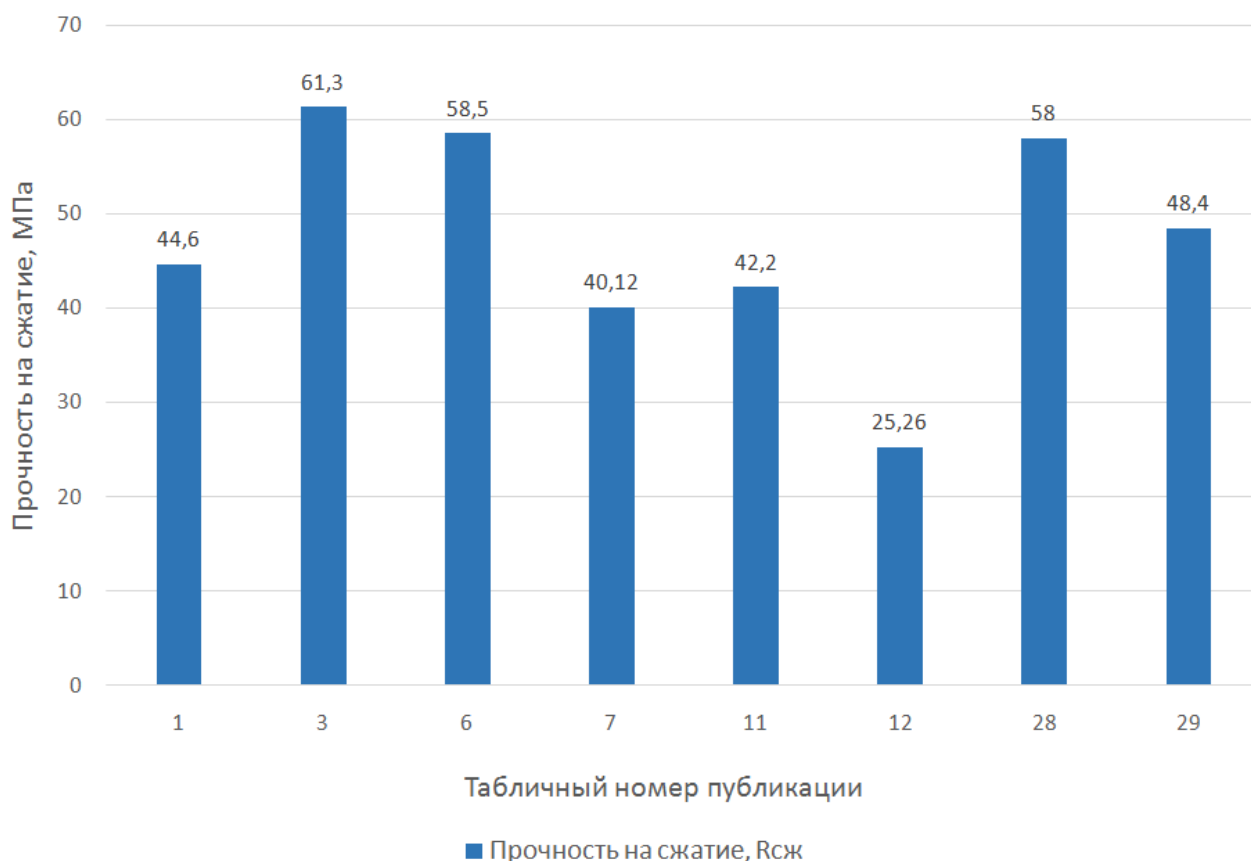


Рис. 11. Прочность на сжатие составов, указанные авторами, как оптимальные

Выводы. В настоящей статье представлен анализ результатов исследований как российских, так и зарубежных авторов, работающих в направлении разработки составов композиционных вяжущих и бетонных смесей для производства малых архитектурных форм. Накопленный эмпирический материал, позволил провести обобщение и структурирование имеющихся данных по таким критериям, как тип вяжущего, водоцементное отношение, вид добавки, прочность. Несмотря на существенный объем исследований, разрозненность данных в работах не позволяет установить граничные значения основных технологических и рецептурных факторов для проектирования бетона с оптимальными характеристиками. При этом обосновано, что подбор состава бетона для малых архитектурных форм должен осуществляться исходя из заданных требований, определяемых конкретными условиями и особенностями его эксплуатации.

Ввиду все возрастающего спроса на архитектурные рядовые изделия, а также элит и премиум класса, которые отличают широкий ассортимент продукции с разнообразной линейкой цветов и фактур, оригинальный дизайн, высокое качество и долгий срок службы изделий, к числу основных

тенденций в проектировании составов бетонов для МАФ можно отнести (как направления дальнейших исследований, в том числе авторского коллектива):

- *выбор сырьевых компонентов*, удовлетворяющих требованиям к декоративным свойствам конечных изделий;

- *разработка композиционных вяжущих*, обеспечивающих снижение расхода дорогостоящего вяжущего и оптимизацию структурообразования цементного камня на всех иерархических уровнях;

- *подбор зернового состава заполнителей и наполнителей* для обеспечения плотнейшей упаковки твердой для минимизации пористости, повышения прочности и снижения проницаемости бетона;

- *разработка высокоподвижных и самоуплотняющихся смесей* для создания сложных архитектурных форм.

Источник финансирования. Работа выполнена при финансовой поддержке Гранта Президента для научных школ НШ-2584.2020.8 с использованием оборудования Центра Высоких Технологий БГТУ им. В.Г. Шухова

Таблица 1

Состав и свойства вяжущих и бетонов применяемых для МАФ

№ со-ста-ва п/п	Виды сырья для композиционного вяжущего	Состав композиционного вяжущего/ бетона	Контролируемые параметры и физико-механические свойства композиционного вяжущего / бетона	Ссылка на источник
1. Состав и свойства мелкозернистых бетонов для производства МАФ				
1.	ПЦ М500 Шуровский завод (белый) Кварцевый песок, фракции 0,2-0,4 мм (белый) трех видов с Мк = 1,5 (П1) Мк = 2,3 (П4) Мк = 1,84 (П5) Водоредуцирующая добавка на основе эфира полиари-ла MasterPolyHeed 3043	Бетон Соотношение ПЦ к П1 1:2 Содержание водоредуцирующей добавки, – %	Бетон В/Вяз = 0,6; Расплав конуса 177 мм Прочность на сжатие, через 28 сут. , Рсж28 = 31,5 МПа Прочность на изгиб, через 28 сут. Риз28 = 7,1 МПа	[1]
2.		Соотношение ПЦ к П4 1:2 Содержание водоредуцирующей добавки, – %	В/Вяз = 0,5; Расплав конуса 178 мм Рсж28 = 27,6 МПа; Риз28 = 8,0 МПа	
3.		Соотношение ПЦ к П5 1:2 Содержание водоредуцирующей добавки, – %	В/Вяз = 0,55; Расплав конуса 180 мм Рсж28 = 29,5 МПа; Риз28 = 8,0 МПа	
4.		Соотношение ПЦ к П1 1:2 Содержание водоредуцирующей добавки 1 %	В/Вяз = 0,45; Расплав конуса 165 мм Рсж28 = 36,2 МПа; Риз28 = 7,6 МПа	
5.		Соотношение ПЦ к П4 1:2 Содержание водоредуцирующей добавки 1 %	В/Вяз = 0,35; Расплав конуса 215 мм Рсж28 = 44,6 МПа; Риз28 = 9,3 МПа*	
6.		Соотношение ПЦ к П5 1:2 Содержание водоредуцирующей добавки 1%	В/Вяз = 0,35; Расплав конуса 228 мм Рсж28 = 43,8 МПа; Риз28 = 7,8 МПа	
7.		Соотношение ПЦ к П1 1:2 Содержание водоредуцирующей добавки 1,5 %	В/Вяз = 0,4; Расплав конуса 195 мм Рсж28 = 42,5 МПа; Риз28 = 8,5 МПа	
8.		Соотношение ПЦ к П4 1:2 Содержание водоредуцирующей добавки 1,5 %	В/Вяз = 0,3; Расплав конуса 235 мм Рсж28 = 44,0 МПа; Риз28 = 11,1 МПа	
9.		Соотношение ПЦ к П5 1:2 Содержание водоредуцирующей добавки 1,5%	В/Вяз = 0,3; Расплав конуса 240 мм Рсж28 = 56,6 МПа; Риз28 = 11,0 МПа	
10.	Цемент марки ЦЕМ II/A-3 32,5Б (ПЦ400 Д20) АО «Анг-гарскцемент» Микрокремнезем с фильтров пылоуловителей ЗАО «Крем-ний» (МК) Мел марки МТД-2 Белгород-ская область (М1) Мел марки CALCITECV/40S Италия (М2) Гиперпластификатор на основе поликарбонилатов «МС- Power-Flow-3100» (ГП)	Бетон Расход материалов на 1 м³ бетона, % от массы сухих веществ ПЦ 400 Д20 – 30; МК – 70; В – 62,5; ГП – 0,002	Бетон Коэффициент конструктивного качества К.К.К. = Рсж/ср. = 9,89	[2]
11.		ПЦ 400 Д20 – 40; МК – 60; В – 61,6; ГП – 0,002	К.К.К. = 14,97	
12.		ПЦ 400 Д20 – 50; МК – 50; В – 60,0; ГП – 0,002	К.К.К. = 15,15	
13.		ПЦ 400 Д20 – 30; МК – 65; В – 61,8; М1 – 5; ГП – 0,002	К.К.К. = 7,72	
14.		ПЦ 400 Д20 – 40; МК – 55; В – 60,8; М1 – 5; ГП – 0,002	К.К.К. = 14,76	
15.		ПЦ 400 Д20 – 50; МК – 45; В – 59,3; М1 – 5; ГП – 0,002	К.К.К. = 10,8	
16.		ПЦ 400 Д20 – 30; МК – 60; В – 61,0; М1 – 10; ГП – 0,002	К.К.К. = 11,09	
17.		ПЦ 400 Д20 – 40; МК – 50; В – 60,1; М1 – 10; ГП – 0,002	К.К.К. = 14,82	
18.		ПЦ 400 Д20 – 50; МК – 40; В – 58,5; М1 – 10; ГП – 0,002	К.К.К. = 13,08	
19.		ПЦ 400 Д20 – 30; МК – 65; В – 61,3; М2 – 5; ГП – 0,002	К.К.К. = 9,35	
20.		ПЦ 400 Д20 – 40; МК – 55; В – 60,4; М2 – 5; ГП – 0,002	К.К.К. = 10,82	
21.		ПЦ 400 Д20 – 50; МК – 45; В – 58,9; М2 – 5; ГП – 0,002	К.К.К. = 13,02	
22.		ПЦ 400 Д20 – 30; МК – 60; В – 60,1; М2 – 10; ГП – 0,002	К.К.К. = 10,66	
23.		ПЦ 400 Д20 – 40; МК – 50; В – 59,3; М2 – 10; ГП – 0,002	К.К.К. = 14,09	
24.		ПЦ 400 Д20 – 50; МК – 40; В – 57,6; М2 – 10; ГП – 0,002	К.К.К. = 14,47	
25.	Портландцемент ПЦ 500 ДО Отходы мокрой магнитной се-парации железистых кварцитов (ММС) Вольский песок (ВП) Нижегородский песок (НП) Отсев дробления кварцито-пес-чанника фракции (ОД) 5–2,5 мм 2,5–1,25 мм 1,25–0,63 мм 0,63–0,314 мм 0,314–0,16 мм менее 0,16 мм	Бетон ПЦ = 504 кг/м³; ВП = 1462 кг/м³; Вода = 212 кг/м³	Бетон p = 2185 кг/м³; Рсж = 55,25 МПа	[3]
26.		ВНВ с высокоплотной упаковкой заполнителя = 315 кг/м³ ОД ВУ = 1916 кг/м³, в т.ч.: 1095 кг/м³ (фр.5...2,5 мм) 383 кг/м³ (фр.2,5...1,25 мм) 274 кг/м³ (фр.1,25...0,63 мм) 165 кг/м³ (фр.0,63...0,314 мм) Вода = 128 кг/м³	p = 2410 кг/м³ Рсж = 58,5 МПа	
27.		ВНВ-50 = 493 кг/м³; ОД = 1528 кг/м³; Вода = 202 кг/м³	p = 2215 кг/м³; Рсж = 61,3 МПа	
28.		ВНВ-50 = 461 кг/м³; ВП = 1548 кг/м³; Вода = 189 кг/м³	p = 2198 кг/м³; Рсж = 48,2 МПа	
29.		ВНВ-50 = 573 кг/м³; НП = 1294 кг/м³; Вода = 248 кг/м³	p = 2115 кг/м³; Рсж = 31,7 МПа	
30.	Отходы мокрой сепарации (ММС) Песок Вольский (ВП) Клинкер (К)	Вяжущее ВНВ-50 ММС = 23,87%	Вяжущее Сроки схватывания, мин. начало – 130, конец – 310 Рсж7 = 30,7 МПа; Риз7 = 4,77 МПа; Рсж28 = 51,3 МПа; Риз28 = 5,96 МПа	[3]
31.		Портландцемент 500 ДО (ПЦ) Тонкомолотый многокомпо-нентный цемент	ВНВ-50 ВП = 18,75 % Сроки схватывания, мин. начало – 135, конец – 300 Рсж7 = 34,9 МПа; Риз7 = 5,9 МПа; Рсж28 = 51,9 МПа; Риз28 = 7,1 МПа	

32.	(ТМЦ-50) Вязущее низкой водопотребности (ВНВ-50)	ТМЦ-50 ММС = 29,87%	Сроки схватывания, мин. начало – 160, конец – 320 Рсж7 = 34,7 МПа; Риз7 = 2,77 МПа; Рсж28 = 40,6 МПа; Риз28 = 5,4 МПа	
33.	Отсев дробления кварцито-песчанника фракцией 5÷0,314 (ОДК)	ТМЦ-50 ВП = 26,75 %	Сроки схватывания, мин. начало – 155, конец – 310 Рсж7 = 34,2 МПа; Риз7 = 2,3 МПа; Рсж28 = 42,7 МПа; Риз28 = 3,8 МПа	
34.	Отсев дробления кварцито-песчанника с высокоплотной упаковкой заполнителя (ОДК ВУ)	ПЦ = 24,75 %	Сроки схватывания, мин. начало – 160, конец – 220 Рсж7 = 36,0 МПа; Риз7 = 6,8 МПа; Рсж28 = 51,0 МПа; Риз28 = 8,0 МПа	
35.	Песок нижеольтшанский (ПН)	Бетон ПЦ = 411 кг/м³; ВП = 1600 кг/м³; В = 241 кг/м³	Бетон р = 2175 кг/м³; Рсж = 28,4 МПа; Морозостойкость 150 циклов	
36.		ВНВ-50 = 406 кг/м³; ВП = 1624 кг/м³; В = 231,6 кг/м³	р = 2210 кг/м³; Рсж = 31,2 МПа; Морозостойкость 150 циклов	
37.		ВНВ-50 = 408 кг/м³; ОДК = 1632 кг/м³; В = 232,5 кг/м³	р = 2187 кг/м³; Рсж = 35,1 МПа; Морозостойкость 200 циклов	
38.		ВНВ-50 = 310 кг/м³ ОДК ВУ = 1916 кг/м³, в т.ч.: 1095 кг/м³ (фр. 5...2,5 мм) 383 кг/м³ (фр. 2,5...1,25 мм) 274 кг/м³ (фр. 1,25...0,63 мм) 165 кг/м³ (фр. 0,63...0,314 мм) В = 160 кг/м³	р = 2350 кг/м³ Рсж = 38,7 МПа Морозостойкость 200 циклов	
39.		ВНВ-50 = 441 кг/м³; ПН = 1543,5 кг/м³; В = 251 кг/м³	р = 2110 кг/м³; Рсж = 25,3 МПа; Морозостойкость 150 циклов	
40.	Белый портландцемент (БПЦ) Серый портландцемент (ПП) Отсевы дроблений кварцито-песчанника фракция 0...0,63мм (КВП)	Вязущее ПЦ 80%; КВП 20%	Вязущее рср = 2212 кг/м³; НГ = 17,5%; Сроки схватывания, мин. начало - 150, конец – 320 Риз = 11,3 МПа; Рсж = 78,5 МПа	[4]
41.	Мел (М) Пластифицирующая добавка SikaViscoCrete 32 SCC (СП) Песок (П)	Бетон ПЦ = 236 кг/м³=80%; КВП (<0,63мм) = 47,2 кг/м³=20%; КВП (0,63...2мм) = 50,9 кг/м³ КВП (2...5мм) = 86,2 кг/м³; П = 1630,9 кг/м³; В/Ц = 0,74 (220 л); СП = 0,58% (1,71 кг)	Бетон рср = 2190 кг/м³; Удобоукладываемость (ОК) = 18 см; Водоотделение (визуально) – незначительное Вид уплотнения – самоуплотнение (СУ): рср = 2057 кг/м³; Рсж = 34,4 МПа; Водопоглощение 6,9 % масс.; Морозостойкость > 100 циклов; Класс бетона В25 Вид уплотнения – виброуплотнение (ВУ): рср = 2185 кг/м³; Рсж = 39,5 МПа; Водопоглощение 6,1 % масс.; Класс бетона В30	
42.		Вязущее БПЦ 80%; КВП 20%	Вязущее рср = 2190 кг/м³; НГ = 17,0%; Сроки схватывания, мин. начало - 110, конец – 360 Риз = 12,7 МПа; Рсж = 74,1 МПа	
43.		ПЦ 80%; М 20%	рср = 2150 кг/м³; НГ = 18,5% Сроки схватывания, мин. начало - 140, конец – 330 Риз = 12,0 МПа; Рсж = 74,1 МПа	
44.		БПЦ 80%; М 20%	рср = 2178 кг/м³; НГ = 18,0%; Сроки схватывания, мин. начало - 130, конец – 320 Риз = 12,1 МПа; Рсж = 70,4 МПа	
45.		Бетон БПЦ = 245,6 кг/м³=80%; М = 61,4 кг/м³=20%; П = 1791,1 кг/м³; В/Ц = 0,71 (218 л); СП = 0,82% (2,52 кг)	Бетон рср = 2205 кг/м³; ОК = 17 см; Водоотделение (визуально) – отсутствует Вид уплотнения –СУ: рср = 2080 кг/м³; Рсж = 33,5 МПа; Водопоглощение 6,2 % масс.; Морозостойкость > 100 циклов; Класс бетона В25 Вид уплотнения –ВУ: рср = 2190 кг/м³; Рсж = 38,4 МПа; Водопоглощение 5,7 % масс.; Класс бетона В25	
46.		Вязущее ПЦ 60%; КВП 40%	Вязущее рср = 2197 кг/м³; НГ = 19,0%; Сроки схватывания, мин. начало - 130, конец – 400 Риз = 11,7 МПа; Рсж = 60,7 МПа	
47.		ПЦ 60%; КВП 20%; М 20%	рср = 2240 кг/м³; НГ = 16,5%; Сроки схватывания, мин. начало - 160, конец – 350 Риз = 11,7 МПа; Рсж = 69,4 МПа	
48.		Бетон ПЦ = 191,4 кг/м³=60%; М = 63,8 кг/м³=20%; КВП (<0,63мм) = 63,8 кг/м³=20%; КВП (0,63...2мм) = 55,1 кг/м³; КВП (2...5мм) = 93,3 кг/м³; П = 1706,6 кг/м³; В/Ц = 0,68 (217 л); СП = 0,62% (1,98 кг)	Бетон рср = 2214 кг/м³; ОК = 18 см; Водоотделение (визуально) – незначительное Вид уплотнения –СУ: рср = 2058 кг/м³; Рсж = 35,7 МПа; Водопоглощение 5,2 % масс.; Морозостойкость > 150 циклов; Класс бетона В25 Вид уплотнения –ВУ: рср = 2130 кг/м³; Рсж = 39,0 МПа; Водопоглощение 4,7 % масс.; Класс бетона В30	
49.		Вязущее БПЦ 60%; КВП 20%; М 20%	Вязущее рср = 2171 кг/м³; НГ = 16,0%; Сроки схватывания, мин. начало - 130, конец – 320 Риз = 11,4 МПа; Рсж = 64,7 МПа	
50.		Бетон ПЦ = 215,4 кг/м³=60%; М = 71,8 кг/м³=20%; КВП (<0,63мм) = 71,8 кг/м³=20%; КВП (0,63...2мм) = 62,4 кг/м³; КВП (2...5мм) = 105,6 кг/м³; П = 1638,0 кг/м³; В/Ц = 0,6 (215 л); СП = 0,8% (2,87 кг)	Бетон рср = 2250 кг/м³; ОК = 18 см; Водоотделение (визуально) – отсутствует Вид уплотнения –СУ: рср = 2102 кг/м³; Рсж = 32,1 МПа; Водопоглощение 4,8 % масс.; Морозостойкость > 150 циклов; Класс бетона В25 Вид уплотнения –ВУ: рср = 2160 кг/м³; Рсж = 35,6 МПа; Водопоглощение 4,2 % масс.; Класс бетона В25	
51.		Вязущее БПЦ 60%; М 40%	Вязущее рср = 2155 кг/м³; НГ = 19,5%; Сроки схватывания, мин. начало - 150, конец – 330	

52.		ПЦ + СП	Риз = 12,7 МПа; Рсж = 57,0 МПа рсп = 2187 кг/м³; НГ = 20,5%; Сроки схватывания, мин. начало - 140, конец - 310 Риз = 10,5 МПа; Рсж = 64,1 МПа	
53.		ПЦ	рсп = 2150 кг/м³; НГ = 27,0%; Сроки схватывания, мин. начало - 130, конец - 270 Риз = 8,4 МПа; Рсж = 51,0 МПа	
54.		Бетон ПЦ = 383 кг/м³; П = 1713 кг/м³; В/Ц = 0,56 (214 л); СП = 0,65% (2,5 кг)	Бетон рсп = 2210 кг/м³; ОК = 19 см; Водоотделение (визуально) – незначительное Вид уплотнения –СУ: рсп = 2070 кг/м³; Рсж = 33,6 МПа; Водопоглощение 5,7 % масс.; Морозостойкость > 100 циклов; Класс бетона В25 Вид уплотнения –ВУ: рсп = 2190 кг/м³; Рсж = 40,5 МПа; Водопоглощение 4,0 % масс.; Класс бетона В30	
55.		БПЦ = 451 кг/м³; П = 1665 кг/м³; В/Ц = 0,47 (212 л); СП = 0,65% (2,93 кг)	рсп = 2245 кг/м³; ОК = 20 см; Водоотделение (визуально) – незначительное Вид уплотнения –СУ: рсп = 2029 кг/м³; Рсж = 32,5 МПа; Водопоглощение 6,1 % масс.; Морозостойкость > 100 циклов; Класс бетона В25 Вид уплотнения –ВУ: рсп = 2156 кг/м³; Рсж = 38,7 МПа; Водопоглощение 4,2 % масс.; Класс бетона В30	
56.	Портландцемент М 400 (ПЦ) Песок Мкр 2,5 (П) Щебень фракции 5-10 (Щ)	Бетон ПЦ = 450 кг/м³; П = 650 кг/м³; Щ = 1151 кг/м³; ОК = 8-10 см	Бетон Скорость вращения при создании тела вращения не менее 300 об/мин. Длительность уплотнения от 50 до 180 сек. Стыковочный шов отсутствует.	[5]
2. Состав и свойства архитектурного и декоративного бетона, применение которого возможно при производстве МАФ				
57.	Белый портландцемент марки М 400	Бетон ПЦ/П = 1:3; В/Ц = 0,49	Бетон Рсж3 = 11,2 МПа; Рсж7 = 18,8 МПа; Рсж28 = 35,0 МПа	[6]
58.	Кварцевый песок с модулем крупности М 1,6	ПЦ/П = 1:3; С-3 = 0,6 % от массы цемента; В/Ц = 0,412	Водоредуцирующий эффект 11%; Рсж3 = 15,2 МПа; Рсж7 = 32,8 МПа; Рсж28 = 42,4 МПа	
59.	Пластифицирующая добавка С-3	ПЦ/П = 1:3; ViscoCrete®-3088 = 0,8 % от массы цемента; В/Ц = 0,36	Водоредуцирующий эффект 24,5%; Рсж3 = 38,4 МПа; Рсж7 = 48,2 МПа; Рсж28 = 58,5 МПа	
60.	Добавка ViscoCrete®-3088	КМ 10% от ПЦ; ПЦ+КМ/П = 1:3; ViscoCrete®-3088 = 0,8 % от массы цемента В/Т = 0,37	Рсж28 = 42,4 МПа	
61.	Карбонаткальцевый отход производства нитроаммофоски (конверсионный мел КМ)	КМ 50% от ПЦ; ПЦ+КМ/П = 1:3; ViscoCrete®-3088 = 0,8 % от массы цемента В/Т = 0,33	Рсж28 = 23,7 МПа	
62.	Портландцемент ЦЕМ I 52,5 Н, белый без минеральных добавок	Бетон ПЦ к П = 1:3; В/Ц = 0,41	Бетон Рсж3 = 4,31 МПа; Рсж28 = 40,12 МПа; Подвижность смеси П1	[7]
63.	1-го сорта (ПЦБ 1-500-Д0). Производитель ОАО «Щуровский цемент» (ПЦ)	ПЦ к П = 1:3; В/Ц = 0,368; СП1 = 3%	Рсж3 = 3,82 МПа; Рсж28 = 45,61 МПа; Подвижность смеси с П1 до П3	
64.	Кварцевый песок строительный, просушенный, фракций: 0,19–0,28; (П) 0,31–0,63; до 2,5 мм; (П) Суперпластификатор-1 на основе сульфированного нафталин-формальдегидного конденсата (СП1) Суперпластификатор-2 на основе сульфоната меламина (СП2) Гиперпластификатор на основе эфиров поликарбоксилатов (ГП)	ПЦ к П = 1:3; В/Ц = 0,322; СП2 = 2,5%	Рсж3 = 4,20 МПа; Рсж28 = 46,85 МПа; Подвижность смеси с П1 до П3	
65.	Серый портландцемент Краснорязский М500 ДО Белый цемент СЕМ I 52,5R Alborg Weit, Египет Отсевы камнедробления гранита, мрамора и известняка, рассеянные на фракции 0-Ю, 16 мм, 0,16-Ю, 63 мм, 0,63-2,5 мм или 0,63-5 мм соответственно. Каменную муку получали путем помола фракции 0-Ю, 16 мм в лабораторной шаровой мельнице до удельной поверхности $S_{уд}=3400-4800$ $cMvг$. Пластификатор: германский ГП Melfux 5581F	Бетон Портландцемент Краснорязский – 700 кг на 1м³; Гранит молотый (Пм); СУД = 3700 $cm^2/г$ – 300 кг на 1м³; Песок тонкий гранитный (Пт), фр. 0,16-0,63 мм – 700 кг на 1м³; Песок крупный гранитный (Пз) фр. 0,63÷2,5 мм – 470 кг на 1м³; ГП Melfux 5581P – 7 кг на 1м³; Вода – 230 кг на 1м³	Бетон р = 2415 кг/м³; Пм/Ц = 0,43; Пт/Ц = 1; Пз/Ц = 0,67; СП/Ц = 2,1 Прочность через 28 сут. Риз = 18,6 МПа; Рсж = 126 МПа; В/Ц=0,328; В/Т=0,105; Расплав Км 460х460 мм; $\Pi_{RC}^{yA} = 5,55$ кг/МПа; $R_{\Pi}^{yA} = 0,18$ МПа/кг; $\Pi_{RC}^{yA} = 37,6$ кг/МПа; Рс/Ри = 6,77; $I_{\Pi}^{yA} = 0,26$; $I_{\Pi}^{yA} = 4,854$ Купл. = 0,99; Ств = 76,7%; $V_{вд} = 569,1$; $C_{вд} = 57,5\%$; $V_{вдТ} = 820,9$; $C_{вдТ} = 82,9\%$	[8]
66.	Цемент белый Египетский СЕМ 52,5 – 700 кг на 1м³; Известняк молотый (Пм) СУД = 3400 $cm^2/г$ – 300 кг на 1м³; Песок тонкий известняк (Пт), фр. 0,16-0,63 мм – 700 кг на 1м³; Песок крупный известняк (Пз) фр. 0,63÷2,5 мм – 470 кг на 1м³; ГП Melfux 5581P – 7 кг на 1м³; Вода – 186 кг на 1м³		р = 2392 кг/м³; Пм/Ц = 0,43; Пт/Ц = 1; Пз/Ц = 0,67; СП/Ц = 2,1 Прочность через 28 сут. Риз = 18,5 МПа; Рсж = 130 МПа; В/Ц=0,266; В/Т=0,085; Расплав Км 430х431 мм; $\Pi_{RC}^{yA} = 5,38$ кг/МПа; $R_{\Pi}^{yA} = 0,18$ МПа/кг; $\Pi_{RC}^{yA} = 37,8$ кг/МПа; Рс/Ри = 7,02; $I_{\Pi}^{yA} = 2,04$; $I_{\Pi}^{yA} = 4,52$; Купл. = 0,974; Ств = 80,6%; $V_{вд} = 528,9$; $C_{вд} = 54,9\%$; $V_{вдТ} = 788,1$; $C_{вдТ} = 81,9\%$	
67.	Цемент белый Египетский СЕМ 52,5 – 700 кг на 1м³; Мрамор молотый (Пм) СУД = 3800 $cm^2/г$ – 300 кг на 1м³; Песок тонкий мраморный (Пт), фр. 0,16-0,63 мм – 700 кг на 1м³; Песок крупный мраморный (Пз) фр. 0,63÷2,5 мм – 470		р = 2496 кг/м³; Пм/Ц = 0,43; Пт/Ц = 1; Пз/Ц = 0,67; СП/Ц = 2,1 Прочность через 28 сут. Риз = 19,1 МПа; Рсж = 127 МПа В/Ц=0,285; В/Т=0,091; Расплав Км 525х522 мм; $\Pi_{RC}^{yA} = 5,5$ кг/МПа; $R_{\Pi}^{yA} = 0,18$ МПа/кг;	

		кг на 1м³; ГП Melfux 5581P – 7 кг на 1м³; Вода – 200 кг на 1м³	$\rho_{\text{ри}}^{\text{уд}} = 36,6 \text{ кг/мПа}$; $\text{Рс/Ри} = 6,65$; $\text{И}_{\text{Пт}}^{\text{вд}} = 2,21$; $\text{И}_{\text{Пз}}^{\text{вдт}} = 4,79$; $\text{Купп.} = 0,985$; $\text{Ств} = 78,6\%$; $\text{Ввд} = 534,6$; $\text{Свд} = 56,9\%$; $\text{Ввдт} = 776$; $\text{Свдт} = 78,6\%$	
68.	“Лежалый” фосфогипс Балаковского филиала (БФ АО “Апатит”)	Бетон Ф/И = 2:1; Ц = 30 %; П = 15 %; пигмента 5 %; В/Т = 2:1	Бетон Рсж = 23,5 МПа; Риз = 3,6 МПа	[9]
69.	Известь (И)	Ф/И = 2:1; Ц = 30 %; П = 15 %; пигмента 5 %; В/Т = 2:1; Л = 10%	Рсж = 24,5 МПа; Риз = 4,0 МПа	
70.	Гидравлический вяжущий цемент М500 (Ц)	Ф/И = 2:1; Ц = 30 %; П = 15 %; пигмента 5 %; В/Т = 2:1; АЭ = 10%	Рсж = 19,8 МПа; Риз = 3,1 МПа	
71.	Мелкий песок (П)	Ф/И = 2:1; Ц = 30 %; П = 15 %; пигмента 5 %; В/Т = 2:1; БА = 10%	Рсж = 19,5 МПа; Риз = 3,6 МПа	
72.	Противоморозная добавка “ЛАКРА” на основе нитрита кальция (Л)	Ф/И = 2:1; Ц = 60 %; П = 15 %; пигмента 5 %; В/Т = 2:1; Л = 10%; БА = 5%	Рсж = 27,5 МПа; Риз = 4,5 МПа	
73.	Гидроизоляционная добавка “ПенетронАдмикс” (ПА)			[10]
74.	Акриловая эмульсия (АЭ)			
75.	Базальтовые волокна (БВ)			
76.	Готовая смесь на основе белого цемента AalborgExtreme 120	Бетон Готовая смесь на основе белого цемента AalborgExtreme 120 Вода	Бетон Размер зерен заполнителя менее 3 мм Усадка при твердении по EN12617 (образцы в виде призм размерами 40х40х160 мм) в возрасте 90 сут. менее 600 мкм/м Время схватывания по Проктору (до достижения прочности 3,5 МПа) 6,5 – 7,5 ч. Предел прочности при сжатии по EN196-1 (образцы в виде призм размерами 40х40х160 мм) в возрасте 1 сут. более 75 МПа в возрасте 28 сут. более 130 МПа Модуль Юнга по EN12390-13 в возрасте 28 сут. 50 ГПа Предел прочности при изгибе по EN12390-5 (образцы в виде призм размерами 100х100х500 мм) в возрасте 28 сут. более 14 МПа	
77.	Белый цемент Shargh Cement Co. (Ц)	Бетон В/Ц = 0,475; Ц = 400 кг/м³; БКП = 150 кг/м³; В = 190 кг/м³; СП = 8 кг/м³; ГП = 600 кг/м³; БП = 900 кг/м³; ВМД = 4 кг/м³	Бетон Расплав конуса = 80 см; Рсж = 42,2 МПа; Модуль упругости E = 33 ГПа; W28 = 2,1 %; После 100 циклов замораживания/оттаивания: Потеря в весе = 0,74 %; Потеря прочности при сжатии = 4,76 %	[11]
78.	Белый пигмент (Сабзевар, Иран) (БКП)	В/Ц = 0,475; Ц = 390 кг/м³; КШ = 10 кг/м³; БКП = 150 кг/м³; В = 190 кг/м³; СП = 8 кг/м³; ГП = 600 кг/м³; БП = 900 кг/м³; ВМД = 4 кг/м³	Расплав конуса = 79 см; Рсж = 42,5 МПа; E = 29,8 ГПа; W28 = 2,25 %; После 100 циклов замораживания/оттаивания: Потеря в весе = 0,72 %; Потеря прочности при сжатии = 5,95 %	
79.	Гранитный порошок (Мешхеда, Иран) (ГП)	В/Ц = 0,475; Ц = 380 кг/м³; КШ = 20 кг/м³; БКП = 150 кг/м³; В = 190 кг/м³; СП = 8 кг/м³; ГП = 600 кг/м³; БП = 900 кг/м³; ВМД = 4 кг/м³	Расплав конуса = 77 см; Рсж = 39,1 МПа; E = 29,4 ГПа; W28 = 2,3 %; После 100 циклов замораживания/оттаивания: Потеря в весе = 0,7 %; Потеря прочности при сжатии = 5,98 %	
80.	Белый пигмент (Сабзевар, Иран) (БП)	В/Ц = 0,475; Ц = 370 кг/м³; КШ = 30 кг/м³; БКП = 150 кг/м³; В = 190 кг/м³; СП = 8 кг/м³; ГП = 600 кг/м³; БП = 900 кг/м³; ВМД = 4 кг/м³	Расплав конуса = 77 см; Рсж = 36,7 МПа; E = 28,9 ГПа; W28 = 2,42 %; После 100 циклов замораживания/оттаивания: Потеря в весе = 0,67 %; Потеря прочности при сжатии = 6,02 %	
81.	Красный шлам Джаджармский глиноземный завод (расположен в провинции Северный Хорасан) (КШ)	В/Ц = 0,475; Ц = 400 кг/м³; КШ = 37,5 кг/м³; БКП = 112,5 кг/м³; В = 190 кг/м³; СП = 9 кг/м³; ГП = 600 кг/м³; БП = 900 кг/м³; ВМД = 4 кг/м³	Расплав конуса = 75 см; Рсж = 40,0 МПа; E = 32 ГПа; W28 = 2,4 %; После 100 циклов замораживания/оттаивания: Потеря в весе = 0,66 %; Потеря прочности при сжатии = 5,88 %	
82.	Суперпластификатор SakhtemanShimiCo. (СП)	В/Ц = 0,475; Ц = 400 кг/м³; КШ = 75 кг/м³; БКП = 75 кг/м³; В = 190 кг/м³; СП = 10 кг/м³; ГП = 600 кг/м³; БП = 900 кг/м³; ВМД = 4 кг/м³	Расплав конуса = 72 см; Рсж = 39,3 МПа; E = 29,0 ГПа; W28 = 2,7 %; После 100 циклов замораживания/оттаивания: Потеря в весе = 0,63 %; Потеря прочности при сжатии = 6,72 %	[12]
83.	Вязкостная модифицирующая добавка (ВМД) ZhikavaCo	В/Ц = 0,475; Ц = 400 кг/м³; КШ = 112,5 кг/м³; БКП = 37,5 кг/м³; В = 190 кг/м³; СП = 11 кг/м³; ГП = 600 кг/м³; БП = 900 кг/м³; ВМД = 4 кг/м³	Расплав конуса = 71 см; Рсж = 38,0 МПа; E = 29,0 ГПа; W28 = 2,9 %; После 100 циклов замораживания/оттаивания: Потеря в весе = 0,58 %; Потеря прочности при сжатии = 6,05 %	
84.	Белый цемент BL II/A-L 42,5 R фирмы Lafarge (БЦ)	Бетон В/Ц = 0,48; БЦ = 6,25 кг; П = 8,75 кг; В = 3 л	Бетон Образцы испытывали на 14 сутки: Рсж = 25,26 МПа; Риз = 0,69 кН	
85.	Зеленое переработанное стекло (фракции от 4 до 8 мм) (ЗС)	В/Ц = 0,48; БЦ = 6,25 кг; П = 8,75 кг; ЗС = 13,75 кг; В = 3 л	Рсж = 19,79 МПа; Риз = 0,8 кН	
86.	Природный песок (фракция до 2 мм) (П)	В/Ц = 0,48; БЦ = 6,25 кг; П = 8,75 кг; ЗС = 27,5 кг; В = 3 л; ПВ = 1/4	Рсж = 9,6 МПа; Риз = 0,44 кН	
87.	Полипропиленовые волокна SikaFiber (ПВ)			[13]
88.	Портландцемент CEM I 42,5 R Holcim Slovakia s. r. o. (ПЦ)	Бетон ПЦ, 3, Вода	Бетон Рсж = 27,64 МПа; W = 6,58%; p = 2430 кг/м³	
89.	Заполнитель GeKa 0-4 мм и 4-8 мм (З)	ПЦ, 3, Вода, ЖП красный 5% от массы вяжущего	Рсж = 30,25 МПа; W = 7,5%; p = 2410 кг/м³	
90.	Жидкий пигмент красного, желтого и коричневого цвета фирмы Remei CZ s. r. o. (ЖП)	ПЦ, 3, Вода, ЖП желтый 5% от массы вяжущего	Рсж = 24,63 МПа; W = 7,64%; p = 2360 кг/м³	
91.	Зола-уноса (ЗУ)	ПЦ, 3, Вода, ЖП коричневый 5% от массы вяжущего	Рсж = 32,97 МПа; W = 6,87%; p = 2290 кг/м³	
92.		ПЦ, 3, Вода, ЗУ 25% от массы цемента	Рсж = 21,77 МПа; W = 9,01%; p = 2240 кг/м³	[13]
93.		ПЦ, 3, Вода, ЖП красный 5% от массы цемента, ЗУ 25% от массы цемента	Рсж = 22,16 МПа; W = 8,53%; p = 2280 кг/м³	
94.		ПЦ, 3, Вода, ЖП желтый 5% от массы цемента, ЗУ 25% от массы цемента	Рсж = 18,59 МПа; W = 8,86%; p = 2340 кг/м³	

91.		ПЦ, 3, Вода, ЖП коричневый 5% от массы цемента, ЗУ 25% от массы цемента	Рсж = 27,38 МПа; W = 8,33%; p = 2250 кг/м³	
92.	Серый цемент типа IASTMC150 (СЦ) Белый цемент типа I ASTM150 (Северный Ливан) (БЦ) Суперпластификатор Conplast 430 Fosroc (Германия) (СП) Крупный заполнитель (КП) Песок (П)	Бетон Номинальная прочность на сжатие – 20 МПа; СЦ = 294 кг; В = 217 кг; В/Ц – 0,74; П = 730 кг; КП = 1041 кг	Бетон Усадка 5 см; Содержание воздуха 2,33 %; Сроки схватывания: начало – 256 мин. конец – 470 мин. Прочность бетонных образцов на растяжение при раскалывании = 2,10 МПа; Прочность на изгиб Риз = 3,20 МПа	[14]
93.		Номинальная прочность на сжатие – 40 МПа; СЦ = 430 кг; В = 205 кг; В/Ц – 0,48; П = 722 кг; КП = 960 кг; СП = 1 л/100 кг	Усадка 15 см; Содержание воздуха 2,5 %; Сроки схватывания: начало – 189 мин. конец – 279 мин. Прочность бетонных образцов на растяжение при раскалывании = 2,71 МПа; Риз = 5,72 МПа	
94.		Номинальная прочность на сжатие – 60 МПа; СЦ = 630 кг; В = 193 кг; В/Ц – 0,31; П = 594 кг; КП = 1007 кг; СП = 2 л/100 кг	Усадка 25 см; Содержание воздуха 2,4 %; Прочность бетонных образцов на растяжение при раскалывании = 3,34 МПа; Риз = 7,44 МПа	
95.		Номинальная прочность на сжатие – 20 МПа; БЦ = 294 кг; В = 217 кг; В/Ц – 0,74; П = 730 кг; КП = 1041 кг;	Усадка 8,5 см; Содержание воздуха 2,35 %; Сроки схватывания: начало – 155 мин. конец – 230 мин. Прочность бетонных образцов на растяжение при раскалывании = 1,81 МПа; Риз = 3,28 МПа	
96.		Номинальная прочность на сжатие – 40 МПа; БЦ = 430 кг; В = 205 кг; В/Ц – 0,48; П = 722 кг; КП = 960 кг; СП = 1 л/100 кг	Усадка 25 см; Содержание воздуха 2,1 %; Сроки схватывания: начало – 180 мин. конец – 240 мин. Прочность бетонных образцов на растяжение при раскалывании = 2,61 МПа; Риз = 5,83 МПа	
97.		Номинальная прочность на сжатие – 60 МПа; БЦ = 630 кг; В = 193 кг; В/Ц – 0,31; П = 594 кг; КП = 1007 кг; СП = 2 л/100 кг	Усадка 25 см; Содержание воздуха 2,5 %; Прочность бетонных образцов на растяжение при раскалывании = 2,97 МПа; Риз = 8,26 МПа	
98.	Белый портландцемент 42,5 Турция (БЦ) Дробленый белый мрамор фракций: – мелкая 5 мм (ММ) – средняя 7-15 мм (СМ) – крупная 15-25 мм (КМ)	Бетон БЦ = 312 кг/м³; ММ = 1050 кг/м³; СМ = 455 кг/м³; КМ = 275 кг/м³; В = 171 кг/м³	Бетон Усадка 9 см; Рсж = 35,5 МПа	[15]
99.	Мелкодисперсная пемза (МП) Микрокремнезем Антальяского электрометаллургического завода (МК)	БЦ = 351 кг/м³; ММ = 1050 кг/м³; СМ = 455 кг/м³; КМ = 275 кг/м³; В = 185 кг/м³	Усадка 8 см; Рсж = 36,0 МПа	
100.		БЦ = 383 кг/м³; ММ = 1050 кг/м³; СМ = 455 кг/м³; КМ = 275 кг/м³; В = 196 кг/м³	Усадка 7 см; Рсж = 44,9 МПа	
101.		БЦ = 312 кг/м³; ММ = 1050 кг/м³; СМ = 725 кг/м³; В = 180 кг/м³	Усадка 8 см; Рсж = 27,0 МПа	
102.		БЦ = 351 кг/м³; ММ = 1050 кг/м³; СМ = 725 кг/м³; В = 194 кг/м³	Усадка 8 см; Рсж = 36,9 МПа	
103.		БЦ = 383 кг/м³; ММ = 1050 кг/м³; СМ = 725 кг/м³; В = 210 кг/м³	Усадка 9 см; Рсж = 43,0 МПа	
104.		БЦ = 150 гр; МП = 1000 гр; В/Ц 50%	Рсж = 12,0 МПа	
105.		БЦ = 250 гр; МП = 1000 гр; ЗУ = 100 гр; В/Ц 50%	Рсж = 9,5 МПа	
106.		БЦ = 150 гр; МП = 1000 гр; ЗУ = 100 гр; В/Ц 43%; СП = 1%	Рсж = 14,5 МПа	
107.		БЦ = 150 гр; МП = 1000 гр; МК = 100 гр; В/Ц 50%	Рсж = 9,5 МПа	
108.	Днепропетровский шлак (ДШ) Негигроскопичный метасиликат натрия Отбеливающие добавки каолин класса КН 84 (90%) и каолин класса КН 84 (84%) Песок Гусаровского месторождения Харьковской области	Бетон Днепропетровский шлак (ДШ) Негигроскопичный метасиликат натрия Отбеливающие добавки каолин класса КН 84 (90%) и каолин класса КН 84 (84%) Песок Гусаровского месторождения Харьковской области	Бетон Рсж = 57,0 МПа Степень белизны 89,4 %	[16]
109.	Портландцемент М400 – серый (СЦ) – белый (БЦ)	Бетон ЦЦ = 600 кг/м³; КП = 1410 кг/м³; В = 305 л/м³	Бетон Подвижность 5 см; Рсж = 16,7 МПа; p = 2150 кг/м³; Водопоглощение 8,4%	[17]
110.	Кварцевый песок	БЦ = 407 кг/м³; КП = 488 кг/м³; ГЦ = 1342 кг/м³; В = 205 л/м³	Подвижность 5 см; Рсж = 17,1 МПа; p = 2215 кг/м³; Водопоглощение 8,1%	
111.	Мкр = 2-3 (КП)	БЦ = 370 кг/м³; КП = 750 кг/м³; ИЩ = 1125 кг/м³; В = 192 л/м³	Подвижность 6 см; Рсж = 16,4 МПа; p = 2035 кг/м³; Водопоглощение 8,6%	
112.	Щебень фракции 5-10 мм – известняковый (ИЩ) – гранитный (ГЩ)	БЦ = 442 кг/м³; КП = 1430 кг/м³; КГ = 1430 кг/м³; В = 272 л/м³	Подвижность 5 см; Рсж = 17,6 МПа; p = 2310 кг/м³; Водопоглощение 8,8%	
113.	Крошка гранитная 0,63-1,25 мм (КГ)	СЦ = 302 кг/м³; КП = 407 кг/м³; ИЩ = 1450 кг/м³; В = 278 л/м³	Подвижность 6 см; Рсж = 15,8 МПа; p = 2100 кг/м³; Водопоглощение 9,1 %	
114.	Портландцемент М400 (ПЦ) Тонкомолотая добавка (молодой шлакопемзовый песок) (ТД) Шлакопемзовый песок (ШП) Гранулированный доменной шлак (ГШ)	Бетон ПЦ = 16,9 мас.%; ТД = 15,8 мас.%; ШП = 67,3 мас.%	Бетон Влажность 3 мас.%; Рсж = 22 МПа; p = 1720 кг/м³; Водопоглощение 14 %; Коэффициент теплопроводности образца в сухом состоянии КТП = 0,326 Вт/(м·°C); Морозостойкость 300 циклов; Цвет бетона – серый; Класс прочности В15	[18]
115.	Гранитный щебень фракции (ГЩ) Пигмент – капут-мортум (ПК) – венецианская красная (ПВК)	ПЦ = 16,9 мас.%; ТД = 15,8 мас.%; ШП = 67,3 мас.%; ПК = 3 мас.%; ПВК = 3 мас.%	Влажность 1,2/1,4 мас.%; Рсж = 22,5/23,3 МПа; p = 1880/1920 кг/м³; Водопоглощение 13,9/13,8 %; Морозостойкость 305/310 циклов; Цвет бетона – бордовый светлых тонов/розовый светлых тонов; Класс прочности В15	
116.		ПЦ = 16,9 мас.%; ТД = 15,8 мас.%; ШП = 67,3 мас.%; ПК = 6 мас.%; ПВК = 6 мас.%	Влажность 1,6/1,0 мас.%; Рсж = 24,5/27,7 МПа; p = 1990/1910 кг/м³; Водопоглощение 13,3/12,8 %; КТП = – /0,394 Вт/(м·°C); Морозостойкость 315/315 циклов; Цвет бетона – бордовый/малиновый; Класс прочности В15	
117.		ПЦ = 16,9 мас.%; ТД = 15,8 мас.%; ШП = 67,3 мас.%; ПК = 9 мас.%; ПВК = 9 мас.%	Влажность 1,5/1,3 мас.%; Рсж = 22,6/25,6 МПа; p = 1910/1910 кг/м³; Водопоглощение 13,6/13,6 %; Морозостойкость 310/310 циклов; Цвет бетона – насыщенный	

			бордовый/ насыщенный розово-красный; Класс прочности В15	
118.		ПЦ = 20,3 мас.%; ТД = 18,2 мас.%; ГШ = 61,5 мас.%	Влажность 4,2 мас.%; Рсж = 23,0 МПа; $p = 1700 \text{ кг/м}^3$; Водопоглощение 18,6 %; КТП = 0,455 Вт/(м·°C); Морозостойкость 300 циклов; Цвет бетона – серый; Класс прочности В15	
119.		ПЦ = 20,3 мас.%; ТД = 18,2 мас.%; ГШ = 61,5 мас.%; ПВК = 3 мас.%	Влажность 3,3 мас.%; Рсж = 25,7 МПа; $p = 1950 \text{ кг/м}^3$; Водопоглощение 16,6 %; Морозостойкость 310 циклов; Цвет бетона – розовый светлых тонов; Класс прочности В15	
120.		ПЦ = 20,3 мас.%; ТД = 18,2 мас.%; ГШ = 61,5 мас.%; ПВК = 6 мас.%	Влажность 2,7 мас.%; Рсж = 29 МПа; $p = 1960 \text{ кг/м}^3$; Водопоглощение 16,3 %; Морозостойкость 315 циклов; Цвет бетона – малиновый; Класс прочности В20	
121.		ПЦ = 20,3 мас.%; ТД = 18,2 мас.%; ГШ = 61,5 мас.%; ПВК = 9 мас.%	Влажность 1,6 мас.%; Рсж = 28 МПа; $p = 1960 \text{ кг/м}^3$; Водопоглощение 17 %; Морозостойкость 310 циклов; Цвет бетона – насыщенный розово-красный; Класс прочности В20	
122.	Белый цемент ОАО «Щуровский цемент» (Ц) Песок (П) Щебень (Щ) Добавка С-3	Бетон Ц = 266 кг/м³; П = 710 кг/м³; Щ = 1184 кг/м³; В = 195 кг/м³; В/Ц = 0,73	Бетон $p = 2355 \text{ кг/м}^3$ через 30 мин. после изг.; Осадка конуса, через – 5 мин. = 8 см, – 30 мин. = 5 см, – 60 мин. = 2 см; Рсж = 22,9 МПа; Марка по морозостойкости F100	[19]
123.		Ц = 303 кг/м³; П = 650 кг/м³; Щ = 1215 кг/м³; В = 200 кг/м³; В/Ц = 0,66	$p = 2368 \text{ кг/м}^3$ через 30 мин. после изг.; Осадка конуса, через – 5 мин. = 10 см, – 30 мин. = 6 см, – 60 мин. = 3 см; Рсж = 28,5 МПа; Марка по морозостойкости F150	
124.		Ц = 300 кг/м³; П = 712 кг/м³; Щ = 1230 кг/м³; В = 162 кг/м³; В/Ц = 0,54; С-3 = 0,8 %	$p = 2404 \text{ кг/м}^3$ через 30 мин. после изг.; Осадка конуса, через – 5 мин. = 14 см, – 30 мин. = 5 см, – 60 мин. = 2 см; Рсж = 38,2 МПа; Марка по морозостойкости F200	
125.		Ц = 393 кг/м³; П = 646 кг/м³; Щ = 1141 кг/м³; В = 210 кг/м³; В/Ц = 0,53	$p = 2390 \text{ кг/м}^3$ через 30 мин. после изг.; Осадка конуса, через – 5 мин. = 12 см, – 30 мин. = 8 см, – 60 мин. = 4 см; Рсж = 36,4 МПа; Марка по морозостойкости F200	
126.		Ц = 560 кг/м³; П = 1560 кг/м³; В = 165 кг/м³; В/Ц = 0,29	$p = 2285 \text{ кг/м}^3$; Коэфф.уплот. 0,95; Водопоглощение 5%; Рсж = 47 МПа; Марка по морозостойкости F200	
127.		Ц = 556 кг/м³; П = 1550 кг/м³; В = 164 кг/м³; В/Ц = 0,29	$p = 2270 \text{ кг/м}^3$; Коэфф.уплот. 0,91; Водопоглощение 5,5%; Рсж = 45,8 МПа; Марка по морозостойкости F200	
128.		Ц = 544 кг/м³; П = 1516 кг/м³; В = 160 кг/м³; В/Ц = 0,29	$p = 2220 \text{ кг/м}^3$; Коэфф.уплот. 0,91; Водопоглощение 8 %; Рсж = 26,3 МПа; Марка по морозостойкости F100	
129.	Цемент белый египетский 52,5 СЕМ (Ц) Известняк молотый, плотный, дробимостью Д1000 (И)	Бетон Ц = 700 кг/м³; И = 300 кг/м³; П = 700 кг/м³; ПЗ = 470 кг/м³; ГП = 7 кг/м³ (1%); В = 200 кг/м³	Бетон Стоимость компонентов 10 751 руб./м³	[20]
130.	Песок тонкозернистый известняковый, фракции 0,16-0,63 мм (П) Песок-заполнитель известняковый, фракции 0,63-2,5 (5,0) мм (ПЗ) Гиперпластификатор Melfux 5581 (ГП)	Ц = 400 кг/м³; И = 350 кг/м³; П = 620 кг/м³; ПЗ = 1040 кг/м³; ГП = 4 кг/м³ (1%); В = 163 кг/м³	Стоимость компонентов 6 855 руб./м³ <i>Оценивалась сравнительная стоимость компонентов бетонных смесей ПАПБ с гиперпластификатором Melfux с различным содержанием их в 1 м³ бетона</i>	
131.	Цемент белый египетский 52,5 СЕМ (Ц) Пигмент красный (ПК) Гиперпластификатор Melfux 5581 (ГП) Известняк молотый Суд. = 3700 см²/г (И) Песок тонкозернистый известняковый, фракции 0,16-0,63 мм (П) Песок-заполнитель известняковый, фракции 0,63-2,5 (5,0) мм (ПЗ)	Бетон Ц = 730 кг/м³ ПК = 36 кг/м³ (5% от Ц) ГП = 7 кг/м³ (1% от Ц) И = 300 кг/м³ П = 700 кг/м³ ПЗ = 470 кг/м³ В = 195 кг/м³	Бетон Рсж = 144 МПа Риз = 19,7 МПа рвл 1сут. = 2454 кг/м³ Куп = 0,993 Расплав конуса 28 см	[21]
132.	Гиперпластификатор Melfux (ГП) Пластификатор Melment (П) Суспензия микрокремнезема (СМ) Минеральные шлаковые и карбонатные порошки Эфиры целлюлозы Mcellose (СД) Известняковый наполнитель Суд. = 500 см²/г (И)	Бетон СМ от 10 до 15% от массы цемента СД 0,1 % от массы цемента <i>Состав полностью не раскрыт</i>	Бетон При ГП = 0,4 % Рсж = 37 МПа Расплав конуса = 70 см При П = 0,425 % Рсж = 50,5 МПа Расплав конуса = 67 см	[22]
133.	Цемент белый египетский Aalborg I 52,5 N СЕМ (Ц) Фотолуминесцентный пигмент (ФП)	Бетон В/Ц = 0,42; ФП = 0 % от массы Ц	Бетон $p = 2363 \text{ кг/м}^3$; Рсж = 55,3 МПа; Марка по морозостойкости F200	[23]
134.		В/Ц = 0,40; ФП = 5 % от массы Ц	$p = 2363 \text{ кг/м}^3$; Рсж = 55,0 МПа; Марка по морозостойкости F200	
135.		В/Ц = 0,45; ФП = 10 % от массы Ц	$p = 2360 \text{ кг/м}^3$; Рсж = 54,9 МПа; Марка по морозостойкости F200	
136.		В/Ц = 0,45; ФП = 15 % от массы Ц	$p = 2350 \text{ кг/м}^3$; Рсж = 32,3 МПа; Марка по морозостойкости F100	
137.		В/Ц = 0,44; ФП = 20 % от массы Ц	$p = 2364 \text{ кг/м}^3$; Рсж = 28,5 МПа; Марка по морозостойкости F100	
138.	Серый цемент марки ПЦ500ДО (СЦ) Речной песок асиновского месторождения Мк = 1,5-2,0 (П)	Бетон В/Т = 0,2; Ц:П = 30:70	Бетон Рсжпропар. = 25,4 МПа; Рсж пропар. 28 сут. = 28,2 МПа; Рсж н.т. 28 сут. = 51,5 МПа; Цвет – серый	[24]

139.	Пигмент из железосодержащего шлама (ЖСШ) красный	В/Т = 0,2; Ц:П = 30:70; ЖСШ = 2%	Рсжпропар. = 26,4 МПа; Рсж пропар.28 сут. = 26,1 МПа; Рсж н.т.28 сут. = 52,8 МПа; Цвет – серо-розовый (бледный)	
140.		В/Т = 0,21; Ц:П = 30:70; ЖСШ = 3%	Рсжпропар. = 21,9 МПа; Рсж пропар.28 сут. = 26,6 МПа; Рсж н.т.28 сут. = 44,6 МПа; Цвет – серо-розовый	
141.		В/Т = 0,21; Ц:П = 30:70; ЖСШ = 4%	Рсжпропар. = 19,1 МПа; Рсж пропар.28 сут. = 31,2 МПа; Рсж н.т.28 сут. = 40,9 МПа; Цвет – светло-красный	
142.		В/Т = 0,22; Ц:П = 30:70; ЖСШ = 8%	Рсжпропар. = 17,6 МПа; Рсж пропар.28 сут. = 26,5 МПа; Рсж н.т.28 сут. = 33,1 МПа; Цвет – красный	
143.	Портландцемент белый ГОСТ 965-89 (ПЦ) Песок фракции 2,5-5мм (Люберецкий и Воронежский карьеры) (П) Пигмент Пластификатор С-3	Бетон В/Ц = 0,34; ПЦ = 469 кг/м³; П = 1641 кг/м³; В = 159 кг/м³	Бетон ОК = 14 см; р = 2288 кг/м³; Воздухововлечение = 4,5%; Рсж. = 81,0 МПа	[25]
144.		В/Ц = 0,35; ПЦ = 471 кг/м³; П = 1649 кг/м³; В = 165 кг/м³	ОК = 16 см; р = 2295 кг/м³; Воздухововлечение = 5,6%; Рсж. = 84,0 МПа	
145.		В/Ц = 0,34; ПЦ = 468 кг/м³; П = 1637 кг/м³; В = 161 кг/м³	ОК = 18 см; р = 2281 кг/м³; Воздухововлечение = 5,8%; Рсж. = 84,4 МПа	
146.		В/Ц = 0,38; ПЦ = 466 кг/м³; П = 1628 кг/м³; В = 179 кг/м³	ОК = 23 см; р = 2272 кг/м³; Воздухововлечение = 5,8%; Рсж. = 84,4 МПа	
147.		В/Ц = 0,37; ПЦ = 467 кг/м³; П = 1632 кг/м³; В = 174 кг/м³	ОК = 21 см; р = 2275 кг/м³; Воздухововлечение = 5,8%; Рсж. = 84,4 МПа	
148.	Портландцементный клинкер Твердый модификатор Наполнители (гипс и пигменты) Заполнители Функциональные добавки	–	Бетон Рсж. = 30,0 МПа Класс бетона 30В Морозостойкость 200 циклов Водопоглощение до 5%	[26]
149.	Портландцемент марки ЦЕМ I 42,5 Н (ПЦ) Песок (П) Суперпластификатор «Реламикс» (СП) Золь нанокремнезема (ЗН) Микрокремнезем (М)	Бетон ПЦ = 24,7 мас.%; П = 65,3725 мас.%; СП = 0,2 мас.%; ЗН = 0,0025 мас.%; М = 1,3 мас.%; БС = 0,025 мас.%; В = 8,4 мас.%	Бетон Рсж = 30,9 МПа; Водопоглощение 2,4 %	[27]
150.		ПЦ = 18,65-22,93 мас.%; С-3 = 0,18 – 0,23 мас.%; ГП = 74,53 – 68,8 мас.%; НД = 0,005-0,02 мас.%	Рсж = 54,8 МПа; Водопоглощение 2,2 %	
151.	Белая сажа (БС) Глауконитовый песок (ГП) Суперпластификатор С-3 Наномодифицирующая добавка, содержащая золь кремниевой кислоты (НД) Портландцемент общестроительного класса ЦЕМ I 52,5 Н (марки ПЦ 500-Д0-Н) (Ц) Природный речной кварцевый песок (П) Мк=2,65, ри=2,64 г/м³, ри=1,55 г/м³ Добавка ЛинамиксПК.(Л) Микрокремнезем - средним размером 0,1 мкм и удельной поверхностью 16-22 м²/г.(М) Золь нанокремнезема SiO₂:SiO₂ - 22,5%, ρ=1,14 г/см³. Минимальный размер составил 45 нм и средний размер 60 нм.(З) Белая сажа марки с массовой долей оксида кремния SiO₂ не менее 76% (БС)	Ц = 22,12 мас.%; В = 5,76 мас.%; З = 0,345 мас.%; М = 1,991 мас.%; БС = 0,044 мас.%; Л = 3,384 мас.%; П = 66,36 мас.%	Подвижность смеси 12,4 см; Рсж = 82,3 МПа; Пористость = 4,3 %; Водопоглощение 2,1 %	
152.	Серый портландцемент стандарта EN197 – 1/2000 (Ц) Белый цемент Амман, Иордания (БЦ) Смесь мелкого известняка и природного кварцевого песка (СИ) Крупнозернистый известняк макс.фр. 19 мм (КИ) Поликарбонатовый эфир HRWR Structo-W450 (СП)	Бетон В/Ц = 0,45; Ц = 450 кг/м³; СИ = 850 кг/м³; КИ = 743 кг/м³; В = 203 кг/м³; СП = 5,4 кг/м³	Бетон Рсж = 58,0 МПа; Расплав конуса от 68 до 70 см	[28]
153.		В/Ц = 0,45; Ц = 405 кг/м³; БЦ = 45 кг/м³; СИ = 850 кг/м³; КИ = 743 кг/м³; В = 203 кг/м³; СП = 6 кг/м³	Рсж = 51,8 МПа; Расплав конуса от 68 до 70 см	
154.		В/Ц = 0,45; Ц = 383 кг/м³; БЦ = 67 кг/м³; СИ = 850 кг/м³; КИ = 743 кг/м³; В = 203 кг/м³; СП = 6,5 кг/м³	Рсж = 42,4 МПа; Расплав конуса от 68 до 70 см	
155.		В/Ц = 0,45; Ц = 360 кг/м³; БЦ = 90 кг/м³; СИ = 850 кг/м³; КИ = 743 кг/м³; В = 203 кг/м³; СП = 7 кг/м³	Рсж = 41,8 МПа; Расплав конуса от 68 до 70 см	
156.		В/Ц = 0,45; Ц = 337 кг/м³; БЦ = 113 кг/м³; СИ = 850 кг/м³; КИ = 743 кг/м³; В = 203 кг/м³; СП = 11,25 кг/м³	Рсж = 39,5 МПа; Расплав конуса от 68 до 70 см Ом-м	
157.	Белый портландцемент (БЦ) Молотый гранулированный доменной шлак (Ш) Химический активатор Na₂SO₄ с 4% связующим (50 ASW) Модифицированный карбонатовый эфир (П) Мелкий заполнитель из речного песка (З)	Бетон В/Ц = 0,42; БЦ = 415 кг/м³; З = 706 кг/м³; БЗ = 1038 кг/м³; П = 0,33	Бетон Рсж = 47,2 МПа; Электрическое сопротивление = 107,8 Ом-м	[29]
158.		В/Ц = 0,42; БЦ = 208 кг/м³; Ш = 208 кг/м³; З = 696 кг/м³; БЗ = 1042 кг/м³; П = 0,27	Рсж = 38,2 МПа; Электрическое сопротивление = 442,2 Ом-м	
159.		В/Ц = 0,42; БЦ = 125 кг/м³; Ш = 292 кг/м³; З = 693 кг/м³; БЗ = 1043 кг/м³; П = 0,29	Рсж = 48,4 МПа; Электрическое сопротивление = 782,5 Ом-м	

	Крупный базальтовый заполнитель (БЗ)			
160.	Белый портландцемент типа ВР142,5 (БЦ)	Бетон БЦ = 500 кг/м³; СП = 8,9 кг/м³; В = 155 кг/м³; К1 = 800 кг/м³; К2 = 100 кг/м³; П1 = 400 кг/м³; П2 = 400 кг/м³	Бетон Расплав конуса 720 мм; Рсж = 72,6 МПа	[30]
161.	Известняковый дробленый наполнитель (И)	БЦ = 476 кг/м³; И = 24 кг/м³; СП = 8,5 кг/м³; В = 158 кг/м³; К1 = 800 кг/м³; К2 = 100 кг/м³; П1 = 395 кг/м³; П2 = 395 кг/м³	Расплав конуса 700 мм; Рсж = 70,3 МПа	
162.	Микрокремнезем (М)	БЦ = 416 кг/м³; И = 84 кг/м³; СП = 7,4 кг/м³; В = 161 кг/м³; К1 = 800 кг/м³; К2 = 95 кг/м³; П1 = 390 кг/м³; П2 = 390 кг/м³	Расплав конуса 690 мм; Рсж = 66,9 МПа	
163.	Крупный заполнитель двух фракций (К1 и К20)	БЦ = 476 кг/м³; М = 24 кг/м³; СП = 12,5 кг/м³; В = 175 кг/м³; К1 = 800 кг/м³; К2 = 76 кг/м³; П1 = 375 кг/м³; П2 = 375 кг/м³	Расплав конуса 710 мм; Рсж = 81,4 МПа	
	Природный кремнеземистый песок (П1 и П2) двух разных фракций			
	Суперпластификатор поликарбоксилатного типа (СП)			
3. Состав и свойства композиционных вяжущих, применение которых возможно для производства МАФ				
164.	“Лежалый” фосфогипс (Ф)	Вяжущее Ф к И = 2:1; П 10%; В 2:1	Вяжущее Рсж = 13,2 МПа; Риз = 3,0 МПа	[31]
165.	Негашеная известь СаО (И)	Ф к И = 2:1; П 10%; В 2:1; ЖС 10%	Рсж = 19,6 МПа; Риз = 2,9 МПа	
166.	Песок Базарно-Карабулакского месторождения с низким модулем крупности Мкр= 1,13, с насыпной плотностью 1310 кг/м³, содержанием глинистых частиц 0,9 % (П)	Ф к И = 2:1; П 10%; В 2:1; ЖС 5%; БВ 1%	Рсж = 16,4 МПа; Риз = 2,9 МПа	
	Жидкое натриевое стекло использовали как модифицирующую добавку (ЖС)			
	Базальтовое волокно с диаметром нити 9–17 мкм, плотностью 2800–3000 кг/м³, Рраст. 2600–3200 МПа. (БВ)			
167.	Портландцемент серый и белый (ПЦс и ПЦб)	Вяжущее ПЦс = 80%; КВП = 20% ; В/Ц = 0,37	Вяжущее Проводился подбор оптимальной дозировки пластификатора	[32]
168.	Мел (М)	ПЦб = 80%; КВП = 20% ; В/Ц = 0,37	СП = 0,58%; Расплав конуса = 170 мм	
169.	Отсев дробления кварцпесчаника (КВП)	ПЦс = 80%; М = 20%; В/Ц = 0,37	СП = 0,65%; Расплав конуса = 160 мм	
170.	Суперпластификатор (СП)	ПЦб = 80%; М = 20%; В/Ц = 0,37	СП = 0,80%; Расплав конуса = 180 мм	
171.		ПЦс = 60%; КВП = 40%; В/Ц = 0,37	СП = 0,82%; Расплав конуса = 187 мм	
172.		ПЦс = 60%; КВП = 20%; М = 20%; В/Ц = 0,37	СП = 0,48%; Расплав конуса = 145 мм	
173.		ПЦб = 60%; КВП = 20%; М = 20%; В/Ц = 0,37	СП = 0,62%; Расплав конуса = 182 мм	
174.		ПЦб = 60%; М = 40%; В/Ц = 0,37	СП = 0,80%; Расплав конуса = 185 мм	
175.	Белый клинкер ОАО «Щуровский цемент» (Ц)	Вяжущее В/Ц = 0,24; С-3 = 2%; Рецептура портландцементов цветных (ППЦ) – Желудь. Коричневый	Вяжущее Проход через сито №008 = 99,0 %; Расплав стандартного конуса 112 мм; Удельная поверхность 630 м²/кг ПСХ-2; Н.Г. = 17,0%; Сроки схватывания, час-минута начало 0-30, конец 0-45 Рсж28 = 51,0 МПа; Риз28 = 6,54 МПа	[33] [34] [35]
176.	Суперпластификатор нафталинового ряда С-3	В/Ц = 0,24; С-3 = 2%; Рецептура портландцементов цветных (ППЦ) – Гладиолус. Красно-терракотовый	Проход через сито №008 = 99,6 %; Расплав стандартного конуса 108 мм; Удельная поверхность 404 м²/кг ПСХ-2; Н.Г. = 17,5%; Сроки схватывания, час-минута начало 0-30, конец 0-45 Рсж28 = 54,0 МПа; Риз28 = 6,66 МПа	
177.		В/Ц = 0,25; С-3 = 2%; Рецептура портландцементов цветных (ППЦ) – Чайная роза. Ярко-красный	Проход через сито №008 = 100,0 %; Расплав стандартного конуса 115 мм; Удельная поверхность 689 м²/кг ПСХ-2; Н.Г. = 17,0%; Сроки схватывания, час-минута начало 0-30, конец 0-45 Рсж28 = 51,4 МПа; Риз28 = 6,57 МПа	
178.		В/Ц = 0,24; С-3 = 2%; Рецептура портландцементов цветных (ППЦ) – Георгина. Красный	Проход через сито №008 = 99,2 %; Расплав стандартного конуса 109 мм; Удельная поверхность 480 м²/кг ПСХ-2; Н.Г. = 17,0%; Сроки схватывания, час-минута начало 0-30, конец 0-45 Рсж28 = 52,2 МПа; Риз28 = 8,80 МПа	
179.		В/Ц = 0,25; С-3 = 2%; Рецептура портландцементов цветных (ППЦ) – Подсолнух. Охристо-желтый	Проход через сито №008 = 99,6 %; Расплав стандартного конуса 107 мм; Удельная поверхность 667 м²/кг ПСХ-2; Н.Г. = 18,5%; Сроки схватывания, час-минута начало 0-30, конец 0-45 Рсж28 = 50,7 МПа; Риз28 = 6,52 МПа	
180.		В/Ц = 0,24; С-3 = 2%; Рецептура портландцементов цветных (ППЦ) – Золотые шары. Желтый	Проход через сито №008 = 98,7 %; Расплав стандартного конуса 115 мм; Удельная поверхность 653 м²/кг ПСХ-2; Н.Г. = 17,0%; Сроки схватывания, час-минута начало 0-30, конец 0-45 Рсж28 = 51,0 МПа; Риз28 = 8,03 МПа	
181.		В/Ц = 0,23; С-3 = 2%; ППЦ – Зеленый сад. Темно-зеленый	Проход через сито №008 = 100,0 %; Расплав стандартного конуса 114 мм; Удельная поверхность 679 м²/кг ПСХ-2; Н.Г. = 17,0%; Сроки схватывания, час-минута начало 0-35, конец 0-55 Рсж28 = 51,9 МПа; Риз28 = 6,57 МПа	
182.		В/Ц = 0,23; С-3 = 2%; ППЦ – Весенняя листва. Ярко-зеленый	Проход через сито №008 = 100,0 %; Расплав стандартного конуса 115 мм; Удельная поверхность 763 м²/кг ПСХ-2; Н.Г. = 17,0%; Сроки схватывания, час-минута начало 0-30, конец 0-45 Рсж28 = 50,8 МПа; Риз28 = 9,21 МПа	
183.		В/Ц = 0,23; С-3 = 2%; ППЦ – Фиروزа. Бирюзовый	Проход через сито №008 = 98,0 %; Расплав стандартного конуса 115 мм; Удельная поверхность 478 м²/кг ПСХ-2; Н.Г. = 17,0%; Сроки схватывания, час-минута начало 0-30, конец 0-45	

184.		В/Ц = 0,24; С-3 = 2%; ППЦ– Василек. Ярко-голубой	Рсж28 = 54,1 МПа; Рнз28 = 8,68 МПа Проход через сито №008 = 98,0 %; Расплав стандартного конуса 115 мм; Удельная поверхность 489 м²/кг ПСХ-2; Н.Г. = 17,5%; Сроки схватывания, час-минута начало 0-30, конец 0-45 Рсж28 = 52,0 МПа; Рнз28 = 6,96 МПа	
185.		В/Ц = 0,25; С-3 = 2%; ППЦ– Сирень махровая. Фиолетовый.	Проход через сито №008 = 99,8 %; Расплав стандартного конуса 115 мм; Удельная поверхность 610 м²/кг ПСХ-2; Н.Г. = 17,0%4 Сроки схватывания, час-минута начало 0-30, конец 0-45 Рсж28 = 50,8 МПа; Рнз28 = 6,53 МПа	
186.		В/Ц = 0,24; С-3 = 2%; ППЦ– Черная ночь. Черный	Проход через сито №008 = 99,0 %; Расплав стандартного конуса 110 мм; Удельная поверхность 645 м²/кг ПСХ-2; Н.Г. = 17,5%; Сроки схватывания, час-минута начало 0-35, конец 0-55 Рсж28 = 52,5 МПа; Рнз28 = 6,6 МПа	
187.		В/Ц = 0,24; С-3 = 2%; ППЦ– Хризантема. Белый окрашенный	Проход через сито №008 = 99,2 %; Расплав стандартного конуса 110 мм; Удельная поверхность 480 м²/кг ПСХ-2; Н.Г. = 17,5%; Сроки схватывания, час-минута начало 0-35, конец 0-55 Рсж28 = 56,1 МПа; Рнз28 = 9,58 МПа	
188.	Белый цемент ТХ Millenium (БЦ) Белый метакралин (со специ- альным компатибилизиру- ющим агентом) (БМ) Дробленый мрамор d20 мм (ДМ) Акриловый суперпластифика- тор – раствор 30%, сухой экс- тракт (СП)	Вязущее БЦ = 380 кг/м³ БМ = 38,7 кг/м³ ДМ = 1850 кг/м³ СП = 10,5 кг/м³ В = 160 л/м³	Вязущее Рсж = 86,2 МПа Рнз = 10,4 МПа Косвенная прочность на растяжение = 7,0 МПа Един = 44,6 Гпа Естат = 41,0 Гпа	[36]
189.	Белый портландцемент (БЦ)	Вязущее БЦ = 117,6 кг/м³; Д20 = 68,7 кг/м³; Д40 = 386,6 кг/м³; Д80 = 106,4 кг/м³; В = 319,0 кг/м³	Вязущее Изменение цвета растворов после 41 месяца испытаний (после промывки)	[37]
190.	Доломит №20 (Д20) Доломит №40 (Д40) Доломит №80 (Д80) Добавка n-TiO₂ (Д)		Различие яркости цвета в начале экспозиции и через 41 месяц ΔL = значимое различие в восприятии цвета к вос- приятию яркости Различие насыщенности цвета в начале экспозиции и че- рез 41 месяц Δa = существенных различий в восприятии цвета к насыщенности не отмечается	
191.		БЦ = 116,1 кг/м³; Д20 = 67,9 кг/м³; Д40 = 381,8 кг/м³; Д80 = 105,0 кг/м³; В = 322,1 кг/м³; Д = 1% = 5,4 кг/м³	ΔL = менее значимое различие в восприятии цвета к вос- приятию яркости Δa = существенных различий в восприятии цвета к насы- щенности не отмечается	
192.		БЦ = 106,9 кг/м³; Д20 = 62,5 кг/м³; Д40 = 351,5 кг/м³; Д80 = 96,7 кг/м³; В = 355,9 кг/м³; Д = 5% = 25,0 кг/м³	ΔL = существенное различие в восприятии цвета к вос- приятию яркости Δa = существенных различий в восприятии цвета к насы- щенности не отмечается	
193.		БЦ = 99,2 кг/м³; Д20 = 58,0 кг/м³; Д40 = 326,1 кг/м³; Д80 = 89,7 кг/м³; В = 379,2 кг/м³; Д = 10% = 46,3 кг/м³	ΔL = существенное различие в восприятии цвета к вос- приятию яркости Δa = существенных различий в восприятии цвета к насы- щенности не отмечается	
194.	Белый цемент I 52,5 R (БЦ) Песок фракции 0,1 мм (П) Микрокремнезем (М) Волокна Поливинилового спирта тонкого и среднего по- мола (ПСт и ПСс) Суперпластификатор (СП)	Вязущее В/Ц = 0,25; БЦ = 850 кг/м³; П = 1150 кг/м³; М = 140 кг/м³; ПСт = 2 кг/м³; ПСс = 3 кг/м³; В = 210 кг/м³; СП = 20 кг/м³	Вязущее Механические и физические свойства бетонных композитов определяли в возрасте 50 суток: Рсж = 133,0 МПа; Морозостойкость = 500 циклов; По- верхностное поглощение = 3,4 г/дм²	[38]
195.	Доменной шлак (ДШ) Гипс (Г) Отходы обогащения (О)	Вязущее ДШ = 28 мас. %; Г = 4 мас. %; О = 12 мас. %; Ш = 56 мас. %	Вязущее Рсж = 61,1 МПа; Рнз = 11,0 МПа; Морозостойкость 350 циклов	[39]
196.	Шлак от выплавки феррохрома (Ш)	ДШ = 35 мас. %; Г = 3 мас. %; О = 8 мас. %; Ш = 56 мас. %	Рсж = 72,1 МПа; Рнз = 12,0 МПа; Морозостойкость 360 циклов	
197.		ДШ = 39 мас. %; Г = 5 мас. %; О = 5 мас. %; Ш = 51 мас. %	Рсж = 72,1 МПа; Рнз = 12,3 МПа; Морозостойкость 360 циклов	
198.		ДШ = 3 мас. %; Г = 4 мас. %; О = 12 мас. %; Ш = 51 мас. %	Рсж = 58,3 МПа; Рнз = 8,0 МПа; Морозостойкость 300 циклов	
199.		ДШ = 33 мас. %; Г = 4 мас. %; О = 12 мас. %; Ш = 51 мас. %	Рсж = 62,0 МПа; Рнз = 8,1 МПа; Морозостойкость 330 циклов	
200.		ДШ = 33 мас. %; Г = 4 мас. %; О = 12 мас. %; Ш = 51 мас. %	Рсж = 60,0 МПа; Рнз = 8,1 МПа; Морозостойкость 340 циклов	
201.		ДШ = 39 мас. %; Г = 4 мас. %; О = 8 мас. %; Ш = 49 мас. %	Рсж = 43,9 МПа; Рнз = 7,7 МПа; Морозостойкость 280 циклов	
202.	Цемент М-400 (Ц) Красный железо-окисный пиг- мент (КЖО) Синий фталоциановый (СФ)	Вязущее Ц = 90 мас.%; Пигмент/кол-во = КЖО/10; Режим обработки в виброцентробежной мель- нице: g = 15; Заполнение шарами = 50%; Время по- мола 2 мин.	Вязущее Суд = 7800 см²/кг; Рсж = 480 МПа; Повышение интенсивности цвета по отношению к смеша- ным цементам 125 %	[40]
203.		Ц = 90 мас.%; Пигмент/кол-во = КЖО/10; Режим обработки в виброцентробежной мель- нице: g = 35; Заполнение шарами = 50%; Время по- мола 2 мин.	Суд = 8700 см²/кг; Рсж = 490 МПа; Повышение интенсивности цвета по отношению к смеша- ным цементам 135 %	
204.		Ц = 90 мас.%; Пигмент/кол-во = КЖО/10; Режим обработки в виброцентробежной мель- нице:	Суд = 9800 см²/кг; Рсж = 475 МПа; Повышение интенсивности цвета по отношению к смеша- ным цементам 145 %	

		g = 40; Заполнение шарами = 65%; Время по- мола 3 мин.	
205.		Ц = 90 мас.%; Пигмент/кол-во = КЖО/10; Режим обработки в виброцентробежной мель- нице: g = 50; Заполнение шарами = 75%; Время по- мола 4 мин.	Суд = 10800 см ² /кг; Рсж = 480 МПа; Повышение интенсивности цвета по отношению к смеша- ным цементам 155 %
206.		Ц = 90 мас.%; Пигмент/кол-во = СФ/1; Режим обработки в виброцентробежной мель- нице: g = 15; Заполнение шарами = 50%; Время по- мола 2 мин.	Суд = 7700 см ² /кг; Рсж = 480 МПа; Повышение интенсивности цвета по отношению к смеша- ным цементам 120 %
207.		Ц = 90 мас.%; Пигмент/кол-во = СФ/1; Режим обработки в виброцентробежной мель- нице: g = 40; Заполнение шарами = 50%; Время по- мола 2 мин.	Суд = 9500 см ² /кг; Рсж = 470 МПа; Повышение интенсивности цвета по отношению к смеша- ным цементам 150 %

**Полужирным начертанием выделены составы, указанные в публикациях как оптимальные.*

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Баженова О.Ю., Фетисова А.А., Щербенёва О.А. Мелкозернистые бетоны для архитектурных деталей и малых форм // Инновации и инвестиции. 2020. № 7. С. 144–147.

2. Баранова А.А., Боброва А.А., Рудых К.Н. Мелкодисперсный бетон для производства малых архитектурных форм // Современные технологии и научно-технический прогресс. 2017. Т. 1. С. 108–109.

3. Лесовик Р.В., Агеева М.С., Голиков В.Г., Фоменко Ю.В. Мелкозернистые бетоны для малых архитектурных форм // Строительные материалы. 2005. № 11. С. 66–68.

4. Лесовик В.С., Дегтев Ю.В., Воронов В.В. Вяжущие для малых архитектурных форм из самоуплотняющихся бетонов // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2014. № 5. С. 85–89.

5. Пат. 2217304, Российская Федерация, МПК В 28 В21/80. Способ изготовления архитектурно-строительных тел вращения из бетона / И.В. Автономов, А.В. Ришес, А.Г. Зайцев, С.М. Молоков, В.Л. Свиридов, В.И. Меселов; заявитель и патентообладатель ООО "Поиск". № 2002113152/03; заявл. 18.05.2002; опубл. 27.11.2003, Бюл. №33.

6. Баранов Е.В., Шелковникова Т.И., Хорунжий Т.М. Модифицированный декоративный мелкозернистый бетон с добавкой пластификатором и наполнителем // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2018. № 4. С. 13–19.

7. Щеткова Е.А., Кашеварова Г.Г. Исследование свойств модифицированного мелкозернистого декоративного бетона // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Прикладная экология. Урбанистика. 2017. № 3 (27). С. 143–151.

8. Мороз М.Н., Калашников В.И., Суздальцев О.В. Классификационные критерии формирования поверхности архитектурно-декоративных бетонов // Современные научные исследования и инновации. 2016. № 10 (66). С. 114–117.

9. Голова Т.А., Маггеррамова И.А., Давтян А.Р. Исследование свойств композиционных материалов на основе фосфогипса // Вестник Кыргызско-Российского Славянского университета. 2017. Т. 17. № 12. С. 77–79.

10. Ди Марино М., Нильсен Э.П., Би Ч.Ц. Сверхвысокопрочный бетон нового поколения Aalborg extreme на основе белого цемента // Цемент и его применение. 2019. № 4. С. 96–101.

11. Mansour G., Elyas Asadi Sh., Khodabakhshian A., Sourmeh F., de Brito J. Self-compacting architectural concrete production using red mud // Construction and Building Materials. 2019. № 226. Pp. 418–427.

12. Tamayo-García B., Albareda-Valls A., Rivera-Rogel A., Cornado C. Mechanical Characterization of a New Architectural Concrete with Glass-Recycled Aggregate // Buildings. 2019. №9(6). Pp. 1–11.

13. Hospodarova V., Junak J., Stevulova N. Color Pigments In Concrete And Their Properties // Pollack Periodica. 2015. №10(3). Pp.143–151.

14. Hamad B. Investigations of chemical and physical properties of white cement concrete // Advanced cement base materials. 2000. №2(4). Pp. 161–167.

15. Temiz H., M. Kose M., Murat Genc H. Mechanical Behavior of White Concrete // TEM Journal. 2013. №2. Pp.73–79.

16. Gots V., Gelevera A., Petropavlovsky O., Rogozina N., Smeshko V. Influence of whitening additives on the properties of decorative slag-alkaline cements // IOP Conference Series Materials Science and Engineering. 2020. №907. 012033. Pp. 1–7.

17. Мейрамов Д.Д. Изготовление архитектурных деталей из декоративных бетонов // Жилищное строительство. 2005. № 11. С. 16–17.

18. Грызлов В.С., Фоменко А.И. Использование отходов производства при изготовлении цветных бетонов // Строительные материалы. 2004. № 12. С. 36–37.

19. Осокин А.П., Энтин З.Б., Феднер Л.А., Ефимов С.Н., Самохвалов А.Б. Бетоны на специальных цементах // *Строительные материалы*. 2001. № 9. С. 9–12.
20. Калашников В.И., Ерофеев В.Т., Тараканов О.В. Техничко-экономическая эффективность внедрения архитектурно-декоративных порошково-активированных карбонатных песчаных бетонов // *Известия высших учебных заведений. Строительство*. 2016. № 6 (690). С. 39–46.
21. Калашников В.И., Суздальцев О.В., Мороз М.Н., Пауск В.В. Морозостойкость окрашенных архитектурно-декоративных порошково-активированных песчаных бетонов // *Строительные материалы*. 2015. № 3. С. 16–19.
22. Гончарова М.А., Ивашкин А.Н., Каширская О.А. Оценка качества лицевой поверхности изделий из многокомпонентных декоративных бетонов // *Жилищное строительство*. 2014. № 12. С. 19–22.
23. Сулейманова Л.А., Малюкова М.В., Рябчевский И.С., Корякина А.А., Левшина Д.Э. Светящиеся декоративные бетоны с использованием отходов камнедробления горных пород // *Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова*. 2020. № 12. С. 8–16.
24. Лукашевич О.Д. Получение цветного бетона с использованием пигментов из железосодержащих шламов водоподготовки // *Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета*. 2015. № 5 (52). С. 127–137.
25. Пат. 2245784, Российская Федерация, МПК В 28 В1/14. Способ изготовления декоративных фасадных изделий из архитектурного бетона и форма для его осуществления / А.И. Звездов, В.Р. Фаликман, Ю.В. Сорокин, В.В. Денискин; заявитель и патентообладатель ООО "Партнеры НИИЖБ". № 2003106001/03; заявл. 04.03.2003; опубл. 10.02.2005, Бюл. №4.
26. Пат. 2476312, Российская Федерация, МПК В 28 В3/00. Способ изготовления изделий из цветного архитектурного бетона и изделие, полученное этим способом / Н.Н. Щербин, А.А. Боблак, М.В. Малюкова; заявитель и патентообладатель ООО "БЗ АрБет". № 2011139350/03; заявл. 27.09.2011; опубл. 27.02.2013, Бюл. №6.
27. Пат. 2559269, Российская Федерация, МПК С 04 В28/04. Наномодифицированный бетон и способ его получения / Е.Н. Прудков, А.Н. Гордеева, М.С. Закуражнов; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВПО ТулГУ. № 2013155156/03; заявл. 11.12.2013; опубл. 10.08.2015, Бюл. №22.
28. Ashteyata A., Haddadb R., Obaidatb Y. Case study on production of self-compacting concrete using white cement by pass dust // *Case Studies in Construction Materials*. 2018. № 9. Pp. 1–11.
29. Lübeck A., Gastaldini A., Barin D., Siqueira H. Compressive strength and electrical properties of concrete with white Portland cement and blast-furnace slag // *Cement & Concrete Composites*. 2012. №34. Pp. 392–399.
30. Dias N., Júlio E., Lourenço J., da Silva M. Design and Characterization of White Self-Compacting Concrete // *Conference: XXXI IAHS World Congress at: Montreal, Canada*. 2003. Pp. 1–7.
31. Голова Т.А., Давтян А.Р. Исследование композиционных вяжущих на основе фосфогипса для производства малых архитектурных форм // *Вестник Кыргызско-Российского университета*. 2016. Т.16. С. 97–100.
32. Лесовик В.С., Дегтев Ю.В., Воронов В.В. Вяжущие для малых архитектурных форм из самоуплотняющихся бетонов // *Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова*. 2014. № 5. С. 85–89.
33. Кузьмина В.П. Цветные цементы // *Технологии бетонов*. 2020. №9–10. С. 57–66.
34. Кузьмина В.П. Механоактивированные цветные цементы // *Строительные материалы*. 2006. № 7. С. 25–27.
35. Кузьмина В.П. Применение пигментов и цветных цементов в технологии производства сухих декоративных строительных смесей // *Строительные материалы*. 2000. № 5. С. 15–17.
36. Cassar L., Pepe C., Tognon G., Guerrini G., Amadelli R. White cement for architectural concrete, possessing photocatalytic properties // *11th Int. Congr. on the Chemistry of Cement*. 2003. Pp. 1–11.
37. Dantas S., Vittorino F. Photocatalytic Performance of White Cement Mortars Exposed in Urban Atmosphere // *Global Journal of Researches in Engineering*. 2019. №19(2). Pp. 1–13.
38. Sahmenkoa G., Aispursb S., Krasnikovsa A. The Use of High Performance Cement Composite in Renovation and Restoration of Architectural Elements of Buildings Facades // *Procedia Engineering*. 2015. №117. Pp. 317–324.
39. Пат. 2452702, Российская Федерация, МПК С 04 В7/153. Вяжущее и способ его приготовления для производства декоративного бетона / В.В.Сенкус, А.П. Коробейников, Б.М. Стефанюк, В.В. Сенкус, Н.И. Конакова, А.И. Карпова, В.В. Барыльников, В.В. Пискаленко; заявитель и патентообладатель В.В.Сенкус, А.П. Коробейников, Б.М. Стефанюк, В.В. Сенкус, Н.И. Конакова, А.И. Карпова, В.В. Барыльников, В.В. Пискаленко. № 2010140333/03; заявл. 01.10.2010; опубл. 10.06.2012, Бюл. №16.

40. Пат. 2168474, Российская Федерация, МПК С 04 В7/52. Способ получения цветных цементов / С.В. Дугуев, В.Б. Иванова, К.А. Прида-

чин, Л.М. Сулименко. заявитель и патентообладатель С.В. Дугуев, В.Б. Иванова, К.А. Придачин. № 2000125648/03; заявл. 12.10.2000; опубл. 10.06.2001, Бюл. №16.

Информация об авторах

Строкова Валерия Валерьевна, доктор технических наук, профессор кафедры материаловедения и технологии материалов. E-mail: vvstrokova@gmail.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Хмара Наталия Олеговна, аспирант кафедры материаловедения и технологии материалов, ассистент кафедры архитектурных конструкций. E-mail: nataly26071992@mail.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Нелюбова Виктория Викторовна, кандидат технических наук, доцент кафедры материаловедения и технологии материалов. E-mail: nelubova@list.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Шаповалов Николай Афанасьевич, доктор технических наук, профессор кафедры теоретической и прикладной химии. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Поступила 10.09.2021 г.

© Строкова В.В., Хмара Н.О., Нелюбова В.В., Шаповалов Н.А., 2021

Strokova V.V., *Khmara N.O., Nelyubova V.V., Shapovalov N.A.

Belgorod state technological university named after V.G. Shukhov

**E-mail: nataly26071992@mail.ru*

SMALL ARCHITECTURAL FORMS: COMPOSITION AND PROPERTIES OF CONCRETE FOR THEIR PRODUCTION

Abstract. *The work is the result of a multi parameter analysis of scientific publications affecting the study of the properties and characteristics of composite binders and concretes based on them, used in the design and production of small architectural forms. General assessment of the prospects for the use of composite binders in this type of buildings and structures is given. All publications and experimental materials on this topic are summarized according to the following parameters: bibliometric indicators of articles for the period from 2000 to 2020, types of concrete used for small architectural forms, types of binders, aggregates, fillers and additives used, physical and mechanical properties and controlled parameters of concrete. It is shown that in most of the studies under consideration, fine-grained concrete based on white, general construction and non-ferrous cement was used. At the same time, to increase the efficiency of finished products in terms of the formation of a developed shape and ensure their weather resistance, high-quality cements are used, the water-cement ratio decreases, including due to the use of additives for various purposes. It is substantiated that designing of concrete for small architectural forms should be carried out based on the specified requirements for this type of structures. The production of high-workability mixtures should be considered to ensure the specified castability in order to form products of various configurations and standard sizes while maintaining architectural expressiveness and compliance with the modern landscape of urban space.*

Keywords: *small architectural forms, composite binders, fine-grained concrete, architectural concrete, decorative concrete, white cement, pigmented cement.*

REFERENCES

1. Bazhenova O.Yu., Fetisova A.A., Shcherbeneva O.A. Fine-grained concrete for architectural details and small forms [Melkozernistye betony dlya arhitekturnykh detalej i malyh form]. Innovation and investment. 2020. No. 7. Pp. 144–147. (rus)
2. Baranova A.A., Bobrova A.A., Rudykh K.N. Fine concrete for the production of small architec-

tural forms [Melkodispersnyj beton dlya proizvodstva malyh arhitekturnykh form]. Modern technologies and scientific and technological progress. 2017. Vol. 1. Pp. 108–109. (rus)

3. Lesovik R.V., Ageeva M.S., Golikov V.G., Fomenko Yu.V. Fine-grained concrete for small architectural forms [Melkozernistye betony dlya malyh arhitekturnykh form]. Construction Materials. 2005. No. 11. Pp. 66–67. (rus)

4. Lesovik V.S., Degtev Yu.V., Voronov V.V. Binders for small architectural forms from self-compacting concrete [Vyazhushchie dlya malyh arhitekturnykh form iz samouplotnyayushchihsya betonov]. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2014. No. 5. Pp. 85–89. (rus)
5. Avtonomov I.V., Rishes A.V., Zaitsev A.G., Molokov S.M., Sviridov V.L., Meselov V.I. Method of manufacturing architectural and construction rotary bodies made of concrete. Patent RF, no. 2002113152/03, 2002.
6. Baranov E. V., Shelkovnikova T.I., Horunzhiy T.M. Decorative fine-grained modified concrete with plastizing additive and filler [Modificirovannyj dekorativnyj melkozernistyj beton s dobavkoj plastifikatorom i napolnitelem]. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2018. No. 4. Pp. 13–19. (rus)
7. Shchetkova E.A., Kashevarova G.G. Investigation of properties of modified fine-grained decorative concrete [Issledovanie svojstv modificirovannogo melkozernistogo dekorativnogo betona]. PNRPU Bulletin, Applied ecology. Urban development. 2017. No. 3 (27). Pp. 143–151. (rus)
8. Moroz M.N., Kalashnikov V.I., Suzdaltsev O.V. Classification criteria for the formation of the surface of architectural and decorative concretes [Klassifikacionnye kriterii formirovaniya poverhnosti arhitekturno-dekorativnykh betonov]. Modern scientific researches and innovations. 2016. No. 10 (66). Pp. 114–117. (rus)
9. Golova T.A., Magerramova I.A., Davtian A.R. Research of the phosphogypsum-based composite materials [Issledovanie svojstv kompozicionnykh materialov na osnove fosfogipsa]. Herald of KRSU. 2017. Vol. 17. No. 12. Pp. 77–79. (rus)
10. Di Marino M., Nielsen E.P., Bi Zhuo Qin. Aalborg Extreme Next Generation Ultra High-Performance Concrete Based on White Cement [Sverhvysokoprochnyj beton novogo pokoleniya Aalborg extreme na osnove belogo cementa]. Cement and its Applications. 2019. No 4. Pp. 96–101. (rus)
11. Mansour G., Elyas Asadi Sh., Khodabakhshian A., Sourmeh F., de Brito J. Self-compacting architectural concrete production using red mud. Construction and Building Materials. 2019. No. 226. Pp. 418–427.
12. Tamayo-García B., Albareda-Valls A., Rivera-Rogel A., Cornado C. Mechanical Characterization of a New Architectural Concrete with Glass-Recycled Aggregate. Buildings. 2019. No. 9(6). Pp. 1–11.
13. Hospodarova V., Junak J., Stevulova N. Color Pigments In Concrete And Their Properties. Pollack Periodica. 2015. No. 10(3). Pp.143–151.
14. Hamad B. Investigations of chemical and physical properties of white cement concrete. Advanced cement base materials. 2000. No. 2(4). Pp. 161–167.
15. Temiz H., M. Kose M., Murat Genc H. Mechanical Behavior of White Concrete. TEM Journal. 2013. No. 2. Pp.73–79.
16. Gots V., Gelevera A., Petropavlovsky O., Rogozina N., Smeshko V. Influence of whitening additives on the properties of decorative slag-alkaline cements. IOP Conference Series Materials Science and Engineering. 2020. No. 907. 012033. Pp.1–7.
17. Meiramov D.D. Manufacturing of architectural details from decorative concrete [Izgotovlenie arhitekturnykh detalej iz dekorativnykh betonov]. Housing construction. 2005. No. 11. Pp. 16–17. (rus)
18. Gryzlov V.S., Fomenko A.I. Use of industrial waste in the manufacture of colored concrete [Ispol'zovanie othodov proizvodstva pri izgotovlenii cvetnykh betonov]. Construction Materials. 2004. No. 12. Pp. 36–37. (rus)
19. Osokin A.P., Entin Z.B., Fedner L.A., Efimov S.N., Samokhvalov A.B. Concretes based on special cements [Betony na special'nykh cementah]. Construction Materials. 2001. No. 9. Pp. 9–12. (rus)
20. Kalashnikov V.I., Erofeev V.T., Tarakanov O.V. Technical-economic efficiency of implementation of architecture and decorative powder-activated carbonate sand concretes [Tekhniko-ekonomicheskaya effektivnost' vnedreniya arhitekturno-dekorativnykh poroshkovo-aktivirovannykh karbonatnykh peschanykh betonov]. News of higher educational institutions. Construction. 2016. No. 6 (690). Pp. 39–46. (rus)
21. Kalashnikov V.I., Suzdaltsev O.V., Moroz M.N., Pausk V.V. Frost Resistance of Coloured Architectural-Decorative Powder-Activated Sand Concretes [Morozostojkost' okrashennykh arhitekturno-dekorativnykh poroshkovo-aktivirovannykh peschanykh betonov]. Construction Materials. 2015. No. 3. Pp. 16–19. (rus)
22. Goncharova M.A., Ivashkin A.N., Kashirskaya O.A. Assessment of products front surface quality from multicomponent decorative concrete [Ocenka kachestva licevoj poverhnosti izdelij iz mnogokomponentnykh dekorativnykh betonov]. Housing construction. 2014. No. 12. Pp. 19–22. (rus)
23. Suleymanova L.A., Malyukova M.V., Ryabchevskiy I.S., Koryakina A.A., Levshina D.E. Illuminated concrete using rock crushing waste [Svetyashchiesya dekorativnye betony s ispol'zovaniem othodov kamnedrobleniya gornykh porod]. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2020. No. 12. Pp. 8–16. (rus)
24. Lukashevich O.D. Concrete pigmented with iron-oxide pigments obtained from sewage sludge

[Poluchenie cvetnogo betona s ispol'zovaniem pigmentov iz zhelezosoderzhashchih shlamov vodopodgotovki]. Bulletin of Tomsk State University of Architecture and Building. 2015. No. 5 (52). Pp. 127–137. (rus)

25. Zvezdov A.I., Falikman V.R., Sorokin Ju.V., Deniskin V.V. Method of production of decorative facade made out of architectural concrete and a form for its realization. Patent RF, no. 2003106001/03, 2003.

26. Shcherbin N.N., Boblak A.A., Maljukova M.V. Method of making articles from colored architectural concrete and article thus made Patent RF, no. 2011139350/03, 2011.

27. Prudkov E.N., Gordeeva A.N., Zakurazhnov M.S. Nanomodified concrete and method for production thereof. Patent RF, no. 2013155156/03, 2013.

28. Ashteyata A., Haddadb R., Obaidatb Y. Case study on production of self-compacting concrete using white cement by pass dust. Case Studies in Construction Materials. 2018. No. 9. Pp. 1–11.

29. Lübeck A., Gastaldini A., Barin D., Siqueira H. Compressive strength and electrical properties of concrete with white Portland cement and blast-furnace slag. Cement & Concrete Composites. 2012. No. 34. Pp. 392–399.

30. Dias N., Júlio E., Lourenço J., da Silva M. Design and Characterization of White Self-Compacting Concrete. Conference: XXXI IAHS World Congress at: Montreal, Canada. 2003. Pp. 1–7.

31. Golova T.A., Davtian A.R. Research of the phosphogypsum-based composite materials used for the production of landscape products [Issledovanie kompozitsionnykh vyazhushchih na osnove fosfogipsa dlya proizvodstva malykh arhitekturnykh form]. Herald of KRSU. 2016. Vol. 16. No. 9. Pp. 97–100. (rus)

32. Lesovik V.S., Degtev Yu.V., Voronov V.V. Binders for small architectural forms from self-compacting concrete [Vyazhushchie dlya malykh

arhitekturnykh form iz samouplotnyayushchihsy betonov]. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2014. No. 5. Pp. 85–89. (rus)

33. Kuzmina V.P. Colored cements [Cvetnoj cement]. Technology of concrete. 2020. No. 9-10. Pp. 57–66. (rus)

34. Kuzmina V.P. Mechanically activated colored cements [Mekhanoaktivirovannye cvetnye cementy]. Construction Materials. 2006. No. 7. Pp. 25–27. (rus)

35. Kuzmina V.P. Application of pigments and colored cements in the technology of production of dry decorative building mixtures [Primenenie pigmentov i cvetnykh cementov v tekhnologii proizvodstva sukhkh dekorativnykh stroitel'nykh smesey]. Construction Materials. 2000. No. 5. Pp. 15–17. (rus)

36. Cassar L., Pepe C., Tognon G., Guerrini G., Amadelli R. White cement for architectural concrete, possessing photocatalytic properties. 11th Int. Congr. Chemistry of Cement. 2003. Pp. 1–11.

37. Dantas S., Vittorino F. Photocatalytic Performance of White Cement Mortars Exposed in Urban Atmosphere. Global Journal of Researches in Engineering. 2019. No. 19(2). Pp. 1–13.

38. Sahmenkoa G., Aispursb S., Krasnikovsa A. The Use of High Performance Cement Composite in Renovation and Restoration of Architectural Elements of Buildings Facades. Procedia Engineering. 2015. No. 117. Pp. 317–324.

39. Senkus V.V., Korobejnikov A.P., Stefanjuk B.M., Senkus V.V., Konakova N.I., Karpova A.I., Baryl'nikov V.V., Piskalenko V.V. Binder and method of its preparation for production of decorative concrete. Patent RF, no. 2010140333/03, 2010.

40. Duguev S.V., Ivanova V.B., Pridachin K.A., Sulimenko L.M. Method of producing colored cement. Patent RF, no. 2000125648/03, 2000.

Information about the authors

Strokova, Valeria V. Doctor of Technical Sciences, Professor. E-mail: vvstrokova@gmail.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, Kostyukova st., 46.

Khmara, Natalia O. Postgraduate student, Assistant. E-mail: nataly26071992@mail.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, Kostyukova st., 46.

Nelubova, Viktoria V. Candidate of Technical Sciences, Professor of the Department of Materials Science and Technology of Materials. E-mail: nelubova@list.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Shapovalov, Nikolaj A. Doctor of Technical Sciences, Professor. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, Kostyukova st., 46.

Received 10.09.2021

Для цитирования:

Строкова В.В., Хмара Н.О., Нелюбова В.В., Шаповалов Н.А. Малые архитектурные формы: состав и свойства бетонов для их получения // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2021. № 11. С. 8–31. DOI: 10.34031/2071-7318-2021-6-11-8-31

For citation:

Strokova V.V., Khmara N.O., Nelyubova V.V., Shapovalov N.A. Small architectural forms: composition and properties of concrete for their production. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2021. No. 11. Pp. 8–31. DOI: 10.34031/2071-7318-2021-6-11-8-31

DOI: 10.34031/2071-7318-2021-6-11-32-40

Обухов А.Г., *Высоцкая М.А.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

*E-mail: roruri@rambler.ru

ЭФФЕКТИВНЫЕ БИТУМНЫЕ ВЯЖУЩИЕ ДЛЯ АСФАЛЬТОБЕТОННЫХ ПОКРЫТИЙ

Аннотация. Обоснованный научно-технологический подход к проектированию составов битумных вяжущих посредством компаундирования неокисленного нефтяного сырья является одним из ключевых драйверов в разработке и производстве технологически и энергоэффективных битумных вяжущих и асфальтобетонов с улучшенными свойствами для надежного дорожного покрытия на их основе. Целенаправленный подход к групповому составу битумных дисперсий, поможет решить вопрос, касающийся разработки эффективных, стабильных во времени и воспроизводимых битумных композиций. Поэтому целью работы была разработка составов битума компаундированного неокисленного (БКн) марки 50/70 и оценка эффективности относительно товарной марки БНД 50/70. В работе в качестве компонентов нефтепереработки для последующего компаундирования в битум БКн 50/70 рассматривались следующие продукты: гудрон, мазут, асфальт деасфальтизации. Комплексный анализ полученных результатов демонстрирует возможность получения технического результата от использования приемов компаундирования неокисленного нефтяного сырья, заключающегося в формировании «золь-гелевой» дисперсной структуры вяжущего. Показано, что запроектированный состав битумного вяжущего характеризуется стабильной и устойчивой структурой к термической деформации. Оценка эффективности разработанных составов БКн выполнялась путем расчета обобщенных критериев эффективности для каждого состава.

Ключевые слова: компаундированные битумы, неокисленные компоненты нефтепереработки, остаточные вяжущие, получение неокисленных битумов, модифицированные вяжущие.

Введение. Повышение энергоэффективности производств, связанных с добычей и переработкой нефти на каждом из технологических этапов, а также разработка и реализация проектов по увеличению энергоэффективности производств, обусловлены не только внутренними задачами развития бизнеса, но и внешними факторами. И если задачи бизнеса заключаются в максимальной прибыли, что определяет технологические подходы для максимального извлечения светлых фракций из нефтепродуктов, то внешние факторы сопряжены с возможностью запрета или ограничением производства товаров с низкой энергоэффективностью.

Производство нефтяных битумов, основным потребителем которых является дорожная отрасль, это один из термических процессов нефтепереработки. В свою очередь, ключевыми факторами протекающих термических процессов и определяющими материальный баланс и качество получаемого битумного вяжущего являются: качество сырья, давление, температура и продолжительность термолиза. Необходимые для производства битума технологические параметры процесса определяют его как энергоемкое.

Путь повышения энергоэффективности битумного производства вариативен и может заключаться в реализации одного или совокупности приемов:

1-модернизации технологического оборудования;

2-оптимизации производственного процесса;

3-использовании возобновляемых источников энергии;

4-сокращении теплопотерь;

5-внедрении энергоэффективных технологий.

Рассматривая наиболее приемлемый в каждом конкретном случае прием реализации энергоэффективности битумного производства, необходимо принимать во внимание системное углубление нефтепереработки, которой сопутствует изменение материального баланса и качества получаемых остатков – сырья для окисления в битум. Параллельно потребители пересматривают и ужесточают требования к качеству «товарных» битумных вяжущих. Все эти факторы инициируют необходимость пересмотра подходов к сырью и технологиям производства битумов.

Решение практически всех обозначенных проблем возможно за счет широкомасштабного внедрения в технологические процессы нефтепереработки и дорожно-строительную отрасль производство неокисленных битумов и модифицированных вяжущих на их основе [1–12]. Остаточные или неокисленные вяжущие, приготовленные по технологии компаундирования [13] – это мягкие легкоплавкие материалы, являющиеся мелкодисперсными коллоидными системами, относящимися к типу золь [14, 15], отличитель-

ными признаками которых являются [16]: относительно высокая плотность; высокая твердость и сопротивление к разрыву; чувствительность к изменению температуры; устойчивостью к термоокислительному старению [15].

Дополнительным преимуществом производства и использования неокисленных битумов является:

- возможность избежать термического и окислительного воздействий на тяжелые компоненты нефтяного сырья и соответственно уменьшить влияние полимеризации и агрегации асфальтенов, смол и гетероатомных компонентов тяжелых остатков при производстве битумов, а, следовательно, увеличить их стойкость к старению [17, 18];

- отсутствие окислительной полимеризации и деструкции компонентов сырья, приводящих к интенсивному образованию черного соляра и газов окисления, что уменьшает техногенный пресинг на окружающую среду и способствует снижению энергоемкости производства [19];

- отсутствие процесса окисления сырья при высокой температуре, за счет которого происходит снижение полярности битума, а, следовательно, адгезия к минеральным материалам сохраняется высокой [20];

- асфальтобетоны, приготовленные с использованием остаточных битумов, характеризуются более высокими показателями водостойкости, трещиностойкости, износоустойчивости и долговечности в целом.

Таким образом, обоснованный научно-технологический подход к проектированию составов битумных вяжущих посредством компаундирования неокисленного нефтяного сырья является одним из ключевых драйверов в разработке и производстве технологически и энергоэффективных битумных вяжущих и асфальтобетонов с улучшенными свойствами для надежного дорожного покрытия на их основе.

В соответствии с современными представлениями, битумы – коллоидные системы органического происхождения, для которых характерно наличие дисперсионной среды (мальтеновая часть) и дисперсной фазы (асфальтены) [21]. Следовательно, управляя формированием сольватных слоев на границе раздела «среда – фаза» можно перевести систему из неравновесного состояния в коллоидно устойчивое.

Однако, битумы – это сложные коллоидные системы, для которых характерен значительный разброс показателей свойств, обусловленный отличием группового состава нефти и технологическими факторами ее добычи и переработки. Та-

ким образом, нестабильные исходные характеристики битума, являющиеся проявлением изменчивого группового состава битумных дисперсий, не всегда дают возможность, используя окисление и различные приемы модифицирования, получить стабильные битумные вяжущие с набором требуемых уникальных реологических и технологических свойств.

Таким образом, положив в основу разработки целенаправленный подход к групповому составу битумных дисперсий, посредством компаундирования остаточного сырья нефтепереработки, можно решить вопрос по разработке эффективных, стабильных во времени и воспроизводимых битумных композиций для дорожно-строительной отрасли.

Целью работы была разработка составов битума, компаундированного неокисленного (БКн) марки 50/70 и оценка эффективности относительно товарной марки БНД 50/70.

Материалы и методы. В работе в качестве компонентов нефтепереработки для последующего компаундирования в битум БКн 50/70 рассматривались: гудрон, мазут, асфальт деасфальтизации.

Рассмотрим более детально используемые компоненты. Гудрон – черный остаток, образующийся в результате отгонки из нефти при атмосферном давлении и под вакуумом топливных и масляных фракций. Содержит парафины, нафты и ароматические углеводороды, преимущественно с большим числом атомов углерода, а также асфальтены и нефтяные смолы. В гудроне концентрируется основное количество, содержащихся в нефти металлов.

Мазут – жидкий продукт темно-коричневого цвета, остаток после выделения из нефти или продуктов ее вторичной переработки бензиновых, керосиновых фракций.

Деасфальтизаты используются как промежуточный продукт в производстве остаточных масел или как сырье для установок каталитического крекинга и гидрокрекинга.

Показатели свойств сырья представлены в таблице 1.

Известно, что между групповым составом, структурой вяжущих и их характеристиками существует прямая зависимость. Так как главной задачей исследования была определена разработка эффективных сочетаний компонентов для получения БКн путем последовательного компаундирования, позволяющего минимизировать потребление энергии, необходимой для запуска химических процессов при окислении сырья, был определен групповой углеводородный состав (табл. 2).

Таблица 1

Показатели свойств нефтяного сырья

Наименование показателей	Нефтяное сырье		
	гудрон	мазут	асфальт деасфальтизации
Вязкость условная при 80 °С, с	200	6,3	–
Температура размягчения, °С	34	–	42
Температура вспышки в открытом тигле, °С	290	251	–

Таблица 2

Групповой углеводородный состав сырья

Группы углеводородов	Вид нефтяного сырья		
	гудрон	мазут	асфальт деасфальтизации
Предельные насыщенные углеводороды (ПНУ)	13,5	30,8	–
Ароматический углеводороды АУ-I	4,8	20,3	1,2
Ароматический углеводороды АУ-II	4,9	15,1	1,6
Ароматический углеводороды АУ-III	33,7	4,5	7,3
Σ масел	56,9	70,7	10,1
Смоли (С-I)	11,4	14,7	10,9
Смоли (С-II)	18,8	7,9	20,4
Σ смол	30,2	22,6	31,3
Асфальтены (А)	12,9	6,7	58,6

Исследование проводилось с применением жидкостно-адсорбционной хроматографии на приборе «Градиент-М». Суть метода заключается в разделении сложных смесей веществ на отдельные компоненты и проведении качественного и количественного анализа компонентов разделяемой смеси. Принцип действия жидкостного хроматографа заключается в следующем: раствор анализируемой смеси с помощью узла ввода пробы помещается в верхнюю часть хроматографической колонки. Анализируемая смесь прокачивается элюентом (подвижная фаза) через хроматографическую колонку, в которой происходит разделение анализируемой смеси на отдельные компоненты. Вытекающий из колонки элюат, содержащий отдельные компоненты анализируемой смеси, распознаются детектором и выполняется регистрация вещества.

Технология приготовления компаунда марки БКн включала в себя 2 этапа: нагрев компонентов и их последовательное смешение. Технологические параметры процесса: скорость 200–400 об/мин; температура 165–175 °С; время 30 минут.

Исследование свойств сырьевых нефтяных компонентов и битума выполнялись по стандартным методикам.

Полученные пластифицирующие смеси были проанализированы по выбранным показателям, с последующим расчётом частных критериев эффективности.

$$K_{эф}^i = \frac{3_{пок}^i}{3_{гост}^i}, \quad (1)$$

где $K_{эф}^i$ – частный критерий эффективности i -го показателя; $3_{пок}^i$ – фактическое значение i -го показателя; $3_{гост}^i$ – требуемое значение i -го показателя.

На основании полученной базы частных критериев эффективности, оптимизация составов выполнялась по обобщенному критерию эффективности.

$$K_{эф}^{об.} = \sqrt[n]{N_{n=1}^i \cdot K_{эф}^i}, \quad (2)$$

Запроектированное битумное вяжущее БКн 50/70, а также битум марки БНД 50/70, были подвергнуты процессам старения по методике RTFOT в течение 40 ч. Тестированию подвергались образцы после каждых 5 ч прогрева для оценки динамики изменения температуры размягчения и пенетрации при 25 °С. Также, для оценки склонности битумов к старению был использован коэффициент возрастания динамической вязкости ($K_{вдв}$).

$$K_{вдв} = \eta_{60стар} / \eta_{60}, \quad (3)$$

где $\eta_{60стар}$ – динамическая вязкость при 60°С после прогрева вяжущего в тонкой пленке в течение 5 ч, Па·с; η_{60} – динамическая вязкость вяжущего при 60°С, Па·с.

Основная часть. В соответствии с полученными данными (табл. 2) рассматриваемый гудрон характеризуется соотношением группы масел к смолам и асфальтенам 60:40 и может являться эффективным компонентом для компаундирования составов БКн. Мазут характеризуется

значительным количеством лёгких углеводородов и малым смол и асфальтенов. Асфальт деасфальтизации представлен преобладающим количеством асфальтенов (А) при критически малом содержании мальтеновой части. Данный компонент целесообразен в проектируемых составах как основной источник тяжелых углеводородов.

В таблице 3 представлены рецептуры битума неокисленного битумного вяжущего, по свойствам максимально приближенные к контрольной марке БНД 50/70.

Выбор приготовленных составов, осуществлялся на основании показателей лабораторного контроля (табл. 4).

Таблица 3

Рецептуры битумов компаундированных неокисленных

Наименование рецептуры	Соотношение компонентов в составе смеси, %		
	гудрон	мазут	асфальт деасфальтизации
№1	33	32	35
№2	33	27	40
№3	32	25	43
№4	35	20	45
№5	35	18	47
№6	35	15	50
№7	35	14	51
№8	37	10	53

Таблица 4

Оценка соответствия образцов БКн марке БНД 50/70

Наименование показателей	БНД 50/70		№ составов вяжущих БКн							
	гост	факт	1	2	3	4	5	6	7	8
Глубина проникания иглы при 25 °С, мм ⁻¹	51-70	54	75	68	61	57	55	46	44	37
Температура размягчения по кольцу и шару, °С (КиШ)	51	53	45	48	51	54	55	56	57	60
Растяжимость при 0 °С, см	3,5	3,5	3,8	3,5	3,3	3,2	3,5	3	2,5	2,1
Растяжимость при 25 °С, см,	60	72	>100	>100	92,7	95,1	95,5	78,2	59,2	54,7
Температура хрупкости по Фраасу, °С	-16	-17	-18	-17	-16	-16	-16	-15	-15	-14
Температура вспышки, °С	230	242	274	276	280	284	284	288	290	294
Изменение массы после старения, %	0,6	0,6	0,5	0,5	0,5	0,4	0,3	0,4	0,3	0,3
Изменение температуры размягчения после старения, °С	7	6	6	5	5	5	3	5	4	4
Обобщенный критерий эффективности	—	1,07	1,18	1,18	1,15	1,19	1,2	1,13	1,19	1,12

Данные таблицы демонстрируют, что не все составы по формальным признакам (глубина проникания иглы при температуре 25 °С) отвечают марке 50/70. Очевидно, что введение в состав компаунда более 47 % асфальта деасфальтизации (составы № 6 – № 8 с процентом ввода компонента 50–53 % соответственно), обогащенного асфальтенами при критически малом содержании мальтеновой части формирует жесткую структуру вяжущего, что в последующем негативно отразится как на его модифицировании в случае необходимости, так и на свойствах асфальтобетона на его основе.

Повышенное содержание асфальтенов в битумных дисперсиях повысило температуру хрупкости с -18 °С для состава №1 до -14 °С для состава № 8. При этом динамика изменения темпе-

ратуры размягчения составов № 1-8 характеризуется обратной зависимостью. Максимальный показатель по КиШ характерен для серии образцов № 8 и составляет 60 °С и 45 °С для состава № 1.

Оценка эффективности разработанных составов БКн выполнялась не путем сравнительного анализа полученных данных с требованиями нормативных документов, а посредством использования математического аппарата (формулы 1 и 2). Результаты расчета обобщенных критериев эффективности для выбора оптимального состава битума БКн 50/70 представлены в таблице 4.

Определенный как наиболее эффективный, состав № 5 был проанализирован с точки зрения группового состава и на предмет типа запроецированной структуры, таблицы 5 и 6.

Таблица 5

Групповой углеводородный состав битума марки 50/70

Наименование углеводородов	Вид вяжущего	
	БКн	БНД
Предельные насыщенные углеводороды (ПНУ)	11,30	6,30
Ароматический углеводороды АУ-I	5,40	5,40
Ароматический углеводороды АУ-II	2,90	2,10
Ароматический углеводороды АУ-III	11,00	14,00
Σ масел	30,60	27,80
Смолы (С-I)	15,90	16,90
Смолы (С-II)	20,60	25,60
Σ смол	36,50	42,50
Асфальтены (А)	32,90	29,70

Данные таблицы 5 демонстрируют, что битумные вяжущие БНД и БКн 50/70 по групповому составу близки. Однако в неокисленном

компаундированном образце содержится больше асфальтенов, что ожидаемо, ввиду особенностей группового состава сырьевых компонентов.

Таблица 6

Структурный тип битума БКн 50/70 серия №5

Наименование показателя	III структурный тип по Грушко	Состав № 5 БКн 50/70
Структурный тип битума		III
Индекс пенетрации	-1,0...+1,0	+0,21
Температура размягчения по кольцу и шару, °C	промежуточное значение	55
Температура хрупкости по Фраасу, °C	высокая	-16
Растяжимость, см, 25 °C	высокая	95,5
0 °C	низкая	3,5
Склонность к старению	малая	малая
Когезия	высокая	высокая
Коэффициент стандартных своств $K_{стд} = (T_p - T_{хр})/D_{25}$	0,65...1,1	0,74
Интервал пластичности ИР = $T_p - T_{хр}$	промежуточный	71

К преимуществам неокисленных битумов относится устойчивость их структуры к старению. В связи с этим, представляло интерес изуче-

ние характера и кинетики изменения физико-механических свойств разработанного компаундированного БКн 50/70 и окисленного БНД 50/70 (рис. 1).

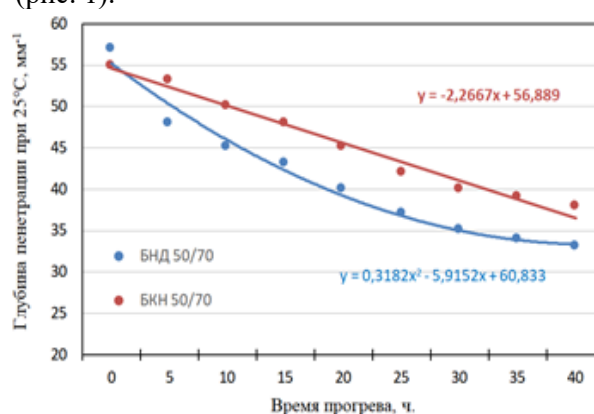
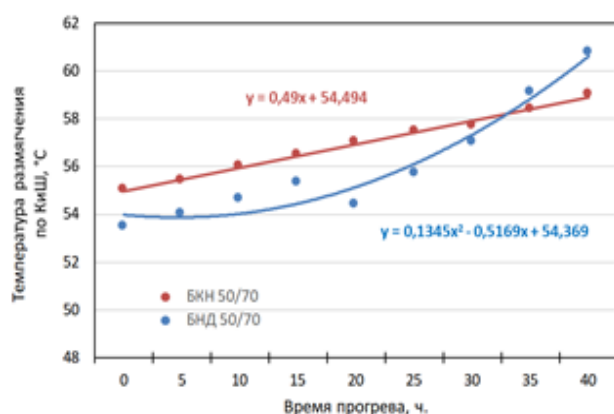


Рис. 1. Динамика изменения при длительном термостатировании:

а) температуры размягчения; б) пенетрации при температуре 25 °C

Для возможности оперативной оценки интенсивности протекания процессов старения было предложено использовать коэффициент возрастания динамической вязкости ($K_{вдв}$) разработанного и контрольного составов 50/70 (табл. 7).

В соответствии с полученными данными, $K_{вдв}$ неокисленного битума значительно меньше, чем у контрольной серии (окисленного битума), что характеризует запроектированную коллоидную систему с точки зрения реологии, как более

стабильную и устойчивую к термической деструкции.

Таблица 7

Влияние вида вяжущего на изменение $K_{вдв}$

Вид вяжущего	Динамическая вязкость при 60°С, Па·с		К _{вдв}
	до	после	
	старения		
БНД 50/70	325	1040	3,2
БКн 50/70	279	530	1,9

Выводы. В процессе выполнения исследования установлено, что в процессе проектирования БКн была сформирована наиболее предпочтительная «золь-гелевая» дисперсная структура вяжущего с точки зрения работы вяжущего в составе асфальтобетона.

Как видно, изменения показателей компаундированного битума БКн в процессе длительного термостатирования характеризуются линейным трендом, что свидетельствует о стабильной коллоидной структуре полученного продукта. Изменения свойств окисленного битума БНД 50/70, носят полиномиальный характер, которому свойственны локальные скачки показателей в определенные промежутки термостатирования, и свидетельствуют о незначительном сопротивлении структуры окисленного битума деструктивным термоокислительным процессам.

Таким образом, полученные данные демонстрируют ингибирование термического и окислительного воздействий на компоненты компаундированного сырья и, соответственно, уменьшение влияния полимеризации и агрегации асфальтенов, смол и гетероатомных компонентов тяжелых остатков при производстве битумов, а, следовательно, увеличение стойкости такого вяжущего к старению.

Также необходимо отметить, что с точки зрения энергоэффективности производство компаундированных неокисленных вяжущих имеет значительные преимущества перед окисленными. Так продолжительность компаундирования неокисленных компонентов до однородного состояния составляет 30–40 мин, температура объединения компонентов 160–170 °С. Технология производства окисленных битумов включает в себя ряд технологических переделов: окисление происходит при 250–290 °С, чем выше температура, тем быстрее протекает процесс, однако она же ускоряет реакции образования карбенов и карбоидов; необходимо обеспечение производства сжатым воздухом и давлением не более 0,4 МПа.

Комплексный анализ полученных результатов демонстрирует возможность получения вы-

сокого технического результата от использования приемов компаундирования неокисленного нефтяного сырья.

Примечание. Часть результатов была представлена при защите НКР на тему «Эффективные битумные вяжущие для асфальтобетонных покрытий».

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Высоцкая М.А., Кузнецов Д.А., Литовченко Д.П., Барковский Д.В., Ширяев А.О. Пластификатор при производстве полимерно-битумных вяжущих – как необходимость // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2019. № 5. С. 16–22.
2. Дошлов О.И., Спешиллов Е.Г. Полимерно-битумное вяжущее – высокотехнологическая основа для асфальта нового поколения // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2013. № 6. С. 140.
3. Литовченко Д.П., Ширяев А.О., Обухов А.Г., Высоцкая М.А. Проблемы качества битума. Необходимость производства неокисленного битума // Научные технологии и инновации: сборник докладов Международной научно-практической конференции. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. 2016. С. 114–116.
4. Usmani A. Asphalt Science and Technology (1st ed.). Boca Raton: CRC Press, 1997. 544 p.
5. Аминов Ш.Х., Струговец И.Б., Теляшев Э.Г., Куткин Ю.А. Неокисленные дорожные битумы и асфальтобетоны на их основе // Строительные материалы. 2003. № 10. С. 30–31.
6. Высоцкая М. А., Киндеев О. Н., Обухов А. Г. Неокисленные вяжущие для дорожных композитов // Мир нефтепродуктов. Вестник нефтяных компаний. 2016. № 12. С. 4–10.
7. Djimasbe R., Galiullin E.A., Varfolomeev M.A., Fakhruddinov R.Z., Al-Muntaser A.A., Farhadian A. Experimental study of non-oxidized and oxidized bitumen obtained from heavy oil // Sci Rep. 2021. № 11(1). 8107 p.
8. Ширкунов А.С., Рябов В.Г., Парфенова Е.В. Получение дорожных полимерно-битумных вяжущих с улучшенной стойкостью против ста-

рения на базе компаундированной битумной основы и модификатора «Elvaloy 4170 RET» // Научно-технический вестник Поволжья. 2012. № 5. С. 378–383.

9. Imanbayev Y., Akkenzheyeva A., Bussurmanova A., Serikbayeva A., Boranbayeva A. Preparation of Polymer Bitumen Binder in the Presence of a Stabilizer // Processes. 2021. № 9(1). 182 p.

10. Evdokimova N.G., Luneva N.N., Egorova N.A., Makhmutova A.R., Bayguzina Yu.A., Bayguzina Yu.A., Imangulova E.A. The selection of production technology of polymer-bitumen binders as an innovative nanobinders used in asphaltic concrete pavement // Nanotekhnologii v Stroitel'stve. 2018. № 10(5). Pp. 20–37.

11. Fryder I., Grynysyn O., Khlibyshyn Y. Usage of pyrolysis heavy resin for the petroleum bitumen production // Proceedings of the National Aviation University. 2013. № 4. Pp. 135–138.

12. Fryder I., Pysh'yev S., Grynysyn O. Gas condensate residual usage for oxidated bitumen production // Chemistry & Chemical technology. 2013. № 7(1). Pp. 105–108.

13. Хуснутдинов И.Ш., Копылов А.Ю., Лутфуллин М.Ф., Гончарова И.Н., Гаврилов В.И., Петрова Л.М., Ханова А.Г. Сопоставительный анализ неокисленных битумов, полученных различными методами // Химия и химическая технология. 2009. Т. 52. Вып. 12. С. 80–84.

14. Кутын Ю.А., Хайрудинов И.Р., Биктимирова Т.Г., Имашев У.Б. Рациональные направления производства дорожных битумов // Башкирский химический журнал. 1996. Т. 3. № 3. С. 27–32.

15. Суховило Н.П., Ткачев С.М., Ощепкова Н.В. Влияние способа получения на мезоструктуру нефтяных битумов // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия С. 2006. № 10. С. 164–169.

16. Сибгатуллина Р.И., Емельянычева Е.А., Абдуллин А.И., Бикмухаметова Г.К. Влияние параметров окисления гудронов на свойства конечного битумного материала. Кинетические особенности окисления нефтяных остатков до битума // Вестник технологического университета. 2016. Т. 19. № 2. С. 41–47.

17. Исраилова З.С. Влияние технологии битумов на устойчивость к старению // Диссер. на соиск. степени канд. техн. наук. Астрахань. 2012.

18. Евдокимова Н.Г., Кортянович К.В., Жирнов Б.С., Ханнанов Н.Р. Получение дорожных битумов компаундированием переоxygenенных битумов с гудроном // Нефтегазовое дело. 2005. № 1. 12 с.

19. Хуснутдинов И.Ш., Копылов А.Ю., Гончарова И.Н., Гаврилов В.И., Петрова Л.М., Ханова А.Г. Влияние режима подготовки сырья на результаты процесса // Химия и химическая технология. 2009. Т. 52. Вып. 10. С. 96–99.

20. Хуснутдинов И.Ш., Копылов А.Ю., Гончарова И.Н., Гаврилов В.И., Ахметзянов А.М., Романов Г.В., Петрова Л.М., Грязнов П.И. Изучение свойств асфальтобетонов неокисленных остаточных битумов, полученных деасфальтизацией природного битума // Химия и химическая технология. 2009. Т. 52. Вып. 4. С. 88–91.

21. Злобин А.А. Изучение структурной организации нефтяных дисперсных систем // Вестник ПНИПУ. Геология. Нефтегазовое и горное дело. 2015. №17. С. 41–53.

Информация об авторах

Обухов Александр Геннадьевич, аспирант кафедры строительного материаловедения, изделий и конструкций. E-mail: Alexandr.Obukhov@lukoil.com. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Высоцкая Марина Алексеевна, кандидат технических наук, доцент кафедры автомобильных и железных дорог. E-mail: roruri@rambler.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Поступила 10.07.2021

© Обухов А.Г., Высоцкая М.А., 2021

Obukhov A.G., *Vysotskaya M.A.

Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov

**E-mail: roruri@rambler.ru*

EFFICIENCY OF REINFORCEMENT OF TECHNOLOGICAL SOIL BY MINERAL MODIFIERS

Abstract. A substantiated scientific and technological approach to the design of bituminous binders compositions by compounding unoxidized petroleum feedstocks is one of the key drivers in the development and production of technologically and energy-efficient bituminous binders and asphalt concrete with improved

properties for a reliable road surface based on them. A targeted approach to the group composition of bituminous dispersions will help to resolve the issue of developing effective, time-stable and reproducible bituminous compositions. Therefore, the purpose of study is to develop compositions of compounded unoxidized bitumen (BKn) grade 50/70 and to evaluate the effectiveness relative to the trademark BND 50/70. In the work, the following products are considered as components of oil refining for subsequent compounding into BKn 50/70 bitumen: tar, fuel oil, deasphalting asphalt. A comprehensive analysis of results demonstrates the possibility of obtaining a technical result from the use of compounding techniques for unoxidized petroleum feedstock, which consists in the formation of a "sol-gel" dispersed binder structure. It is shown that the designed composition of the bituminous binder is characterized by a stable and resistant structure to thermal destruction. Evaluation of the effectiveness of the developed compositions of BCN is carried out by calculating generalized performance criteria for each composition.

Keywords: compounded bitumen, non-oxidized components of oil refining, residual bitumens, obtaining unoxidized bitumen, modified binders.

REFERENCES

1. Vysotskaya M.A., Kuznetsov D.A., Litovchenko D.P., Barkovsky D.V., Shiryaev A.O. Plasticizer in the production of polymer-bitumen binders - as a necessity [Plastifikator pri proizvodstve polimerno-bitumnykh vyazhushchikh - kak neobkhodimost]. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2019. No. 5. Pp. 16–22. (rus)
2. Doshlov O.I., Speshilov E.G. Polymer-bitumen binder – a high-tech basis for asphalt of a new generation [Polimerno-bitumnoe vyazhushchee – vysokotekhnologicheskaya osnova dlya asfal'ta novogo pokoleniya]. Bulletin of Irkutsk State Technical University. 2013. No. 6. Pp. 140. (rus)
3. Litovchenko D.P., Shiryaev A.O., Obukhov A.G., Vysotskaya M.A. Problems of bitumen quality. The need for the production of unoxidized bitumen [Problemy kachestva bituma. Neobkhodimost proizvodstva neokislennogo bituma]. Science-intensive technologies and innovations: collection of reports of the International Scientific and Practical Conference. Belgorod State Technological University named after V.I. V.G. Shukhova. 2016. Pp. 114–116. (rus)
4. Usmani A. Asphalt Science and Technology (1st ed.). Boca Raton: CRC Press, 1997. 544 p.
5. Aminov Sh.Kh., Strugovets I.B., Telyashev E.G., Kutin Yu.A. Unoxidized road bitumen and asphalt concrete based on them [Neokislennyye dorozhnyye bitумы i asfaltobetony na ikh osnove]. Building materials. 2003. No. 10. Pp. 30–31. (rus)
6. Vysotskaya M.A., Kindeev O.N., Obukhov A.G. Unoxidized binders for road composites [Neokislennyye vyazhushchiye dlya dorozhnykh kompozitov]. World of oil products. Bulletin of oil companies. 2016. No. 12. Pp. 4–10. (rus)
7. Djimasbe R., Galiullin E.A., Varfolomeev M.A., Fakhrutdinov R.Z., Al-Muntaser A.A., Farhadian A. Experimental study of non-oxidized and oxidized bitumen obtained from heavy oil. Sci Rep. 2021. No. 11(1). 8107 p.
8. Shirkunov A.S., Ryabov V.G., Parfenova E.V. Getting road polymer-bitumen binders with improved resistance to aging on the basis of compounded bitumen base and modifier "Elvaloy 4170 RET" [Poluchenie dorozhnykh polimerno-bitumnykh vyazhushchih s uluchshennoy stojkost'yu protiv stareniya na baze kompaundirovannoy bitumnoy osnovy i modifikatora «Elvaloy 4170 RET»]. Scientific and Technical Bulletin of the Volga region. 2012. No. 5. Pp. 378–383. (rus)
9. Imanbayev Y., Akkenzheyeva A., Bussurmanova A., Serikbayeva A., Boranbayeva A. Preparation of Polymer Bitumen Binder in the Presence of a Stabilizer. Processes. 2021. No. 9(1). 182 p.
10. Evdokimova N.G., Luneva N.N., Egorova N.A., Makhmutova A.R., Bayguzina Yu.A., Bayguzina Yu.A., Imangulova E.A. The selection of production technology of polymer-bitumen binders as an innovative nanobinders used in asphaltic concrete pavement. Nanotekhnologii v Stroitel'stve. 2018. No. 10(5). Pp. 20–37.
11. Fryder I., Grynyshtyn O., Khlibyshtyn Y. Usage of pyrolysis heavy resin for the petroleum bitumen production. Proceedings of the National Aviation University. 2013. No. 4. Pp. 135–138.
12. Fryder I., Pysh'yev S., Grynyshtyn O. Gas condensate residual usage for oxidated bitumen production. Chemistry & Chemical technology. 2013. No. 7(1). Pp. 105–108.
13. Khusnutdinov I.Sh., Kopylov A.Yu., Lutfullin M.F., Goncharova I.N., Gavrillov V.I., Petrova L.M., Khanova A.G. Comparative analysis of non-oxidized bitumen obtained by various methods [Sopostavitelnyy analiz neokislennyykh bitumov. poluchennykh razlichnymi metodami]. Chemistry and chemical technology. 2009. Vol. 52. Issue. 12. Pp. 80–84. (rus)
14. Kutin Yu.A., Khairudinov I.R., Biktimirova T.G., Imashev U.B. Rational directions of road bitumen production [Ratsionalnyye napravleniya proizvodstva dorozhnykh bitumov]. Bashkir Chemical Journal. 1996. Vol. 3. No. 3. Pp. 27–32. (rus)

15. Sukhovilo N.P., Tkachev S.M., Oshchepkova N.V. The influence of the method of obtaining on the mesostructure of petroleum bitumen [Vliyaniye sposoba polucheniya na mezostrukturu neftyanykh bitumov]. Bulletin of Polotsk State University. Series S. 2006. No. 10. Pp. 164–169. (rus)

16. Sibgatullina R.I., Emelyanycheva E.A., Abdullin A.I., Bikmukhametova G.K. Influence of tar oxidation parameters on the properties of the final bituminous material. Kinetic features of the oxidation of oil residues to bitumen [Vliyaniye parametrov okisleniya gudronov na svoystva konechnogo bitumnogo materiala. Kineticheskiye osobennosti okisleniya neftyanykh ostatkov do bituma]. Bulletin of the Technological University. 2016. Vol. 19. No. 2. Pp. 41–47. (rus)

17. Israilova Z.S. Influence of bitumen technology on aging resistance [Vliyaniye tekhnologii bitumov na ustoychivost k starenuyu]. Dissertation. for a job. degree of Cand. tech. sciences. Astrakhan. 2012. (rus)

18. Evdokimova N.G., Kortyanovich K.V., Zhirnov B.S., Hannanov N.R. Obtaining road bitumen by compounding peroxidized bitumen with tar

[Polucheniye dorozhnykh bitumov kompaudirovaniyem pereokislennykh bitumov s gudronom]. Oil and Gas Business. 2005. No. 1. 12 p. (rus)

19. Khusnutdinov I.Sh., Kopylov A.Yu., Goncharova I.N., Gavrilov V.I., Petrova L.M., Khanova A.G. Influence of the raw material preparation mode on the results of the deasphalting process [Vliyaniye rezhima podgotovki syria na rezultaty protsessy deasfaltizatsii]. Chemistry and chemical technology. 2009. Vol. 52. Issue. 10. Pp. 96–99. (rus)

20. Khusnutdinov I.Sh., Kopylov A.Yu., Goncharova I.N., Gavrilov V.I., Akhmetzyanov A.M., Romanov G.V., Petrova L.M., Gryaznov P.I. Study of the properties of asphalt concrete non-oxidized residual bitumen obtained by deasphalting natural bitumen [Izucheniye svoystv asfaltobetonov neokislennykh ostatkovnykh bitumov. poluchennykh deasfaltizatsiyey prirodnogo bituma]. Chemistry and chemical technology. 2009. Vol. 52. Issue. 4. Pp. 88–91. (rus)

21. Zlobin A. A. Study of the structural organization of oil dispersed systems [Izucheniye strukturnoy organizatsii neftyanykh dispersnykh sistem]. Bulletin of PNRPU. Geology. Oil and gas and mining. 2015. No. 17. Pp. 41–53. (rus)

Information about the authors

Obukhov, Alexandr G. Postgraduate student. E-mail: Alexandr.Obukhov@lukoil.com. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Vysotskaya, Marina A. PhD, Assistant professor. E-mail: roruri@rambler.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Received 10.07.2021

Для цитирования:

Обухов А.Г., Высоцкая М.А. Эффективные битумные вяжущие для асфальтобетонных покрытий // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2021. № 11. С. 32–40. DOI: 10.34031/2071-7318-2021-6-11-32-40

For citation:

Obukhov A.G., Vysotskaya M.A. Efficiency of reinforcement of technological soil by mineral modifiers. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2021. No. 11. Pp. 32–40. DOI: 10.34031/2071-7318-2021-6-11-32-40

DOI: 10.34031/2071-7318-2021-6-11-41-48

Никулина Ю.А.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

E-mail: naiklins@yandex.ru

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТРЕЩИНОСТОЙКОСТИ ПРЕДВАРИТЕЛЬНО НАПРЯЖЕННЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ БАЛОК ТРАПЕЦИЕВИДНОГО ПОПЕРЕЧНОГО СЕЧЕНИЯ

Аннотация. Балки трапецевидного поперечного сечения с верхней широкой гранью с предварительно напряженной арматурой совмещают в себе положительные качества по прочности, трещиностойкости, деформативности и ресурсосбережению, что позволяет перекрывать с их помощью значительные пролеты многоэтажных зданий.

Для разработки методики расчета момента трещинообразования в этих конструкциях принята нелинейная деформационная модель, в состав которой входят уравнения равновесия, условия линейного распределения относительных деформаций по высоте сечения элемента и уточненные диаграммы деформирования бетона и арматуры. Диаграммы состояния бетона приняты нелинейными без ниспадающей ветви. Для описания диаграмм деформирования высокопрочной и обычной арматуры принята универсальная зависимость, состоящая из одного линейного и двух нелинейных уравнений, в которой расчет отдельных параметров производится по различным формулам. Для начальной стадии процесса трещинообразования представлена расчетная схема, в соответствии с которой составлены необходимые уравнения и соотношения применительно к рассматриваемой предварительно напряженной железобетонной балке трапецевидного поперечного сечения.

Целью исследования, помимо разработки методики расчета, была также разработка алгоритма и программы расчета для ЭВМ. Для получения и анализа результатов, был проведен численный эксперимент, результаты которого представлены в табличной форме. Полученная методика расчета не содержит эмпирических коэффициентов, в связи с этим данную методику, а соответственно, и программу для ЭВМ возможно использовать для любых классов бетона и арматуры.

Ключевые слова: предварительно напряженная арматура, железобетонная балка, трапецевидное сечение, трещиностойкость, численный эксперимент.

Введение. Балки трапецевидного поперечного сечения с верхней широкой гранью совмещают в себе положительные качества по несущей способности и ресурсосбережению. Экономия бетона в таких балках, в сравнении с балками прямоугольного поперечного сечения, составляет от 15 до 45 %. В настоящее время отсутствуют исследования, посвященные предварительно напряженным балкам трапецевидного сечения, которыми можно перекрывать значительные пролеты зданий [1], однако, по отдельности вопросы, связанные с работой предварительно напряженных железобетонных конструкций под нагрузками [2–6], в том числе мгновенными [7] и циклическими [8], исследованием прочности и трещиностойкости изгибаемых железобетонных элементов трапецевидного сечения без предварительного напряжения [9–11], являются актуальными и интересными с точки зрения применения данных исследований в практике проектирования.

В связи с этим в данной работе для железобетонных балок трапецевидного поперечного сечения с предварительно напряженной арматурой представлена методика расчета момента трещинообразования. Размещение предварительно

напряженной арматуры предполагается в растянутой зоне бетона для наиболее эффективной работы. Основу методики составляет нелинейная деформационная расчетная модель [12, 13], главным элементом которой являются уточненные диаграммы деформирования бетона и арматуры [14–16].

Материалы и методы. На рис. 1 показаны диаграммы деформирования бетона при неоднородном сжатии и растяжении, которые принимаются без ниспадающей ветви [17, 18], и представлены следующие основные параметры, необходимые для дальнейших расчетов: начальный модуль упругости E_{b2} , предельное сопротивление сжатию R_b и растяжению R_{bt} , а также предельные относительные деформации ϵ_{bu} и ϵ_{btu} .

Также для изложенной далее методики расчета применяются диаграммы растяжения высокопрочной и обычной арматуры. Высокопрочная арматура, иначе говоря, арматура без физической площадки текучести, будет применяться в элементе только в качестве арматуры с предварительным напряжением. Обычная арматура (с физической площадкой текучести) будет располагаться как в растянутой, так и сжатой зоне сечения, и является конструктивной, ее основное предназначение заключается в формировании

объемного каркаса образца, объединении продольной и поперечной арматуры в единую систему, что повышает прочность рассматриваемой балки. Особенностью работы изгибаемых элементов с предварительно напряженной арматурой в растянутой зоне является то, что на начальной стадии нагружения такого элемента наблюдается обратная работа обычной продольной арматуры, то есть арматура в нижней зоне сечения

сжата, а в верхней – растянута. В связи с тем, что у элементов трапециевидного сечения размеры верхней и нижней граней отличаются, то наличие в их нижней зоне обычной продольной арматуры играет положительную роль. Данное явление учтено в изложенной далее методике расчета трещиностойкости. Диаграммы растяжения арматуры представлены на рис. 2 [18].

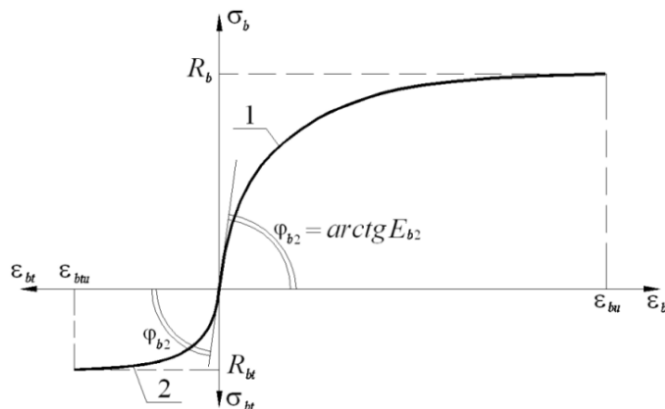


Рис. 1. Диаграммы неоднородного сжатия (1) и растяжения (2) бетона [14]

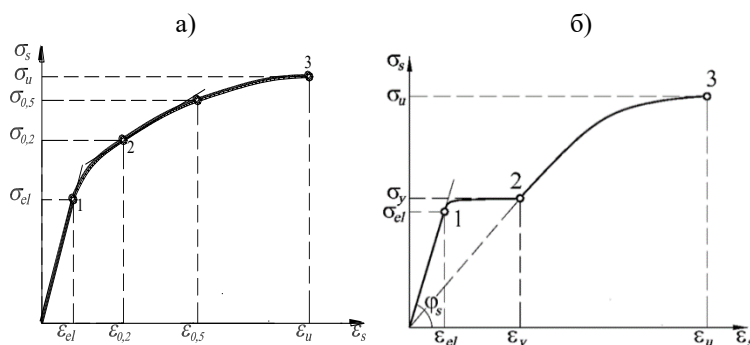


Рис. 2. Диаграмма растяжения арматуры [18]:

а – высокопрочная; б – обычная; 1 – линейный предел упругости; 2 – предел текучести (в случае с высокопрочной арматурой – условный предел текучести); 3 – предел прочности

Аналитическое описание диаграмм сжатия и растяжения бетона, а также диаграмм растяжения обычной арматуры представлено в работах [17, 18]. Уравнения, которые описывают процесс растяжения высокопрочной арматуры, аналогичны аналитическому описанию обычной арматуры, но с заменой параметров σ_y и ε_y на $\sigma_{0,2}$ и $\varepsilon_{0,2}$.

Основная часть. Расчетная схема рассматриваемой железобетонной балки для начальной стадии процесса трещинообразования, а именно, в момент перед образованием первой трещины, представлена на рис. 3. Формулы 1, 2 отображают уравнения равновесия для изгибаемого железобетонного элемента трапециевидного поперечного сечения с предварительно напряженной арматурой в растянутой зоне.

$$0,5(b_{up} + b_x)x_c\omega_c\sigma_{bc} + \sigma_{sc}A_{sc} - 0,5(b_x + b_{dn})x_t\omega_{tu}R_{bt} - \sigma_{st}A_{st} - (\sigma_{sp} + \Delta\sigma_{sp})A_{sp} = 0, \quad (1)$$

$$M_{crc} = 0,5(b_{up} + b_x)x_c^2\omega_c\gamma_c\sigma_{bc} + \sigma_{sc}A_{sc}(x_c - a_c) + 0,5(b_x + b_{dn})x_t^2\omega_{tu}\gamma_{tu}R_{bt} + \sigma_{st}A_{st}(h - x_c - a_t) + (\sigma_{sp} + \Delta\sigma_{sp})A_{sp}(h - x_c - a_p), \quad (2)$$

где M_{crc} – момент появления первой трещины в сечении; b_x – ширина той плоскости поперечного сечения изгибаемого элемента, по которой проходит нейтральная ось непосредственно перед исчерпанием прочности нормального сечения

элемента; ω_c , ω_{tu} – геометрические параметры эпюр напряжения.

Обозначения остальных параметров (γ_c , γ_{tu} , σ_{bc} , R_{bt} , x_c , x_t , σ_{sc} , σ_{st} , σ_{sp} , $\Delta\sigma_{sp}$, A_{sp} , A_{sc} , A_{st} , a_p , a_c , a_t , h , b_{up} , b_{dn}) понятны из рис. 3.

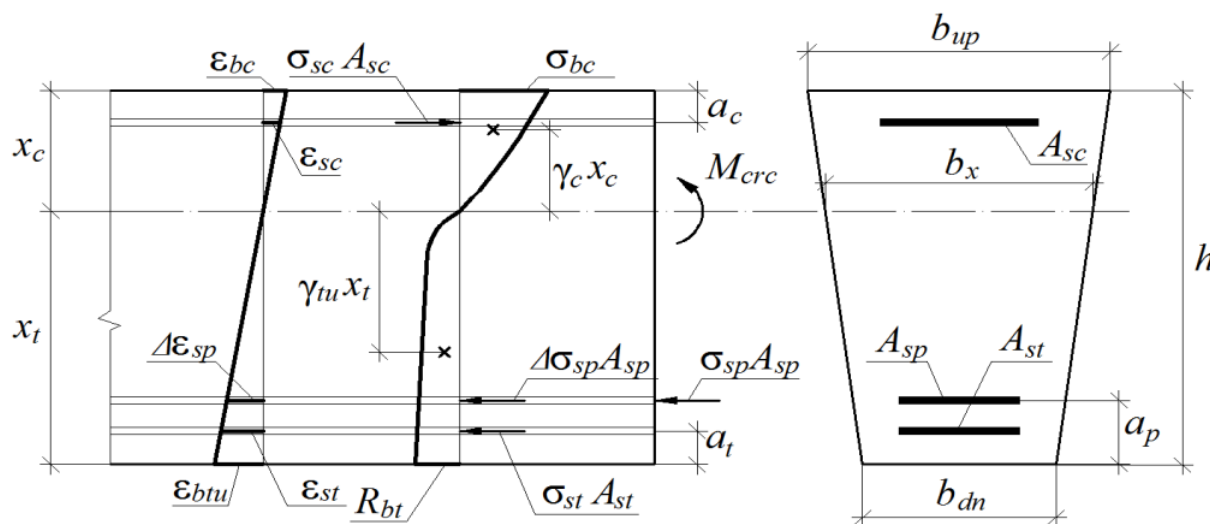


Рис. 3. Расчетная схема железобетонной балки трапециевидного сечения с предварительно напряженной арматурой в растянутой зоне для начальной стадии процесса трещинообразования

По следующей зависимости определяем неизвестную величину b_x :

$$b_x = b_{up} - (b_{up} - b_{dn}) \frac{x_c}{h}, \quad (3)$$

Интегральные геометрические характеристики сжатой зоны бетона находим с помощью зависимостей:

$$\omega_c = \frac{E_{b2} \varepsilon_{bc} b_x}{0,5(b_{up} + b_x) \sigma_{bc} x_c^2} \left\{ I_{c1} + \frac{I_{c2}}{x_c} \left(D_{b2} \varepsilon_{bc} + \frac{b_{up}}{b_x} - 1 \right) + I_{c3} \frac{D_{b2} \varepsilon_{bc}}{x_c^2} \times \left(\frac{b_{up}}{b_x} - 1 \right) \right\}, \quad (4)$$

$$\gamma_c = \frac{E_{b2} \varepsilon_{bc} b_x}{0,5(b_{up} + b_x) \sigma_{bc} x_c^3 \omega_c} \left\{ I_{c2} + \frac{I_{c3}}{x_c} \left(D_{b2} \varepsilon_{bc} + \frac{b_{up}}{b_x} - 1 \right) + I_{c4} \frac{D_{b2} \varepsilon_{bc}}{x_c^2} \times \left(\frac{b_{up}}{b_x} - 1 \right) \right\}, \quad (5)$$

где I_{c1} , I_{c2} , I_{c3} , I_{c4} – расчетные параметры, определяемые по следующим формулам:

$$I_{c1} = \frac{x_c^2}{C_{b2} \varepsilon_{bc}} \left[1 - \frac{\ln(1 + C_{b2} \varepsilon_{bc})}{C_{b2} \varepsilon_{bc}} \right], \quad (6)$$

$$I_{c2} = \frac{x_c^3}{C_{b2} \varepsilon_{bc}} \left\{ \frac{1}{2} - \frac{1}{C_{b2} \varepsilon_{bc}} \left[1 - \frac{\ln(1 + C_{b2} \varepsilon_{bc})}{C_{b2} \varepsilon_{bc}} \right] \right\}, \quad (7)$$

$$I_{c3} = \frac{x_c^4}{C_{b2} \varepsilon_{bc}} \left\{ \frac{1}{3} - \frac{1}{2C_{b2} \varepsilon_{bc}} + \frac{1}{(C_{b2} \varepsilon_{bc})^2} \left[1 - \frac{\ln(1 + C_{b2} \varepsilon_{bc})}{C_{b2} \varepsilon_{bc}} \right] \right\}, \quad (8)$$

$$I_{c4} = \frac{x_c^5}{C_{b2} \varepsilon_{bc}} \left\{ \frac{1}{4} - \frac{1}{3C_{b2} \varepsilon_{bc}} + \frac{1}{2(C_{b2} \varepsilon_{bc})^2} - \frac{1}{(C_{b2} \varepsilon_{bc})^3} \left[1 - \frac{\ln(1 + C_{b2} \varepsilon_{bc})}{C_{b2} \varepsilon_{bc}} \right] \right\}. \quad (9)$$

Для расчета подобных характеристик, но применительно к растянутой зоне бетона, используем зависимости:

$$\omega_{tu} = \frac{E_{b2} \varepsilon_{btu} b_x}{0,5(b_{dn} + b_x) R_{bt} x_t^2} \left\{ I_{t1} + \frac{I_{t2}}{x_t} \left(D_{bt2} \varepsilon_{btu} + \frac{b_{dn}}{b_x} - 1 \right) - I_{t3} \frac{D_{bt2} \varepsilon_{btu}}{x_t^2} \left(1 - \frac{b_{dn}}{b_x} \right) \right\}, \quad (10)$$

$$\gamma_{tu} = \frac{E_{b2} \varepsilon_{btu} b_x}{0,5(b_{dn} + b_x) R_{bt} x_t^3 \omega_{tu}} \left\{ I_{t2} + \frac{I_{t3}}{x_t} \left(D_{bt2} \varepsilon_{btu} + \frac{b_{dn}}{b_x} - 1 \right) - I_{t4} \frac{D_{bt2} \varepsilon_{btu}}{x_t^2} \left(1 - \frac{b_{dn}}{b_x} \right) \right\}, \quad (11)$$

где $I_{t1}, I_{t2}, I_{t3}, I_{t4}$ – вспомогательные параметры, которые определяем по формулам (6)...(9) с заменой переменных $I_{c1}, I_{c2}, I_{c3}, I_{c4}, x_c, \varepsilon_{bc}, C_{b2}$ на $I_{t1}, I_{t2}, I_{t3}, I_{t4}, x_t, \varepsilon_{btu}, C_{bt2}$.

Следующие условия совместности деформаций записываем для рассматриваемого железобетонного элемента с учетом принятой гипотезы плоских сечений [14, 16, 20]:

$$\frac{\varepsilon_{btu}}{x_t} = \frac{\varepsilon_{bc}}{x_c}, \quad (12)$$

$$x_t = h - x_c, \quad (13)$$

$$\frac{\varepsilon_{sc}}{\varepsilon_{bc}} = 1 - \frac{a_c}{x_c}, \quad (14)$$

$$\frac{\varepsilon_{st}}{\varepsilon_{bc}} = \frac{h - a_t}{x_c} - 1, \quad (15)$$

$$\frac{\Delta \varepsilon_{sp}}{\varepsilon_{bc}} = \frac{h - a_p}{x_c} - 1. \quad (16)$$

Напряжения в предварительно напряженной, сжатой и растянутой арматуре $\sigma_{sp}, \Delta \sigma_{sp}, \sigma_{sc}, \sigma_{st}$ находим с использованием универсальной кусочной функции [17, 18], которую для удобства представим в виде четырех функциональных зависимостей:

$$\sigma_{st} = f_1(\varepsilon_{st}), \quad (17)$$

$$\sigma_{sc} = f_2(\varepsilon_{sc}), \quad (18)$$

$$\sigma_{sp} = f_3(\varepsilon_{sp}), \quad (19)$$

$$\Delta \sigma_{sp} = f_3(\varepsilon_{sp} + \Delta \varepsilon_{sp}) - \sigma_{sp}. \quad (20)$$

По следующей формуле определяем величину краевого напряжения бетона σ_{bc} на верхней сжатой грани сечения балки:

$$\sigma_{bc} = \frac{E_{b2} \varepsilon_{bc} (1 + D_{b2} \varepsilon_{bc})}{1 + C_{b2} \varepsilon_{bc}}. \quad (21)$$

Таким образом, методика определения напряженно-деформированного состояния в нормальном сечении рассматриваемой железобетонной балки трапециевидного поперечного сечения 4. Аналогичное сопоставление величин моментов трещинообразования сечений исследуемых балок из высокопрочных бетонов (В70, В100) дает несколько меньшие значения таких превышений (в диапазоне от 2,4 до 4,6 раза).

5. При увеличении содержания предварительно напряженной арматуры в сечении изгибаемых железобетонных элементов от 0,68 до 2,63 % их трещиностойкость значительно возрастает. В частности, при минимальном уровне преднатяжения арматуры ($\sigma_{sp} = 0,1R_{sn}$) величины

M_{crc} увеличиваются в диапазоне от 1,6 до 2,0 раз. Но максимальный рост величин трещиностойкости (в диапазоне от 2,5 до 2,6 раз) наблюдается при наибольшем значении уровня предварительного напряжения ($\sigma_{sp} = 0,7R_{sn}$).

Полученная методика расчета не содержит эмпирических коэффициентов, в связи с этим данную методику, а соответственно, и программу для ЭВМ возможно использовать для любых классов бетона и арматуры, в том числе и для новых, которые появятся в дальнейшем. Параметры новых классов бетона или арматуры возможно добавить в программу с предварительно напряженной арматурой в растянутой зоне получена для момента перед образованием первой трещины.

Для того чтобы узнать и оценить результаты расчета трещиностойкости образцов по полученной методике, были разработаны общий алгоритм и программа расчета для ЭВМ «TR_PRC_1». На данную программу для ЭВМ было получено свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2021611303 от 21.12.2020 [21].

По полученной программе для ЭВМ «TR_PRC_1» анализировались результаты численного эксперимента. Размеры сечения условного образца, принятого для расчета – высота 45 см, ширина верхней грани 30 см и нижней грани 15 см. В качестве предварительно напряженной арматуры принята арматура класса А600, обычная арматура в растянутой зоне – класса А400 (6,28 см²) и обычная арматура в сжатой зоне – класса А240 (1,57 см²). Изучался момент появления первой трещины M_{crc} в зависимости от площади преднатяженной арматуры (6,28 см², 12,32 см², 24,13 см²) и величины предварительного напряжения. Варьировался также класс бетона – В20, В35, В50, В70, В100. Результаты расчетов представлены в табл. 1.

Выводы. Выполненные численные исследования позволили установить следующие закономерности:

1. Наличие предварительного напряжения в арматуре, расположенной в растянутой зоне сечения железобетонной балки, всегда приводит к существенному повышению величины момента её трещинообразования (M_{crc}).

2. Для любого из рассматриваемых классов бетона при одном и том же армировании поперечного сечения исследуемых балок наблюдается одинаковая тенденция, предусматривающая рост моментов трещинообразования при повышении уровня предварительного напряжения арматуры (σ_{sp}).

3. Для балок из бетонов меньшей прочности (B20, B35) расчетные величины трещиностойкости при наибольшем уровне предварительного

напряжения арматуры ($0,7R_{sn}$) оказались существенно выше (в диапазоне от 2,9 до 5,9 раза) по отношению к образцам без преднапряжения.

Таблица 1

Результаты численных исследований по определению величин моментов трещинообразования (M_{crc} , кН·м) в предварительно напряженных железобетонных балках трапециевидного поперечного сечения

Класс бетона	Процент армирования A_{sp}	Величина предварительного напряжения арматуры σ_{sp}							
		0	$0,1R_{sn}$	$0,2R_{sn}$	$0,3R_{sn}$	$0,4R_{sn}$	$0,5R_{sn}$	$0,6R_{sn}$	$0,7R_{sn}$
B20	0,68	29,48	40,56	51,32	61,81	71,91	81,34	90,60	99,69
	1,34	34,10	55,15	75,14	94,20	112,23	128,82	144,86	160,36
	2,63	42,79	81,69	117,11	149,54	179,08	205,48	230,07	252,98
B35	0,68	38,65	49,91	60,95	71,81	82,33	92,19	101,94	111,59
	1,34	43,77	65,37	86,24	106,48	125,88	143,91	161,59	178,93
	2,63	53,51	94,12	132,38	168,63	202,75	234,06	264,29	293,50
B50	0,68	46,21	57,52	68,67	79,67	90,33	100,34	110,26	120,11
	1,34	51,79	73,57	94,80	115,52	135,46	154,05	172,38	190,47
	2,63	62,43	103,70	143,14	181,02	217,04	250,34	282,87	314,68
B70	0,68	54,26	65,59	76,79	87,88	98,62	108,69	118,71	128,67
	1,34	60,29	82,18	103,62	124,67	144,95	163,88	182,61	201,17
	2,63	71,84	113,53	153,76	192,75	230,02	264,61	298,65	332,17
B100	0,68	65,58	76,87	88,07	99,17	109,90	119,93	129,93	139,90
	1,34	72,33	94,20	115,72	136,93	157,34	176,37	195,27	214,06
	2,63	85,28	127,09	167,78	207,50	245,52	280,85	315,81	350,44

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Кузнецов В.С. Железобетонные и каменные конструкции: Учеб. издан. 2-е изд. М.: Изд-во АСВ, 2016. 360 с.

2. Albero V., Saura H., Hospitaler A., MontalvÀ J.M., Romero M.L. Optimal design of prestressed concrete hollow core slabs taking into account its fire resistance // Advances in Engineering Software. 2018. Vol. 122. Pp. 81–92.

3. Lee D., Han S.J., Ju H., Kim K.S. Shear strength of prestressed concrete beams considering bond mechanism in reinforcement // ACI structural journal. 2021. Vol. 118. No. 3. Pp. 267–277.

4. Accornero F., Cafarelli R., Carpinteri A. Cracking and crushing in prestressed concrete beams // ACI structural journal. 2021. Vol. 118. No. 2. Pp. 101–109.

5. Sharma A., Vishwakarma A., Kushwah S.S. Study of the flexural strengthening of RC concrete and prestressed concrete beams // AIP conference proceedings, International conference on sustainable materials and structures for civil infrastructures, 14–15 March 2019. e020029.

6. Páez P.M., Sensale-Cozzano B. Time-dependent analysis of simply supported and continuous unbounded prestressed concrete beams // Engineering Structures. 2021. No. 240. e112376.

7. Choi J.-H., Choi S.-J., Jay Kim J.-H., Hong

K.-N. Evaluation of blast resistance and failure behavior of prestressed concrete under blast loading // Construction and Building Materials. 2018. Vol. 173. Pp. 550–572.

8. Jokūbaitis A., Marčiukaitis G., Valivonis J. Analysis of reinforcement anchorage zone behavior of prestressed concrete elements under static and cyclic loads // Procedia Engineering. 2017. No. 172. Pp. 457–464.

9. Obernikhin D.V., Nikulin A.I. Experimental studies of deflections in bending reinforced concrete elements taking into account the influence of the shape of their cross-section // Lecture notes in civil engineering. 2021. Vol. 151. Pp. 56–62.

10. Sada M.J., Resan S.F. Structural behavior of hybrid reinforced concrete beams of trapezoidal section. Materials today: proceeding. 2021. Vol. 42. Part 5. Pp. 2733–2741.

11. Kaur I., Rai H.S., Singh H. Flexural Modeling of Trapezoidal Hybrid Beam: Design Charts and Procedure. Materials today: proceeding. 2018 Vol. 5. Iss. 14. Part 2. Pp. 27767–27776.

12. Залесов А.С., Мухамедиев Т.А., Чистяков Е.А. Расчет трещиностойкости железобетонных конструкций по новым нормативным документам // Бетон и железобетон. 2002. № 5. С. 15–19.

13. Карпенко Н.И. Общие модели механики железобетона. М.: Стройиздат, 1996. 416 с.

14. Никулин А.И., Обернихин Д.В., Рубанов В.Г., Свентиков А.А. Трещиностойкость изгибаемых железобетонных элементов трапециевидного сечения на основе применения нелинейной деформационной модели // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2016. № 2. С. 58–63.

15. Никулин А.И., Фролов Н.В., Никулина Ю.А. Трещиностойкость изгибаемых железобетонных элементов с учетом использования в растянутой зоне различных сочетаний стальной и стеклопластиковой арматуры // Бетон и железобетон. 2015. № 3. С. 18–22.

16. Никулина Ю.А. Использование нелинейной деформационной расчетной модели для определения трещиностойкости железобетонных предварительно напряженных балок // Международный студенческий строительный форум – 2018 (к 165-летию со дня рождения В.Г. Шухова): сб. докл.: в 2 т. Белгород: Изд-во БГТУ, 2018. Т.1. С. 133–140.

17. Никулин А.И. К определению предельной относительной деформации бетона в растянутой зоне изгибаемого железобетонного элемента [Электронный ресурс] // Современные проблемы науки и образования. 2014. № 6. Режим доступа: www.science-education.ru/120-16844 (дата обращения 19.03.2021).

18. Никулин А.И., Обернихин Д.В., Никулина Ю.А. Предельная прочность изгибаемых железобетонных элементов на основе применения энергетического критерия разрушения бетона // Безопасность строительного фонда России. Проблемы и решения: материалы Международных академических чтений. Курск: Курск. гос. ун-т, 2014. С. 98–107.

19. Никулин А.И. Универсальная зависимость для аналитического описания диаграмм растяжения арматурной стали // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2015. № 3. С. 157–162.

20. Кодыш Э.Н., Трекин Н.Н., Федоров В.С., Терехов И.А. Железобетонные конструкции. В 2 ч. Ч. 1. Расчет конструкций: Учеб. для вузов. М.: ООО «Бумажник», 2018. 396 с.

21. Расчет прочности и трещиностойкости предварительно напряженных железобетонных балок трапециевидного поперечного сечения: свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2021611303 Российская Федерация / Ю.А. Никулина, А.И. Никулин; заявитель и правообладатель Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. № 2020667170 от 21.12.2020; опубл. 25.01.2021. 1 с.

Информация об авторах

Никулина Юлия Александровна, аспирант кафедры строительства и городского хозяйства. E-mail: naiklins@yandex.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Поступила 21.06.2021

© Никулина Ю.А., 2021

Nikulina Yu.A.

Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov

E-mail: naiklins@yandex.ru

DETERMINATION OF CRACK RESISTANCE OF PRESTRESSED REINFORCED CONCRETE BEAMS OF TRAPEZOIDAL CROSS-SECTION

Abstract. Beams of a trapezoidal cross-section with a wide upper edge with prestressed reinforcement combine positive qualities in terms of strength, crack resistance, deformability and resource saving, which allows them to cover significant spans of multi-storey buildings.

To develop a method for calculating the moment of cracking in these structures, a nonlinear deformation model was adopted, which includes equilibrium equations, conditions for the linear distribution of relative deformations along the height of the element section, and refined deformation diagrams of concrete and reinforcement. Concrete state diagrams are assumed to be nonlinear without a falling branch. To describe the deformation diagrams of high-strength and conventional reinforcement, a universal dependence is adopted, consisting of one linear and two nonlinear equations, in which the calculation of individual parameters is performed using different formulas. For the initial stage of the crack formation process, a design scheme is presented, in accordance with which the necessary equations and ratios are drawn up in relation to the considered prestressed reinforced concrete beam of a trapezoidal cross-section.

The purpose of the study, in addition to developing a calculation methodology, was also the development of an algorithm and a computer calculation program. To obtain and analyze the results, a numerical experiment was carried out, the results of which are presented in tabular form. Due to the fact that the calculation

method was built without involving empirical dependencies, the possibility of its application to determine the crack resistance of prestressed reinforced concrete beams of trapezoidal cross-section for any class of concrete and reinforcement was confirmed.

Keywords: prestressed reinforcement, reinforced concrete beam, trapezoidal cross-section, crack resistance, numerical experiment.

REFERENCES

1. Kuznecov V.S. Reinforced concrete and stone structures [Zhelezobetonnye i kamennye konstrukcii]: Educational edition. 2nd edition. Moscow: Publishing house ASV, 2016. 360 p. (rus)
2. Albero V., Saura H., Hospitaler A., Montalvá J.M., Romero M.L. Optimal design of prestressed concrete hollow core slabs taking into account its fire resistance. *Advances in Engineering Software*. 2018. Vol. 122. Pp. 81–92.
3. Lee D., Han S.J., Ju H., Kim K.S. Shear strength of prestressed concrete beams considering bond mechanism in reinforcement. *ACI structural journal*. 2021. Vol. 118. No. 3. Pp. 267–277.
4. Accornero F., Cafarelli R., Carpinteri A. Cracking and crushing in prestressed concrete beams. *ACI structural journal*. 2021. Vol. 118. No. 2. Pp. 101–109.
5. Sharma A., Vishwakarma A., Kushwah S.S. Study of the flexural strengthening of RC concrete and prestressed concrete beams. AIP conference proceedings, International conference on sustainable materials and structures for civil infrastructures, 14–15 March 2019. e020029.
6. Pablo M. Páez, Beradi Sensale-Cozzano (2021) Time-dependent analysis of simply supported and continuous unbounded prestressed concrete beams. *Engineering Structures*. No. 240. e112376.
7. Choi J.-H., Choi S.-J., Jay Kim J.-H., Hong K.-N. Evaluation of blast resistance and failure behavior of prestressed concrete under blast loading // *Construction and Building Materials*. 2018. Vol. 173. Pp. 550–572.
8. Jokūbaitis A., Marčiukaitis G., Valivonis J. Analysis of reinforcement anchorage zone behavior of prestressed concrete elements under static and cyclic loads. *Procedia Engineering*. 2017. No. 172. Pp. 457–464.
9. Obernikhin D.V., Nikulin A.I. (2021) Experimental studies of deflections in bending reinforced concrete elements taking into account the influence of the shape of their cross-section. *Lecture notes in civil engineering*. Vol. 151. Pp. 56–62.
10. Sada M.J., Resan S.F. Structural behavior of hybrid reinforced concrete beams of trapezoidal section. *Materials today: proceeding*. 2021. Vol. 42. Part 5. Pp. 2733–2741.
11. Kaur I., Rai H.S., Singh H. Flexural Modeling of Trapezoidal Hybrid Beam: Design Charts and Procedure. *Materials today: proceeding*. 2018 Vol. 5. Iss. 14. Part 2. Pp. 27767–27776.
12. Zalesov A.S., Muhamediev T.A., Chistyakov E.A. Calculation of crack resistance of reinforced concrete structures according to new regulatory documents [Raschet treshchinostojkosti zhelezobetonnyh konstrukcij po novym normativnym dokumentam]. *Concrete and reinforced concrete*. 2002. No. 5. Pp. 15–19. (rus)
13. Karpenko N.I. General models of reinforced concrete mechanics [Obshchie modeli mekhaniki zhelezobetona]. Moscow: Strojizdat, 1996. 416 p. (rus)
14. Nikulin A.I., Obernikhin D.V., Rubanov V.G., Sventikov A.A. Crack resistance of bending reinforced concrete elements of trapezoidal section based on the use of a nonlinear deformation model [Treshchinostojkost izgibaemyh zhelezobetonnyh elementov trapecievidnogo secheniya na osnove primeneniya nelinejnoj deformacionnoj modeli]. *Bulletin of BSTU named after Shukhov*. 2016. No. 2. Pp. 58–63. (rus)
15. Nikulin A.I., Frolov N.V., Nikulina Yu.A. Crack resistance of bent reinforced concrete elements, taking into account the use of various combinations of steel and fiberglass reinforcement in the extended zone [Treshchinostojkost izgibaemyh zhelezobetonnyh elementov s uchetom ispolzovaniya v rastyanutoj zone razlichnyh sochetanij stalnoj i stekloplastikovej armatury]. *Concrete and reinforced concrete*. 2015. No. 3. Pp. 18–22. (rus)
16. Nikulina Yu.A. Use of a nonlinear deformation computational model to determine the crack resistance of reinforced concrete prestressed beams [Ispolzovanie nelinejnoj deformacionnoj raschetnoj modeli dlya opredeleniya treshchinostojkosti zhelezobetonnyh predvaritelno napryazhennyh balok]. *International Student Building Forum – 2018 (to the 165th anniversary of the birth of V.G. Shukhov): collection of reports: in 2 volumes*. Belgorod: Publishing house of BSTU, 2018. Vol.1. Pp. 133–140. (rus)
17. Nikulin A.I. Determination of the ultimate relative deformation of concrete in the tensile zone of a bent reinforced concrete element [K opredeleniyu predel'noj otnositel'noj deformacii betona v rastyanutoj zone izgibaemogo zhelezobetonного элемента]. *Modern problems of science and education*. 2014. No. 6. URL: www.science-education.ru/120-16844 (19.03.2021). (rus)
18. Nikulin A.I., Obernikhin D.V., Nikulina Yu.A. Ultimate strength of bent reinforced concrete elements based on the application of the energy criterion of concrete destruction [Predelynaya

prochnost izgibaemykh zhelezobetonnykh elementov na osnove primeneniya energeticheskogo kriteriya razrusheniya betona]. Security of the construction fund in Russia. Problems and Solutions: Materials of International Academic Readings. Kursk: Kursk State University, 2014. Pp. 98–107. (rus)

19. Nikulin A.I. Universal dependence for analytical description of tensile diagrams of reinforcing steel [Universalynaya zavisimost dlya analiticheskogo opisaniya diagramm rastyazheniya armaturnoj stali]. Proceedings of Irkutsk State Technical University. 2015. No. 3. Pp. 157–162. (rus)

20. Kodysh E.N., Trekin N.N., Fedorov V.S., Terekhov I.A. Reinforced concrete structures

[Zhelezobetonnye konstrukcii]. In 2 parts. P. 1. Structural analysis: Textbook. for universities. Moscow: LLC "Bumazhnik", 2018. 396 p. (rus)

21. Calculation of strength and crack resistance of prestressed reinforced concrete beams of trapezoidal cross-section [Raschet prochnosti i treshchinos-tojkosti predvaritelyno napryazhennykh zhelezobetonnykh balok trapecievidnogo poperechnogo secheniya]: certificate of state registration of a computer program No. 2021611303 the Russian Federation. Yu.A. Nikulina, A.I. Nikulin; applicant and copyright holder Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. No. 2020667170 from 21.12.2020; published 25.01.2021. 1 p. (rus)

Information about the authors

Nikulina, Yulia A. Postgraduate student of construction and municipal facilities department. E-mail: naiklins@yandex.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Received 21.06.2021

Для цитирования:

Никулина Ю.А. Определение трещиностойкости предварительно напряженных железобетонных балок трапециевидного поперечного сечения // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2021. № 11. С. 41–48. DOI: 10.34031/2071-7318-2021-6-11-41-48

For citation:

Nikulina Yu.A. Determination of crack resistance of prestressed reinforced concrete beams of trapezoidal cross-section. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2021. No. 11. Pp. 41–48. DOI: 10.34031/2071-7318-2021-6-11-41-48

DOI: 10.34031/2071-7318-2021-6-11-49-57

Сулов Д.Ю.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

E-mail: suslov1687@mail.ru

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ СИСТЕМ ГАЗОСНАБЖЕНИЯ БИОМЕТАНОМ

Аннотация. Работа посвящена актуальной проблеме использования альтернативного источника энергии биометана для газоснабжения населенных пунктов. Эффективное применение биометана в системах газоснабжения требует научного обоснования, учитывающего весь комплекс технологических параметров и условий эксплуатации. Для проведения исследований использовались методы графов и параметрической оптимизации из условия минимизации суммарных приведенных затрат в систему газоснабжения. На основе анализа газопотребления муниципальными округами Белгородской области построена графическая зависимость и получено выражение для определения годового газопотребления населением от численности населения. Произведен расчет массы органических отходов и плотности субстратообразования, на основании которого определен потенциал производства биометана по муниципальным округам Белгородской области. Установлено, что потенциальный объем биометана Белгородской области составляет 633194 тыс. м³/год или 11 % от общего объема газопотребления. Разработана схема расположения биометановых установок и газопроводов подачи биометана в газовые сети. Установлены оптимальные значения технологических параметров системы газоснабжения биометаном: производительность и радиус действия биометановой установки в зависимости от плотности субстратообразования, протяженность газовой сети для подачи биометана в зависимости от плотности газопотребления.

Ключевые слова: газопотребление, система газоснабжения, биометан, биометановая установка, экономические затраты.

Введение. Газовая промышленность является одним из важнейших элементов экономики Российской Федерации, от надежной работы которого зависит развитие страны в целом. В настоящее время уровень газификации Российской Федерации природным газом составляет 71,4 %. Газификация городов составляет – 73,7 %, а сельской местности – 64,8 % [1]. При этом первое место по уровню газификации в РФ занимает Белгородская область, уровень газификации составляет 99,8 % [2].

Одним из перспективных направлений развития систем газоснабжения, получившим широкое применение в странах Европы и Северной Америки, является использование биометана [3–6]. Основными задачами при использовании биометана в системах газоснабжения являются вопросы наиболее эффективного размещения биометановых установок с учетом производственной мощности и расположения предприятий – источников отходов, проектирование и увязка газопроводов биометана в схемы газоснабжения населенных пунктов с учетом годового газопотребления [7–9].

Вопросами использования биометана в системах газоснабжения занимаются в основном зарубежные ученые. В работе [10] выполнено теоретическое и экономическое обоснование оптимального расположения биометановых установок в Ирландии в зависимости от расположения источников сельскохозяйственных отходов. В

работе [11] произведена экономическая эффективность производства биометана и подачи его в сети природного газа. Установлено, что биометан примерно на 19 % дороже, чем природный газ. В работе [12] определена технико-экономическая эффективность использования биометана в централизованных системах газоснабжения Великобритании. Авторами разработана оптимизационная модель для оценки применения биометана с учетом экономических и экологических факторов. В работе [13] выполнена технико-экономическая оценка использования хранилищ биометана. Установлено, что технологии хранения биометана позволяют использовать биометан в различных энергетических системах, что делает всю энергосистему более эффективной. В работе [14] на примере установки в центре Италии определена экономическая эффективность подачи биометана в газовые сети и преобразование в транспортное топливо. Определены капитальные и эксплуатационные затраты биогазовой станции. Результаты показали, что удельная себестоимость биометана для подачи в сеть составляет 0,54 €/м³, а при использовании в качестве транспортного топлива 0,73 €/м³. Работа [15] посвящена технико-экономическому анализу получения биометана в зависимости от размеров биометановой установки. Установлено, что использование биометана в качестве топлива для автотранспорта в совокупности с субсидиями дает большой экономический эффект.

В основу большинства работ по применению биометана положены оптимизационные задачи, однако данные исследования, как правило, имеют частный индивидуальный подход, учитывают инфраструктуру данного региона или страны и не применимы для других условий эксплуатации. Разработкой оптимальных проектных решений в системах газоснабжения занимались отечественные ученые [16–19]. Данные работы посвящены нахождению оптимальных решений в системах газоснабжения природным газом, сжиженным углеводородным и сжиженным природным газами, и не применимы для систем газоснабжения биометаном.

Таким образом, проблема эффективного использования биометана в централизованных системах газоснабжения требует комплексной и системной проработки научно обоснованных технологических и технико-экономических вопросов.

В соответствии с вышеизложенным сформулирована цель работы – теоретическое обоснование применения биометана для газоснабжения населенных пунктов и определение оптимальных технологических параметров системы газоснабжения биометаном.

Материалы и методы. Для определения газопотребления использовались реальные данные объема газопотребления Белгородской области за 2020 г. Для определения потенциала выхода биометана использовали статистические данные поголовья скота на территории муниципальных округов Белгородской области, нормы образования органических отходов для разных групп животных и птицы, а также данные по выходу биометана из разных видов отходов. Для разработки

экономико-математической модели системы газоснабжения на основе биометана использовались теория графов, методы математического моделирования и параметрической оптимизации из условия минимизации суммарных приведенных затрат в систему газоснабжения. Для численной реализации экономико-математической модели системы газоснабжения использовалось математическое программное обеспечение Mathcad.

Основная часть. Для оценки возможности получения и использования биометана в системах газоснабжения Белгородской области был произведен анализ потребления природного газа и расчет потенциала производства биометана на территории области.

Применение биометана в централизованных системах газоснабжения населенных пунктов ограничивается условием, при котором расход биометана от установки $Q_{\text{бму}}$, $\text{нм}^3/\text{год}$ не должен превышать расход газа централизованной системой газоснабжения $Q_{\text{г}}$, $\text{нм}^3/\text{год}$ [20]:

$$Q_{\text{бму}} \leq Q_{\text{г}}. \quad (1)$$

Расход газа системой газоснабжения зависит от численности населения и наличия крупных промышленных предприятий. Так, например, муниципальный округ (МО) с меньшим количеством жителей и наличием крупного градообразующего предприятия может потреблять газа больше, чем больший по числу жителей округ, но не имеющий крупных предприятий.

Для определения зависимости потребления газа от численности населения рассмотрим газопотребление муниципальными округами Белгородской области (рис. 1).

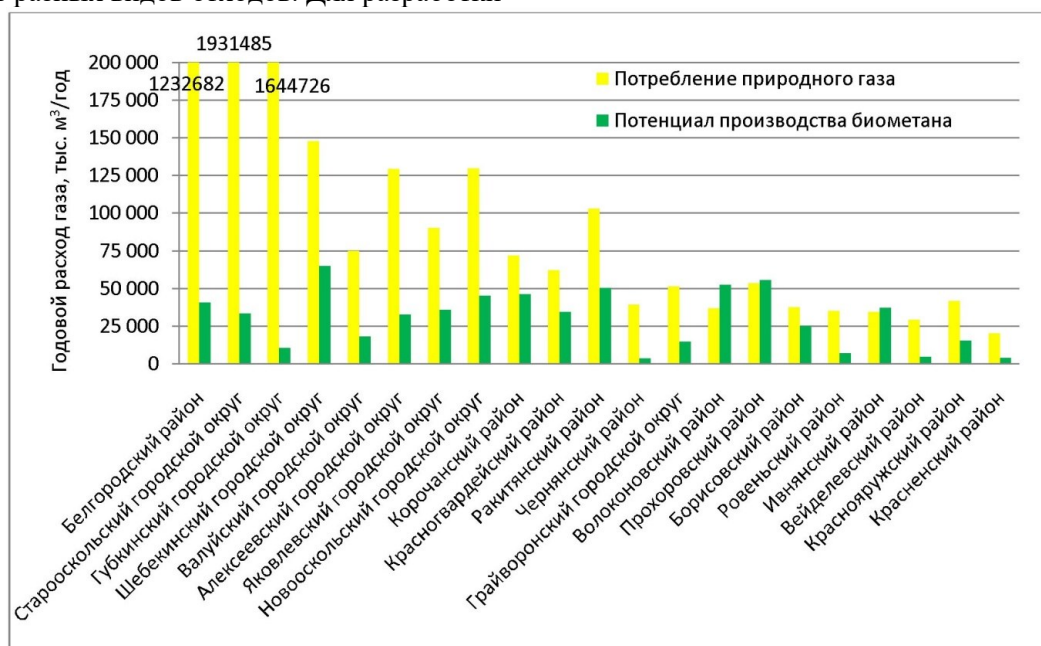


Рис. 1. График потребления природного газа и потенциала производства биометана в муниципальных округах Белгородской области

Из графика видно, что в 3 муниципальных округах (Белгородский р-н, 1232682 тыс. м³/год; Старооскольский городской округ, 1931485 тыс. м³/год; Губкинский городской округ, 1644726 тыс. м³/год) потребление природного газа значительно превышает потребление в остальных муниципальных округах. Это объясняется наличием в данных округах крупных градообразующих предприятий. Также большое потребление природного газа наблюдается в Шебекинском (147804 тыс. м³/год), Алексеевском (129350 тыс. м³/год), Новооскольском (129931 тыс. м³/год) городских округах и Ракитянском районе (103177 тыс. м³/год). В остальных округах потребление природного газа прямо пропорционально численности населения. Учитывая, что

промышленные предприятия, потребляющие большое количество газа, расположены в конкретном месте, как правило, возле районного центра, то можно сделать вывод, что расход газа предприятиями не оказывает влияние на плотность газопотребления всего муниципального округа, а влияет только на общее газопотребление округом. Следовательно, для исследования плотности газопотребления в муниципальных округах целесообразно учитывать только объем газа, расходуемый на нужды населения.

На основе данных газопотребления муниципальных округов Белгородской области был построен график зависимости объема потребляемого газа населением в зависимости от численности населения (рис. 2).



Рис. 2. График зависимости потребления газа населением от численности населения муниципальных округов

В результате аппроксимации графической зависимости (рис. 2) получено выражение для определения объема природного газа, потребляемого населением в зависимости от численности населения, тыс. м³/год:

$$V_{MO} = 210313 \cdot n_{\text{нас}}^{-0,864}, \quad (2)$$

где $n_{\text{нас}}$ – численность населения муниципального округа, чел.

Полученное выражение позволяет определить объем годового газопотребления муниципальными округами, как Белгородской области, так и других субъектов Российской Федерации, имеющих схожий с Белгородской областью уровень газификации с высокой достоверностью. Корреляция степенной функции составляет 94,25 %.

На территории Белгородской области функционирует большое количество сельскохозяйственных предприятий: свиноводческие и птицеводческие комплексы, предприятия молочного производства и выращивания крупного рогатого

скота (КРС). Произведен расчет массы производства органических отходов и плотности образования субстрата по муниципальным округам Белгородской области (рис. 3).

Из гистограммы (рис. 3) видно, что плотность субстратообразования имеет широкий диапазон и варьируется от 75 т/(год км²) в Вейделевском районе до 1355 т/(год км²) в Ивнянском районе.

Анализируя потенциал производства биометана (рис. 1) и количество органических отходов (рис. 3), видно, что наибольшее количество биометана можно производить в Шебекинском городском округе (65050 тыс. м³/год). Также значительный потенциал производства биометана наблюдается в Прохоровском (55566 тыс. м³/год), Волоконовском (52400 тыс. м³/год) и Ракитянском (50375 тыс. м³/год) районах. Это объясняется наличием на территории данных округов большого количества сельскохозяйственных предприятий. В то же время в некоторых районах

потенциал производства биометана не высок: Ровенский (6959 тыс. м³/год), Вейделевский (4715 тыс. м³/год), Красненский (4112 тыс. м³/год) и Чернянский (3627 тыс. м³/год) районы. Это объ-

ясняется малым количеством сельскохозяйственных предприятий ввиду значительной удаленности данных округов от главных автомагистралей области.

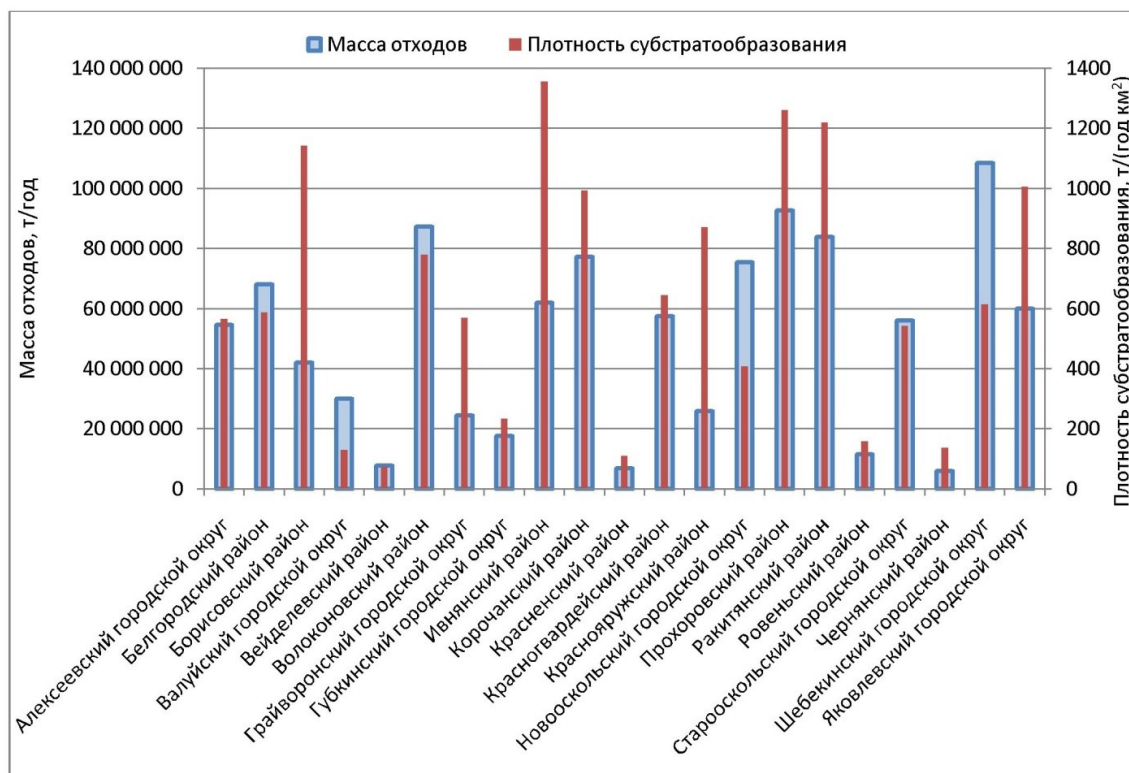


Рис. 3. Гистограмма массы отходов и плотности субстратообразования по муниципальным округам Белгородской области

Произведём сравнение объема потребления природного газа и потенциального объема биометана по муниципальным округам. В большинстве округов потенциальный объем биометана составляет 20-50 % от объема газопотребления. В некоторых сельскохозяйственно развитых округах объем биометана превышает объем газопотребления: Волоконовский (142 %), Ивнянский (108 %) и Прохоровский (104 %) районы. Это позволяет полностью отказаться от поставок природного газа и использовать его как резервное топливо. Однако в 3 муниципальных округах доля биометана не превышает 3 % от газопотребления: Белгородский район (3 %), Губкинский (2 %) и Старооскольский (1 %) городские округа. Необходимо отметить, что потенциальный объем биометана на территории Белгородской области составляет 633194 тыс. м³/год или 11 % от объема потребления природного газа.

Автором разработана экономико-математическая модель системы газоснабжения с использованием биометана. В основу модели положена оптимизационная задача минимизации приведенных затрат в систему газоснабжения:

$$Z_{\text{сг}} = Z_{\text{бм}} + Z_{\text{тс}} + Z_{\text{гб}} + Z_{\text{сп}} = \min, \quad (3)$$

где $Z_{\text{бм}}$ – затраты в биометановую установку, руб; $Z_{\text{тс}}$ – затраты в транспортировку субстрата, руб; $Z_{\text{гб}}$ – затраты в газопроводы биометана, руб; $Z_{\text{сп}}$ – затраты в станцию подачи биометана, руб.

Затраты в биометановую установку определяются затратами в биогазовую установку $Z_{\text{бг}}$, руб и станцию очистки $Z_{\text{со}}$, руб:

$$Z_{\text{бм}} = Z_{\text{бг}} + Z_{\text{со}}. \quad (4)$$

Затраты на транспортировку субстрата определяются расходом топлива, который зависит от объема отходов и расстояния от источника их образования до биометановой установки:

$$Z_{\text{тс}} = C_{\text{т}} \cdot Q_{\text{т}}, \quad (5)$$

где $C_{\text{т}}$ – цена топлива, руб/л; $Q_{\text{т}}$ – расход топлива на доставку отходов, л/км.

Затраты в газопровод для подачи биометана от биометановой установки до системы газоснабжения определяется суммарной длиной сети и стоимостью ее строительства:

$$Z_{\text{гб}} = l_{\text{гб}} \cdot K_{\text{уд}}, \quad (6)$$

где $l_{\text{гб}}$ – длина газопровода для подачи биометана, м; $K_{\text{уд}}$ – затраты в строительство 1 м газопровода, руб/м.

С помощью разработанной модели произведем расчет оптимальных технологических параметров системы газоснабжения биометаном для условий Белгородской области.

Исходные данные:

- производственная мощность животноводческих и птицеводческих предприятий;
- плотность газопотребления на территории муниципальных округов;
- плотность субстратообразования на территории муниципальных округов.

В качестве допущения примем, что потребители газа и источники субстрата (животноводческие и птицеводческие предприятия) расположены на территории муниципальных округов равномерно.

В результате численной реализации математической модели получен массив данных, на основе которого построен график зависимости удельных приведенных затрат в систему газоснабжения биометаном и протяженности газопровода биометана от радиуса действия биометановой установки (рис. 4). Оптимальным радиусом действия будем считать такое значение, при котором удельные приведенные затраты в систему газоснабжения будут минимальны. Для расчета были приняты средние значения для Белгородской области: плотность субстратообразования $q_c = 594 \text{ т/км}^2$, плотность газопотребления $q_f = 223,621 \text{ тыс. м}^3/\text{км}^2$.

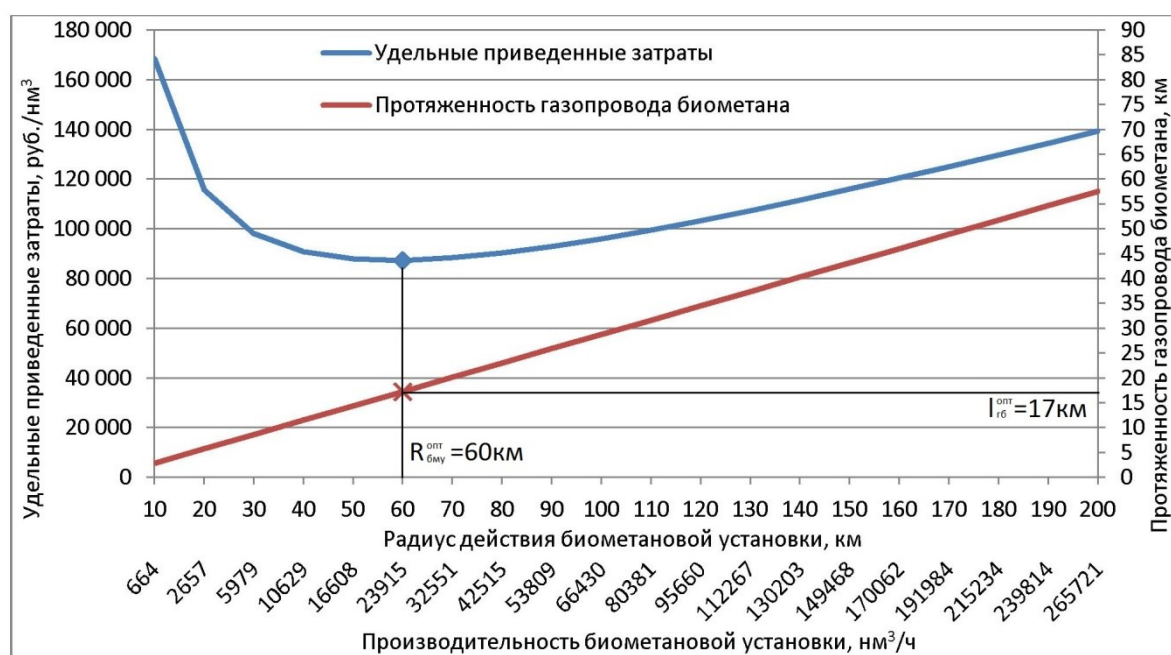


Рис. 4. График зависимости удельных приведенных затрат в систему газоснабжения биометаном и протяженности газопровода биометана от радиуса действия биометановой установки

Анализируя график, можно сделать вывод, что при увеличении производительности биометановой установки с $664 \text{ нм}^3/\text{ч}$ до $5979 \text{ нм}^3/\text{ч}$ затраты в систему газоснабжения снижаются с 168565 руб./нм^3 до 98218 руб./нм^3 или на 41,7 %. При дальнейшем увеличении производительности биометановой установки до $10629 \text{ нм}^3/\text{ч}$ затраты снижаются незначительно до 90808 руб./нм^3 или еще на 4,4 %. При дальнейшем увеличении производительности биометановой установки затраты стабилизируются и достигают минимального значения (87390 руб./нм^3) при производительности $23915 \text{ нм}^3/\text{ч}$. Дальнейшее повышение производительности биометановой установки приводит к возрастанию затрат в систему газоснабжения из-за увеличения радиуса дей-

ствия биометановой установки и, соответственно, стоимости доставки исходного субстрата.

Таким образом, при решении оптимизационной задачи установлено (рис. 4), что оптимальный радиус действия биометановой установки составляет $R_{\text{бму}}^{\text{опт}} = 60 \text{ км}$, а длина газопровода для подачи биометана $l_{\text{гб}}^{\text{опт}} = 17 \text{ км}$. При этом производительность биометановой установки составит $Q_{\text{бму}} = 23915 \text{ нм}^3/\text{ч}$.

На основе результатов расчета разработана схема оптимального расположения биометановых установок на территории Белгородской области (рис. 5). Для утилизации органических отходов животноводческих и птицеводческих предприятий предусмотрена установка 3 биометановых установок. Биометановая установка БМУ 1

расположена в западной части области и перерабатывает отходы Грайворонского, Яковлевского и Шебекинского городских округов, а также Белгородского, Ракитянского, Краснояружского, Борисовского, Ивнянского и Прохоровского районов. Биометановая установка БМУ 2 расположена в северной части области и перерабатывает отходы Губкинского, Старооскольского и Новооскольского городских округов, а также Коро-

чанского, Чернянского, Волоконовского и Красненского районов. Биометановая установка БМУ 3 расположена в восточной части области и перерабатывает отходы Валуйского и Алексеевского городских округов, а также Красногвардейского, Вейделевского и Ровеньского районов. При этом биометановая установка БМУ 1 подает биометан в ГРС-2 Майский, биометановая установка БМУ 2 – в ГРС Новый Оскол, а биометановая установка БМУ 3 – в ГРС Вейделевка.

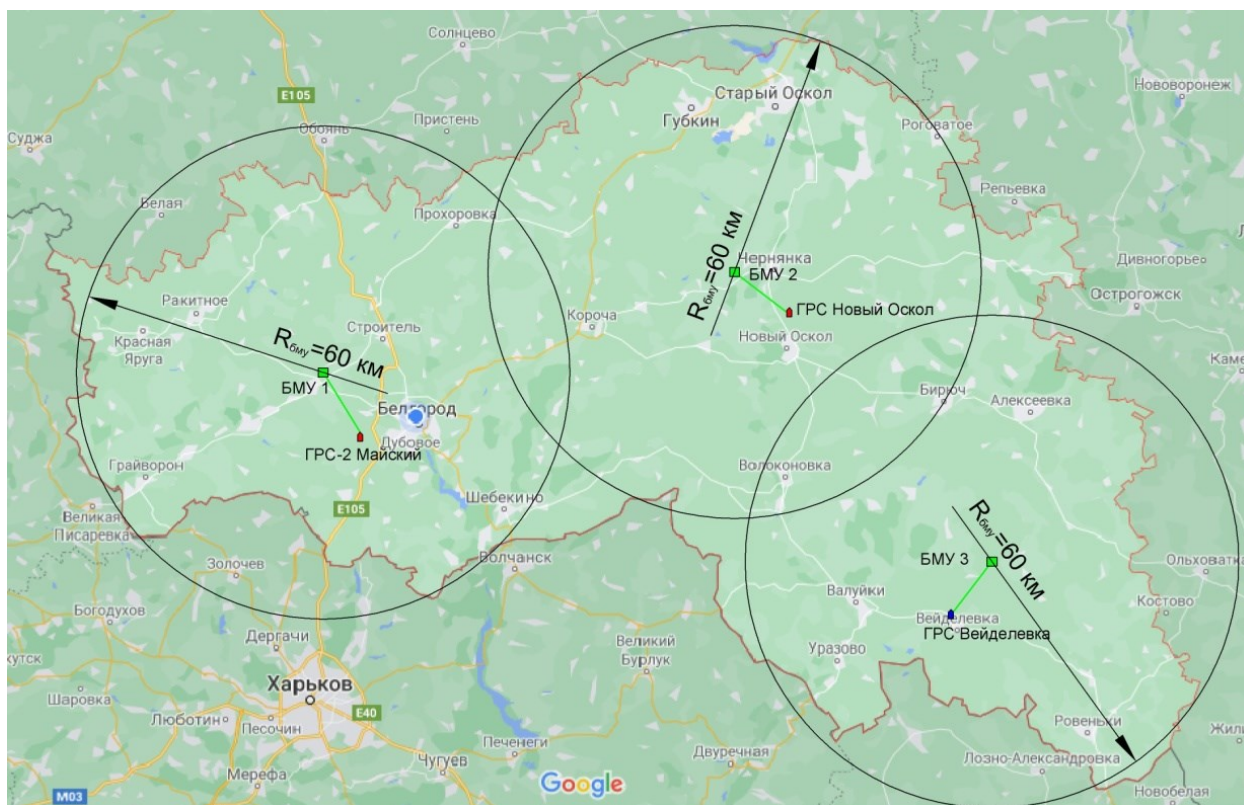


Рис. 5. Схема расположения биометановых установок и газопроводов подачи биометана в системе газоснабжения Белгородской области

Выводы. Проведен анализ газопотребления муниципальных округов Белгородской области, на основании которого построена графическая зависимость и получено выражение для определения годового газопотребления населением муниципального округа от численности населения.

Произведен расчет массы органических отходов животноводческих и птицеводческих предприятий, на основании которого определен потенциал производства биометана по муниципальным округам Белгородской области. Установлено, что потенциальный объем биометана Белгородской области составляет 633194 тыс. м³/год или 11 % от общего объема газопотребления.

Установлены оптимальные значения технологических параметров системы газоснабжения биометаном: производительность $Q_{бму} = 23915$ нм³/ч и радиус действия биометановой установки

$R_{бму}^{opt} = 60$ км, протяженность газовой сети для подачи биометана $l_{гб}^{opt} = 17$ км.

Таким образом, для утилизации органических отходов Белгородской области приняты 3 биометановые установки, разработана схема расположения биометановых установок и газопроводов подачи биометана в системы газоснабжения Белгородской области.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Газификация [Электронный ресурс]. URL <https://www.gazprom.ru/about/production/gasification> (дата обращения: 12.07.2021).
2. Газификация области [Электронный ресурс]. URL <https://belregiongaz.ru/activities/gasification> (дата обращения: 12.07.2021).

3. 2020 European biomethane map Infrastructure for biomethane production [Электронный ресурс]. Систем. требования: AdobeAcrobatReader. URL https://www.europeanbiogas.eu/wpcontent/uploads/2020/06/GIE_EBA_BIO_2020_A0_FULL_FINAL.pdf (дата обращения: 12.07.2021).
4. 2020 EBA Statistical Report 2018 [Электронный ресурс]. Систем. требования: AdobeAcrobatReader. URL https://www.europeanbiogas.eu/wp-content/uploads/2019/05/EBA_Statistical-Report-2018_AbrigedPublic_web.pdf (дата обращения: 12.07.2021).
5. Suwansri S., Moran J. C., Aggarangsi P., Tippayawong N., Bunkham A., Rerkkriangkrai P. A biomethane solution for domestic cooking in Thailand // *Energy for Sustainable Development*. 2014. Т. 23. Pp. 68–77.
6. Hoo P. Y., Patrizio P., Leduc S., Hashim H., Kraxner F., Tan S.T., Ho W.S. Optimal Biomethane Injection into Natural Gas Grid – Biogas from Palm Oil Mill Effluent (POME) in Malaysia // *Energy Procedia*. 2017. Т. 105. Pp. 562–569.
7. Repele M., Ramanis M., Bazbauers G. Biomethane Supply Support Policy: System Dynamics Approach // *Energy Procedia*. 2016. Т. 95. Pp. 393–400.
8. Chinnici G., Selvaggi R., D'Amico M., Pecorino B. Assessment of the potential energy supply and biomethane from the anaerobic digestion of agro-food feedstocks in Sicily Renewable and Sustainable // *Energy Reviews*. 2018. Т. 82(1). Pp. 6–13.
9. Weidenaar T.D. Designing the biomethane supply chain through automated synthesis // *University of Twente*. 2014. 188 p.
10. O'Shea R., Wall D.M., Kilgallon I., Browne J.D., Murphy J.D. Assessing the total theoretical, and financially viable, resource of biomethane for injection to a natural gas network in a region // *Applied Energy*. 2017. Т. 188. Pp. 237–256.
11. Paturska A., Repele M., Bazbauers G. Economic assessment of biomethane supply system based on natural gas infrastructure // *Energy Procedia*. 2015. Т. 72. Pp. 71–78.
12. Fubara T., Cecelja F., Yang A. Techno-economic assessment of natural gas displacement potential of biomethane: A case study on domestic energy supply in the UK // *Chemical Engineering Research and Design*. Т.131. Pp. 193–213.
13. Budzianowski W. M., Brodacka M. Biomethane storage: Evaluation of technologies, end uses, business models, and sustainability // *Energy Conversion and Management*. 2017. Т. 141. Pp. 254–273.
14. Rotunno P., Lanzini A., Leone P. Energy and economic analysis of water-scrubbed biogas upgrading to biomethane for grid injection and transportation application // *Renewable Energy*. 2017. Т. 102. Pp. 417–432.
15. Cucchiella F., D'Adamo I. Technical and economic analysis of biomethane: A focus on the role of subsidies // *Energy Conversion and Management*. 2016. Т. 119. Pp. 338–351.
16. Ионин, А.А. Газоснабжение: Учебник для ВУЗов. 4-е изд., перераб. И доп. М.: Стройиздат. 1989. 439 с.
17. Табунщиков Ю.А., Прохоров В.И., Брюханов О.Н., Жила В.А., Ключко А.К. Цели и задачи оптимизации сетей газораспределения // *Вестник МГСУ*. 2012. № 4. С. 73–77.
18. Медведева О.Н. Разработка эффективных газораспределительных систем: дисс... докт. техн. наук. Саратов: СГТУ им. Гагарина Ю.А. 2015. 447 с.
19. Осипова Н.Н. Разработка научных основ совершенствования региональных и поселковых систем снабжения сжиженным газом: дис... докт. техн. наук. Саратов: СГТУ им. Гагарина Ю.А. 2015. 357 с.
20. Suslov D.Y. Application of Biomethane for Gas Supply Within the Settlements // *J. Phys.: Conf. Ser.* 2018. Т. 1066. 012004.

Информация об авторах

Суслов Денис Юрьевич, кандидат технических наук, доцент кафедры теплогазоснабжения и вентиляции. E-mail: suslov1687@mail.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Поступила 17.07.2021 г.

© Суслов Д.Ю., 2021

Suslov D.Y.

Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov

E-mail: suslov1687@mail.ru

THEORETICAL SUBSTANTIATION OF THE USE OF BIOMETHANE IN GAS SUPPLY SYSTEMS

Abstract. The work is devoted to the urgent problem of using an alternative energy source of biomethane for gas supply to settlements. The effective use of biomethane in gas supply systems requires scientific substantiation, considering the entire range of technological parameters and operating conditions. The methods of graphs and parametric optimization are used to minimize the total reduced costs to the gas supply system to carry out the research. Based on the analysis of gas consumption by the municipal districts of the Belgorod region, a graphical dependence is built and an expression is obtained to determine the annual gas consumption by the population on the population size. The calculation of the mass of organic waste and the density of substrate formation is made, on the basis of which the potential for biomethane production in the municipal districts of the Belgorod region is determined. It has been established that the potential volume of biomethane in the Belgorod region is 633194 thousand m³ / year, or 11% of the total gas consumption. A diagram of the location of biomethane plants and gas pipelines for supplying biomethane to gas networks has been built. The optimal values of the technological parameters of the biomethane gas supply system have been established: the operating range of the biomethane plant depending on the substrate formation density, the length of the gas network for biomethane supply, depending on the gas consumption density.

Keywords: gas consumption, gas supply system, biomethane, biomethane plant, economic costs.

REFERENCES

1. Gasification [Gazifikaciya]. URL <https://www.gazprom.ru/about/production/gasification>. (rus). (date of treatment: 12.07.2021).
2. Gasification of the region [Gazifikaciya oblasti]. URL <https://belregiongaz.ru/activities/gasification>. (rus). (date of treatment: 12.07.2021).
3. 2020 European biomethane map Infrastructure for biomethane production. AdobeAcrobatReader. URL https://www.europeanbiogas.eu/wpcontent/uploads/2020/06/GIE_EBA_BIO_2020_A0_FULL_FINAL.pdf. (date of treatment: 12.07.2021).
4. 2020 EBA Statistical Report 2018. AdobeAcrobatReader. URL https://www.europeanbiogas.eu/wp-content/uploads/2019/05/EBA_Statistical-Report-2018_AbridedPublic_web.pdf. (date of treatment: 12.07.2021).
5. Suwansri S., Moran J. C., Aggarangsi P., Tippayawong N., Bunkham A., Rerkkriangkrai P. A biomethane solution for domestic cooking in Thailand. Energy for Sustainable Development. 2014. Vol. 23. Pp. 68–77.
6. Hoo P.Y., Patrizio P., Leduc S., Hashim H., Kraxner F., Tan S.T., Ho W.S. Optimal Biomethane Injection into Natural Gas Grid – Biogas from Palm Oil Mill Effluent (POME) in Malaysia. Energy Procedia. 2017. Vol. 105. Pp. 562–569.
7. Repele M., Ramanis M., Bazbauers G. Biomethane Supply Support Policy: System Dynamics Approach. Energy Procedia. 2016. Vol. 95. Pp. 393–400.
8. Chinnici G., Selvaggi R., D'Amico M., Pecorino B. Assessment of the potential energy supply and biomethane from the anaerobic digestion of agro-food feedstocks in Sicily Renewable and Sustainable. Energy Reviews. 2018. Vol. 82(1). Pp. 6–13.
9. Weidenaar T.D. Designing the biomethane supply chain through automated synthesis. University of Twente. 2014. 188 p.
10. O'Shea R., Wall D.M., Kilgallon I., Browne J.D., Murphy J.D. Assessing the total theoretical, and financially viable, resource of biomethane for injection to a natural gas network in a region. Applied Energy. 2017. Vol. 188 Pp. 237–256.
11. Paturska A., Repele M., Bazbauers G. Economic assessment of biomethane supply system based on natural gas infrastructure. Energy Procedia. 2015. Vol. 72 Pp. 71–78.
12. Fubara T., Cecelja F., Yang A. Techno-economic assessment of natural gas displacement potential of biomethane: A case study on domestic energy supply in the UK // Chemical Engineering Research and Design. Vol. 131. Pp. 193–213.
13. Budzianowski W.M., Brodacka M. Biomethane storage: Evaluation of technologies, end uses, business models, and sustainability. Energy Conversion and Management. 2017. Vol. 141. Pp. 254–273.
14. Rotunno P., Lanzini A., Leone P. Energy and economic analysis of water-scrubbed biogas upgrading to biomethane for grid injection and transportation application. Renewable Energy. 2017. Vol. 102. Pp. 417–432.
15. Cucchiella F., D'Adamo I. Technical and economic analysis of biomethane: A focus on the role of subsidies. Energy Conversion and Management. 2016. Vol. 119. Pp. 338–351.

16. Ionin, A.A. Gas supply [Gazosnabzhenie]: Textbook for universities. 4th ed., Rev. and add. M.: Stroyizdat. 1989. 439 p. (rus).

17. Tabunshchikov Yu.A., Prokhorov V.I., Bryukhanov O.N., Zhila V.A., Klochko A.K. Goals and objectives of optimization of gas distribution networks [Celi i zadachi optimizacii setej gazoraspredeleniya]. Vestnik MGSU. 2012. No. 4. Pp. 73–77. (rus).

18. Medvedeva O.N. Development of efficient gas distribution systems [Razrabotka effektivnyh gazoraspredelitel'nyh sistem]: dis ... doc. tech.

sciences. Saratov: SSTU named after Gagarina Yu.A. 2015. 447 p. (rus).

19. Osipova N.N. Development of scientific foundations for improving regional and settlement systems for the supply of liquefied gas [Razrabotka nauchnyh osnov sovershenstvovaniya regional'nyh i poselkovykh sistem snabzheniya szhizhennym gazom]: dis ... doc. tech. sciences. Saratov: SSTU named after Gagarina Yu.A. 2015. 357 c. (rus).

20. Suslov D. Y. Application of Biomethane for Gas Supply Within the Settlements. J. Phys.: Conf. Ser. 2018. Vol. 1066. 012004.

Information about the authors

Suslov, Denis Y. PhD. E-mail: suslov1687@mail.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Received 17.07.2021

Для цитирования:

Суслов Д.Ю. Теоретическое обоснование оптимальных параметров систем газоснабжения биометаном // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2021. № 11. С. 49–57. DOI: 10.34031/2071-7318-2021-6-11-49-57

For citation:

Suslov D.Y. Theoretical substantiation of the use of biomethane in gas supply systems. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2021. No. 11. Pp. 49–57. DOI: 10.34031/2071-7318-2021-6-11-49-57

DOI: 10.34031/2071-7318-2021-6-11-58-68

¹Ризаева М.И., ^{1,*}Ладик Е.И., ^{1,2}Перькова М.В., ³Бик О.В.¹Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова²Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого³Российского университета Дружбы Народов

*E-mail: maryam.rizaeva@bk.ru

ВЫЯВЛЕНИЕ ГРАДОСТРОИТЕЛЬНЫХ КОНФЛИКТОВ В СТРУКТУРЕ ИСТОРИЧЕСКОЙ ЗАСТРОЙКИ МАЛЫХ ГОРОДОВ (НА ПРИМЕРЕ Г. ВАЛУЙКИ БЕЛГОРОДСКОЙ ОБЛАСТИ)

Аннотация. На сегодняшний день назрела необходимость оценки исторической застройки малых городов России с целью выявления градостроительных конфликтов в городской среде и определения перспективных направлений их разрешения. Данное исследование направлено на анализ существующих градостроительных конфликтов и раскрытие ресурсного потенциала территории исторической застройки центра малого города на примере г. Валуйки Белгородской области. Авторами исследования применялись конфликтологический и комплексный подходы. Был проведен анализ планировочной, функциональной и транспортной структуры города, а также анализ объектов культурного наследия исторического центра, на их основе составлен историко-культурный опорный план центра города. Рассмотрено современное состояние приречных территорий р. Валуй в центральной части города и выявлен ряд градоэкологических конфликтов, приводящих к деградации прибрежной зоны. Так же выявлены и классифицированы градостроительные конфликты городского центра (социально-функциональные, землепользовательские, транспортные и др.), определены их типы по виду локации (линейные, точечные, площадные), выявлены их участники и обозначены возможные направления их решения. Определены перспективные направления развития исторического центра города и вероятности возникновения новых видов деятельности для объектов культурного наследия.

Ключевые слова: малый город, градостроительный конфликт, городская среда, исторический центр города, историческая застройка, реорганизация.

Введение. Развитие городов является непрерывным историческим процессом. В процессе роста и изменений городской структуры возникают различные градостроительные конфликты. Городская среда – место и одновременно потенциальная сторона конфликта, его предмет и причина. В последние десятилетия все большую актуальность приобретает анализ и оценка градостроительных конфликтов в структуре исторической застройки малых городов России. Конфликты возникают в процессе деятельности по развитию территории, в том числе городов и малых поселений, осуществляемой в виде территориального планирования, градостроительного зонирования, планировки территории, архитектурно-строительного проектирования, строительства, капитального ремонта, реконструкции объектов капитального строительства, эксплуатации зданий и сооружений. Здания и их окружение предполагают хотя бы некоторую форму социальной активности, возникающей как из их предполагаемой функции, так и из случайных столкновений, которые могут вызвать различные конфликты [1]. К неизбежному проявлению градостроительных конфликтов приводят различные факторы, такие как несоответствие пешеходно-транспортной инфраструктуры современным требованиям, необходимость адаптации

объектов культурного наследия к новым функциям, возведение жилых и общественных зданий в структуре сложившейся исторической застройки и пр.

В связи с актуальностью вопроса урбанизации и потенциальной реорганизации проблемных городских территорий, авторами исследования применяется конфликтологический подход. Под градостроительным конфликтом в данном исследовании понимается несбалансированное социально-пространственное взаимодействие в городской среде, которое и создает проблемную «градостроительную ситуацию». При конфликте возникает столкновение интересов двух и более участников градостроительной деятельности, происходят «преобразования физических (территориальных) и семантических ресурсов города» [2].

Целью данной статьи является выявление градостроительных конфликтов на примере территории малого города Валуйки и поиск перспективных направлений их разрешения. *Объект исследования* – историческая застройка малого города Валуйки Белгородской области. *Предмет исследования* – градостроительные конфликты в структуре исторической застройки г. Валуйки.

Задачи исследования:

- определить градостроительные конфликты в структуре исторической застройки города;

- обозначить перспективные направления их разрешения.

Материалы и методы. Авторами исследования применялись комплексный, конфликтологический и ландшафтно-экологический подходы. Были использованы методы градостроительного, ретроспективного и графоаналитического анализа, фотофиксация.

Конфликтологический подход является относительно новым в сфере градостроительства. Исследования пространственного аспекта конфликтов проводили американские социологи Л. Вирт, Э. Берджесс, М. Кастельс. Конфликты в структуре природного каркаса территорий рассматривали в своих работах отечественные ученые: Алексеенко Н.А., Дроздов А.В., Алексеев Ю.В., Самойлова Н.А. Градостроительные конфликты изучены в работах М.В. Перьковой, А.Г. Вайтенса, Кончкова С.М., Черепанова К.А., Байновой М., Моисеева Ю. [3, 4, 13]. Изучение вопроса городской среды как архитектурного контекста для проектирования и реконструкции территории, его взаимосвязь с общепринятой моделью градостроительного развития, можно проследить в трудах Т. Дридзе [11], К. Александра, Л. Когана, А. Крашенинникова, М.В. Шубенкова, Е.О. Фрейдина. В работах А.В. Нефедова, И.А. Добрицина, С. Бозри, Г. Эдельмана, Б. де Мелдера, Л. Вирта, Э. Берджесса, Д. Форестера, Б. Хандсона, В. Ителльсона [5–7] отражен анализ социально-пространственного взаимодействия. Градостроительные конфликты в системе расселения Белгородской области рассматривались в работах Перьковой М.В., Вайтенса А.Г., Баклаженко Е.В., Рощупкиной О.Е. [18–20].

Основная часть. Первым шагом при выявлении и разрешении градостроительных конфликтов является анализ развития территории населенного пункта в исторической ретроспективе [8].

Малый исторический город Валуйки - самый южный в Белгородской области. Расположен на высоком правом берегу реки Валуй, в 3 км от её впадения в реку Оскол, в 152 км к юго-востоку от Белгорода, в 15 км от границы с Украиной. Исторически г. Валуйки входил в укрепленную линию на южных рубежах Русского царства (Белгородская засечная черта). Первая крепость Валуйки была возведена в 1593 г. на Муравском шляхе при впадении реки Валуй в р. Оскол. Крепость представляла собой рубленый город, расположенный на высоком правобережном обрыве реки Валуй. Стены города были дубовые, венечные, двойные. Высота их достигала 5 м. Пространство между срубами шириной 2 метра через каждые 6 метров перегораживали внутренние стенки. Образовывались, таким образом, замкнутые секции

– «городки», которые были заполнены землей. Внешние срубы стен на 1,5–1,7 м. выше внутренних. Верхняя часть их «обламы» в виде карнизов выступали наружу. Стены крепости над обламами имели лубяную односкатную крышу с уклоном в наружную сторону. Над этой крышей, с помощью специальных опор, укладывались тяжелые круглые бревна – катки, предназначенные для поражения неприятеля во время штурма стен. На уровне верха внутреннего сруба находился мост или пол, на котором могли размещаться защитники [9, 10]. Освоение города происходило по обоим берегам реки Валуй. Первоначально планировочная схема носила регулярный характер и имела прямоугольную сетку улиц. Уже в XVII в. наблюдалось экологические проблемы в прибрежной зоне реки Валуй. Река сильно обмела, заилилась, появились заболоченные участки.

Кроме того, город Валуйки исторически является транспортным узлом регионального значения. В 1895 г. была введена в эксплуатацию Харьковско-Балашовская линия частных Юго-Восточных железных дорог, в городе Валуйки была основана одноименная станция. В 1897 г. Юго-Восточными железными дорогами было завершено сооружение линии от Валук до Ельца. Станция Валуйки стала узловой. В настоящее время станция в городе Валуйки также является узловой для Белгородского региона Юго-Восточной железной дороги РЖД. Станция находится на пересечении железнодорожных магистралей Москва – Валуйки – Луганск и Купянск – Валуйки – Лиски.

На сегодняшний день площадь города составляет 35 км². По последним данным (2020 г.) население 34 159 человек. Также город Валуйки является одним из четырех городов с социальной инфраструктурой для жителей прилегающих сельских поселений. В настоящее время город имеет комбинированную сетку улиц, в центральной и юго-восточной частях сохраняется регулярная застройка квартального типа, а в западной периферийной части города сформировалась лучевая планировочная структура.

Исторический центр г. Валуйки разделен природной композиционной осью – малой рекой Валуй. Композиционным ядром города является открытое общественное пространство площади. В центральной части города сохранились фрагменты исторической застройки, объекты культурного наследия регионального значения, в их числе как памятники жилой и общественной архитектуры (Знаменская и Николаевская церкви по ул. Красная площадь, дом Олейниковых и др.), так и промышленной (Винокурный завод Добычина по ул. Октябрьская). Кроме того, в зоне

прибрежной территории р. Валуй местами сохранились до наших дней археологические ландшафты – части земляных валов Валуйской крепости (рис.1). Рядом с ними воссоздан фрагмент крепостной стены.

шафты – части земляных валов Валуйской крепости (рис.1). Рядом с ними воссоздан фрагмент крепостной стены.

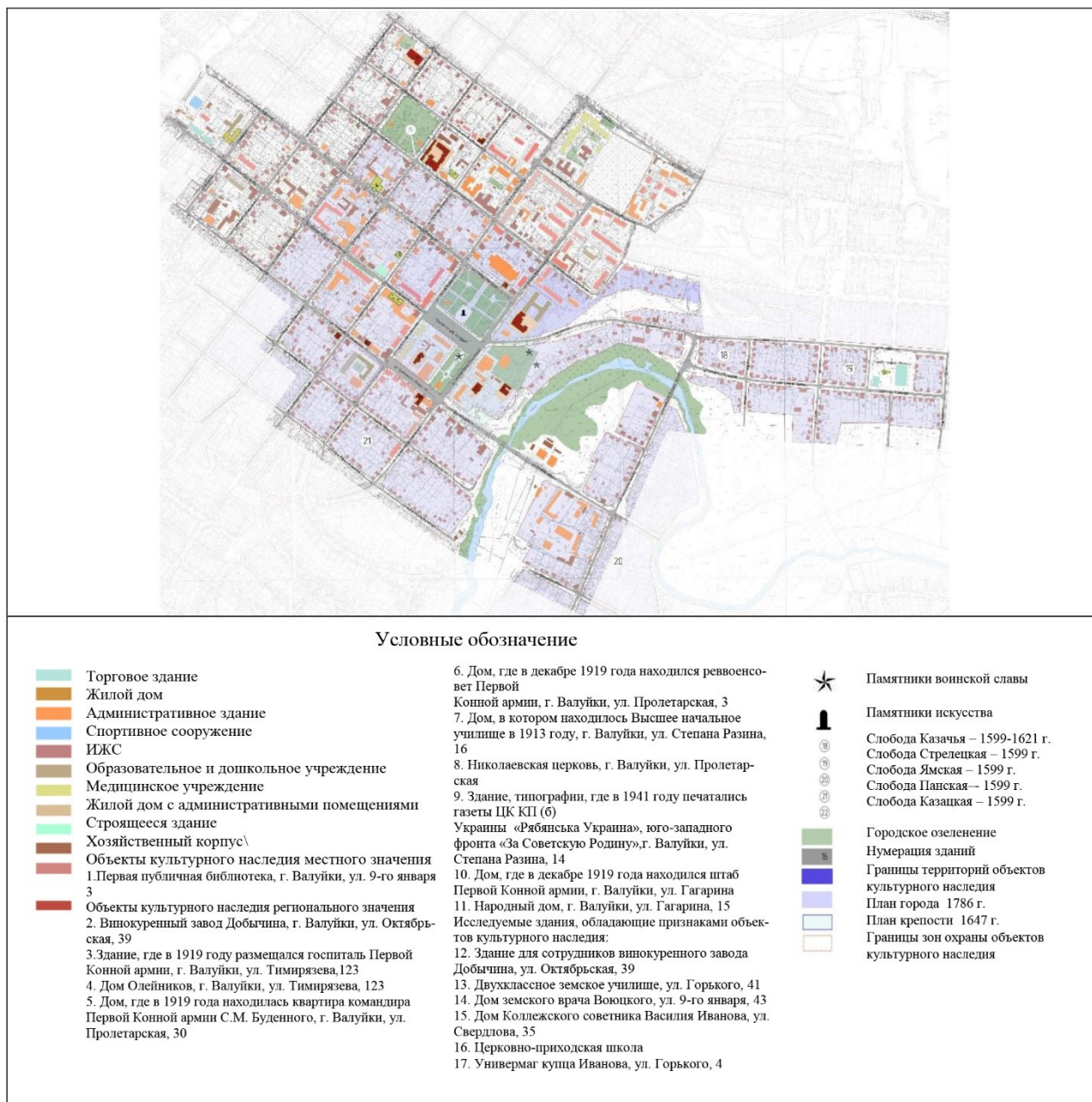


Рис. 1. Историко-культурный опорный план центральной части г. Валуйки.

Сост. Колесникова Л.И., Верегина А.А.

Современные открытые общественные и озелененные пространства различных иерархических уровней также в основном сосредоточены в центральной части города. К зеленым рекреационным пространствам уровня город относятся: Центральный парк в границах улиц 9 января, Степана Разина, 1 мая, Аллея героев по ул. Степана Разина – ул. Красная площадь, городской парк культуры и отдыха в границах улиц Октябрьская, Гвардейская, Тимирязева, Гагарина. Открытые общественные пространства уровня город представлены центральной площадью,

привокзальной площадью, а также пространствами, приуроченными к объектам городского значения, зданию Центра культурного развития на пересечении улиц Луначарского – Степана Разина и Валуйскому историко-художественному музею. Основные зеленые массивы формируются вдоль берегов р. Валуй (рис.2). Однако в настоящее время они являются неорганизованными, отсутствует благоустроенная набережная.

Авторами исследования был проведен градостроительный анализ современного состояния территорий исторической застройки г. Валуйки с

использованием конфликтологического подхода. Согласно разработанной М.В. Перьковой классификации, градостроительные конфликты подразделяются на землепользовательские, социально-функциональные, транспортные, нормативно-правовые, имущественные. Эти пять видов градостроительных конфликтов классифицируются по группам [3]: по иерархическому уровню; по

продолжительности; по способу возникновения; по характеру проявления; по стратегии развития (урегулирования); по виду локации. В случае, если конфликт имеет землепользовательский или социально-функциональный характер, социальные связи и разрывы непосредственно отражаются в городской планировке.



Рис. 2. Современная структура общественных и рекреационных пространств г. Валуйки

Согласно градостроительному анализу территории города Валуйки авторами были выявлены **землепользовательские, социально-функциональные, транспортные и экологические** градостроительные конфликты различных иерархических уровней.

Землепользовательские конфликты в структуре города Валуйки (рис. 3) имеют площадную локацию. Причиной данного градостроительного конфликта являются особенности функционального зонирования города: промышленная зона граничит с жилой застройкой и рекреационной зоной (по ул. Суржиков, ул. Никольская), что влечет за собой шумовые и другие неблагоприятные воздействия для местного населения. В качестве перспективного направления решения данной проблемы можно рассматривать увеличение количества зеленых насаждений и создание защитной зеленой буферной зоны, ограждающей жилую застройку от негативных воздействий промышленной зоны.

Социально-функциональные конфликты в основном носят точечный характер, сосредоточены в центральной части города и возникают вследствие расположения объектов культурного наследия в зоне индивидуальной жилой за-

стройки. Одним из таких объектов является объект культурного наследия регионального значения – дом, где в декабре 1919 года находился штаб Первой Конной армии (ул. Пролетарская, 16). Изначально здание было частной гостиницей, затем в 1919 году гостиницу занял штаб первой Конной армии. Характер современного использования: муниципальное бюджетное учреждение дополнительного образования Валуйская детская школа искусств № 1. Основной проблемой является расположение объекта непосредственно в жилой зоне, представляющей собой диссонирующую застройку. Еще одним памятником архитектуры, расположенным в зоне ИЖС и имеющим региональное значение, является дом Олейниковых (г. Валуйки, ул. Тимирязева, 123). Здание построено в русском стиле на рубеже XIX–XX вв. по проекту А.С. Куничева. В современный период в здании располагается Валуйская Епархия Русской Православной Церкви. Объект культурного наследия граничит с диссонирующей застройкой. Одними из возможных способов решения проблемы является обеспечение буферной зоны для объектов культурного наследия [14], реконструкция застройки и благоустройство прилегающей территории.

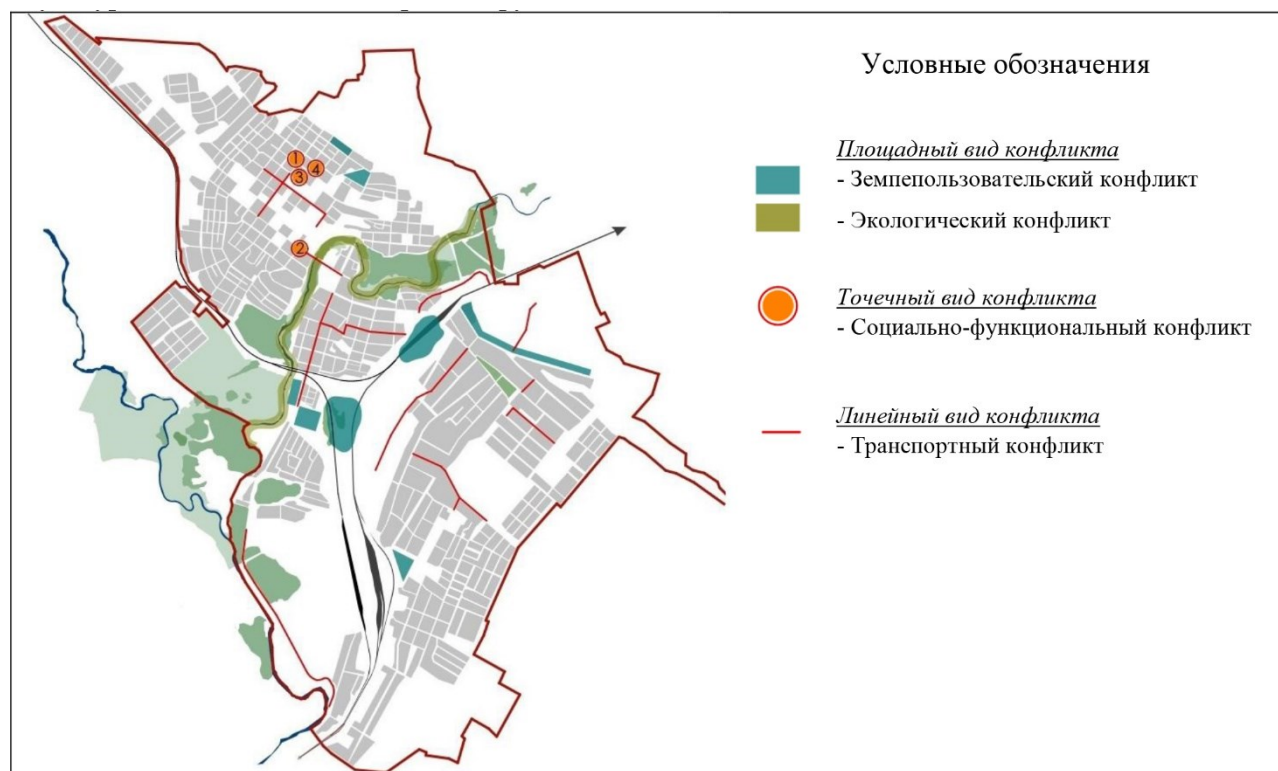


Рис. 3. Схема распространения градостроительных конфликтов в структуре г. Валуйки

Транспортные конфликты. Транспортно-пешеходная сеть является важным приоритетом для города, поскольку исторически рассматриваемая территория является транспортным узлом. Большинство выявленных транспортных конфликтов связаны с развитием города и увеличением количества транспортных средств. Возникают конфликты между участниками автомобильного, пешеходного и велосипедного движения. Факторами, провоцирующими развитие такого конфликта, являются уплотнение застройки, излишняя нагрузка транспортной сети с непредусмотренным необходимым количеством парковочных мест. Данные конфликты зачастую имеют линейную структуру, встречаются также точечный тип. Транспортные конфликты распространены на улицах 9 Января, ул. Гагарина, ул. Степана Разина, ул. Демьяна Бедного, ул. Никольская, ул. Комсомольская, ул. Транспортная, ул. Григорьева, переулке Энергетиков, 2-ом Школьном переулке, Молодежном переулке, ул. Свободы, ул. Щорса.

При анализе пешеходных маршрутов выявлено, что они не имеют непрерывной структуры в границах города и локализованы в основном в центральной части. Общественные и рекреационные пространства городского значения не имеют непрерывной пешеходной связи. Пешеходное движение между центральной площадью и прибрежной зоной, где располагаются такие значимые объекты как Валуйский историко-художественный музей (здание музея является памятником архитектуры и объектом культурного

наследия регионального значения) и Центр культурного развития, проходит через оживленную магистраль – ул. Степана Разина.

С целью урегулирования транспортных конфликтов необходимо разграничить интересы всех участников движения и сформировать структурированную транспортно-пешеходную сеть. Перспективными направлениями устранения проблемы являются ремонт и реконструкция существующих дорог, организация дополнительных парковочных пространств с оптимальным количеством машиномест, а также внедрение достаточного количества городского транспорта и общественных остановок, организация велодорожек. В качестве направления разрешения конфликтов по отношению к пешеходной сети можно рассматривать:

- формирование непрерывной пешеходной сети для обеспечения оптимальной беспрепятственной связи общественных и рекреационных пространств городского и местного значения;
- организация подземного либо надземного пешеходного движения (пешеходных переходов) в центральной части города на пересечении пешеходных потоков и оживленных автомагистралей (по ул. Степана Разина);
- организацию дополнительных пешеходных связей в отдаленных районах с индивидуальной жилой застройкой;
- развитие велосипедной инфраструктуры;
- обеспечение безбарьерной среды для маломобильных групп населения.

В ходе исследования города Валуйки также был выявлен достаточно крупный **экологический конфликт**, приводящий к деградации приречной территории малой реки Валуй. Под приречной территорией понимается непосредственно прилегающая к реке с обеих сторон зона, которая воспринимает как природное влияние реки, так и антропогенное воздействие города [15]. Приречные территории являются важными планировочными элементами городского каркаса, а также выступают в качестве резервных общественно-рекреационных пространств [10]. Выявленный конфликт является достаточно протяженным линейным конфликтом вдоль русла реки Валуй. Деградация прибрежной территории выражается в иссушении и заболоченности прибрежных участков практически на всем протяжении реки и ее обмелении. Данная проблема связана с отсутствием буферной зеленой зоны, несанкционированными свалками на приречных территориях и распашкой пойменных земель под огороды [8].

Возможным направлением устранения экологического конфликта на приречной территории является организация прибрежной зоны, создание экологического зеленого коридора вдоль русла реки. Сформированный экологический коридор может выступать в качестве буферной зоны и содержать в структуре помимо прочих рекреационные городские пространства, спроектированные с учетом принципов снижения антропогенной нагрузки на прибрежные зоны малых рек и их экологической стабилизации.

Достижение поставленных целей возможно на основе ландшафтно-экологического подхода к землеустройству, предполагающего выявление связей в экосистемах и их учет при выборе направлений и видов использования земель, изучение структурно-территориального расположения земельных угодий как природно-хозяйственных систем, их экологического состояния, выявление закономерностей их пространственного развития и учет оптимальной структуры ландшафтов [16].

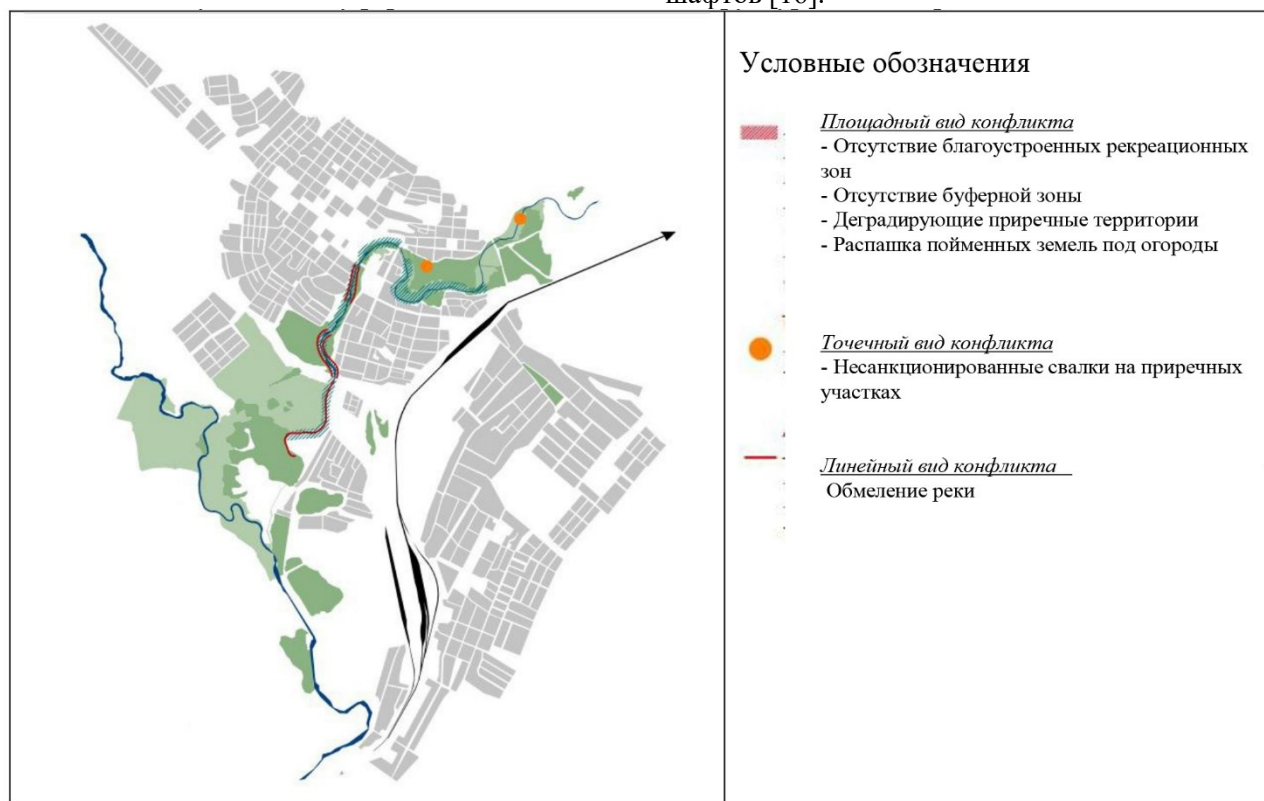


Рис. 4. Схема распространения экологических конфликтов в планировочной структуре г. Валуйки

В процессе реализации планировочных решений в отношении прибрежных зон необходимо опираться на государственную политику в области охраны окружающей среды, обеспечения экологической безопасности и рационального использования природных ресурсов, ориентированной на принципы устойчивого развития страны в целом и отдельных ее регионов в частности. Требуется применения эффективной системы управления процессом принятия решений,

в которой следует опираться на достоверную и своевременную информацию мониторинга поверхностных вод, об источниках антропогенного воздействия на них, о существующих и возможных последствиях этих воздействий [17]. Необходимо учитывать градостроительные, пространственные, визуальные и социальные особенности, позволяющие регулировать степень качества открытых общественно-рекреационных пространств и городской среде путем мониторинга

характеристик, выявляющих благоприятные, нейтральные и неблагоприятные особенности городских территорий с целью оптимальных условий организации открытых общественно-рекреационных пространств [8].

В результате исследования выявлены и классифицированы землепользовательские, социально-функциональные, экологические и транспортные градостроительные конфликты (табл. 1).

Таблица 1

Классификация градостроительных конфликтов в структуре исторической застройки г. Валуйки

Группы градостроительных конфликтов		Землепользовательские	Социально-функциональные	Транспортные	Экологические
по иерархическому уровню	уровня город		10	2	1
	уровня район города	1			1
	локального уровня				
по продолжительности	временные	1	3	13	
	постоянные		7	2	2
по характеру проявления	дисбаланс		10	1	1
	дисфункция	1		13	1
по видам локации	точечные		10	1	
	линейные			13	
	площадные	1			

Таким образом, процесс выявления и разрешения градостроительного конфликта включает:

1. *Диагностику конфликтов и предконфликтных ситуаций.* Проводятся исследования существующей территории, выявляются участники градостроительной деятельности. Также важно определить проблемные ситуации, которые являются потенциальными конфликтами.

3. *Общественную консультацию (в отношении инцидента).* Инцидентом для открытой инсценируемой стадии конфликта стоит считать информирование, после или в процессе которого выявляются и уточняются позиции (интересы, ценности, мотивы, их носители), а также потенциально возможные конфликты.

4. *Сбалансированное противодействие.* Стейкхолдеры формируют собственные позиции относительно проекта и других участников конфликта (уточняются представления о пространстве, требованиях, интересах и ценностях, границы между позициями, предметы конфликтов). На этом этапе в поле конфликта должны быть выявлены позиции существующие, отсутствующие (представляются через экспертов, планировщиков, нормативные требования) и потенциальные (будущих пользователей проектируемого пространства).

5. Переход к взаимодействию:

- составляется карта градостроительных конфликтов на рассматриваемой территории;

- оценивается проблемная и конфликтная сторона взаимодействия – фиксируются и описываются пересечения, проблемные точки, для которых необходимо сформулировать предложения по разрешению градостроительного конфликта;

- формулируются предложения по развитию территорий, включающие не только планировочные и социокультурные, но и управленческие, объединяющие позиции всех участников и позволяющие дифференцировать решения по различным критериям.

В качестве первого этапа пространственного развития территорий возможна разработка поисковых эскизов: проведение клаузуры, конкурса идей, проведение различных состязательных и конкурсных процедур для выбора наилучших решений, отвечающих комплексному решению проблемы с целью конструктивного взаимодействия конфликтующих сторон.

6. *Конструктивное взаимодействие.* Разработка рекомендаций по развитию территории планировочными и архитектурными методами в градостроительных проектах принимают форму программы социокультурного развития, управленческих решений и юридических процедур.

7. *Нормализация отношений между участниками градостроительной деятельности.* Публичная презентация (концепции, планировочных решений), в процессе которой принятые решения верифицируются участниками ситуации (насколько учтены интересы и соответствует ли это принятым критериям оценки); фиксируется соглашение сторон конфликта (возможно – в юридической форме протокола или иной); прорабатываются шаги по реализации проекта (кратковременные, среднесрочные, долгосрочные). Именно на этом этапе стоит проводить публичные слушания, если требуются соответствующие юридические процедуры, формировать окончательное техническое задание на разработку проектной (градостроительной) документации, оформлять организационный уровень управления реализацией намеченных шагов (товарищество собственников, ассоциации, образовательные и иные проекты).

Выводы. Градостроительный анализ с использованием конфликтологического подхода позволяет структурировать процесс проектирования как управления взаимодействием противостоящих позиций, социальных субъектов и пространственных объектов с целью оптимальной реорганизации/развития территории. В результате проведенного исследования существующей городской среды исторического центра г. Валуйки, авторами были выявлены землепользовательские, социально-функциональные, транспортные, экологические градостроительные конфликты и классифицированы по видам.

В настоящий момент исторический центр г. Валуйки нуждается в реорганизации с учетом современных потребностей населения. Перспективными направлениями развития городского центра являются:

- реорганизация территорий близ объектов культурного наследия, работа с диссонирующими объектами, расположенными на прилегающих к памятникам архитектуры участках, реконструкция объектов культурного наследия с приспособлением под современные функции;
- формирование непрерывной оптимальной транспортной сети;
- создание непрерывной пешеходной связи общественных и рекреационных пространств городского значения;
- организация благоустроенной прибрежной территории, разработка рекреационных зон и увеличение количества ограждающих зеленых насаждений.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Roshchupkina O.E., Perkova M.V., Baklazenko E.V., Vaytens A.G. The development of protected natural areas and adjacent territories // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020. 012028. DOI 10.1088/1757-899X/944/1/012028.
2. Самарин А. В. Городские конфликты: пространство решений // Академический Вестник УралНИИПроект РААСН. 2010. №2. С. 27–32.
3. Перькова М.В., Вайтенс А.Г., Баклаженко Е.В. Классификация градостроительных конфликтов // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2018. №12. С. 83–90.
4. Байнова М. Земельные конфликты в процессе градостроительной деятельности // Конфликтология. 2015. №1. С. 161–181.
5. Forester J. Planning in the Face of Conflict // Journal of the American Planning Association. 1987. Pp. 303–314.
6. Hudson B., Galloway T., Kaufman J. Comparison of Current Planning Theories: Counterparts and Contradictions // Journal of the American Planning Association. Vol. 45. 1979. № 4. Pp. 387–398.
7. Ittelson W.H., Proshansky H.M., Rivlin L. G., Winkel G.H. An Introduction to Environmental Psychology. Holt, Rinehart & Winston, 1974. 406 p.
8. Перькова М.В. Градостроительное развитие региональной системы расселения и ее элементов (на примере Белгородской области). Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора архитектуры / Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет. Санкт-Петербург, 2019. 39 с.
9. Сухоруков М. И. Валуйки – форпост Отечества: альбом-летопись. Белгород: «Облтипография», 1999. 216 с.
10. Чепухин А. Г. Волуйка: крепость на южнорусской окраине (судьбы служилых и жилецких людей XVII века) // История военного дела: исследования и источники. 2014. С. 156–416.
11. Дридзе Т.М. Социальная диагностика в градоустройстве // Социологические исследования. 1998. №2. С. 94–98.
12. Дридзе Т.М., Цой Л.Н., Акимкин Е.М. Градоустройство: методология исследования городского конфликта // В контексте конфликтологии: диагностика и методология управления конфликтной ситуацией. Отв. ред. Т.М. Дридзе, Л.Н. Цой. М.: Изд-во Института Социологии РАН, 2001. 176 с.
13. Моисеев Ю.М. Управление градостроительными конфликтами в операционном контексте стратегического планирования // Научные труды Вольного экономического общества России. 2012. №1. Т. 157. 2012. С. 167–194.

14. Комарова Т.П. Приспособление объектов культурного наследия к современному использованию как адаптация в современной среде исторического центра города // Современные тенденции в науке и образовании: Материалы Международной (заочной) научно-практической конференции, Нур-Султан, Казахстан, 15 мая 2020 года. Нур-Султан, Казахстан: Научно-издательский центр "Мир науки" (ИП Вострецов Александр Ильич). 2020. С. 54–57.

15. Оселко Н.Э. Планировочное развитие приречной территории крупнейшего столичного города. автореф. дисс. канд. архитектуры. М., 2001. 181 с.

16. Спесивый О.В., Лисецкий Ф.Н. Оценка интенсивности и нормирование эрозионных потерь почвы в Центрально-Черноземном районе

на основе бассейнового подхода // Региональные геосистемы. 2014. №10 (181). С. 125–132.

17. Дегтярь А.В., Григорьева О.И., Татаринцева Р.Ю. Экология Белогорья в цифрах: монография. Белгород: КОНСТАНТА, 2016. 122 с.

18. Perkova M.V., Baklazhenko E.V., Vaytens A.G. Urban conflicts of the Belgorod regional settlement system and its elements // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2018. 032014.

19. Перькова М.В. Конфликтологический подход в градостроительстве // Архитектура и строительство России. 2018. №2 (226). С. 92–99.

20. Перькова М.В., Заикина А.С. Характеристика открытых общественных пространств как структурных элементов городской // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2016. №7. С. 74–77.

Информация об авторах

Ризаева Марьям Ильхамовна, студент кафедры архитектуры и градостроительства. E-mail: maryam.rizaeva@bk.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Ладик Елена Игоревна, кандидат архитектуры, доцент кафедры архитектуры и градостроительства, E-mail: krushelnitskaya1@rambler.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Перькова Маргарита Викторовна, доктор архитектуры, доцент, профессор. E-mail: perkova.margo@mail.ru. Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого. Россия, 195251, Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д. 29. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Бик Олег Витальевич, кандидат архитектуры, доцент, директор департамента архитектуры. Российский университет Дружбы Народов. Россия, 117198, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, 6.

Поступила 02.07.2021 г.

© Ризаева М.И., Ладик Е.И., Перькова М.В., Бик О.В. 2021

¹Rizaeva M.I., ^{1,*}Ladik E.I., ^{1,2}Perkova M.V., ³Bik O.V.

¹Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov

²Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University

³Peoples' Friendship University of Russia

*E-mail: maryam.rizaeva@bk.ru

IDENTIFICATION OF URBAN CONFLICTS IN THE STRUCTURE OF HISTORICAL BUILDING OF SMALL TOWNS (ON THE EXAMPLE OF VALUYKI, BELGOROD REGION)

Abstract. Today, there is a need to assess the historical development of small cities in Russia in order to identify urban planning conflicts in the urban environment and determine promising directions for their resolution. This study is aimed at analyzing existing urban planning conflicts and disclosing the resource potential of the territory of historical buildings in the center of a small town on the example of Valuyki, Belgorod region. The authors use conflictological and complex approaches. The analysis of the planning, functional and transport structure of the city is carried out. The analysis of the cultural heritage objects of the historical center based on historical and cultural reference plan of the city center is compiled. The current state of the riverside territories of the river Valuy in the central part of the city has been reviewed. A number of urban-ecological conflicts leading to the degradation of the coastal zone have been identified. Urban planning conflicts of the city center (social-functional, land-use, transport, etc.) are also identified and classified, their

types are determined by the type of location (linear, point, areal), their participants and possible directions for their solution are identified. The promising directions of the development of the historical center of the city and the likelihood of the emergence of new types of activities for cultural heritage sites have been determined.

Keywords: *small town, urban planning conflict, urban environment, historic city center, historic buildings, reorganization.*

REFERENCES

1. Roshchupkina O.E., Perkova M.V., Baklazenko E.V., Vaytens A.G. The development of protected natural areas and adjacent territories. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020. 012028. DOI 10.1088/1757-899X/944/1/012028.
2. Samarin A.V. Urban conflicts: the space of solutions [Gorodskie konflikty: prostranstvo resh-enij]. Akademicheskij Vestnik UralNIIProekt RAASN. 2010. No. 2. Pp. 27–32. (rus)
3. Perkova M.V., Vaitens A.G., Baklazhenko E.V. Classification of urban planning conflicts [Klassifikaciya gradostroitel'nyh konfliktov]. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2018. No. 12. Pp. 83–90. (rus)
4. Baynova M.S. Land conflicts in the process of urban planning activity [Zemel'nye konflikty v processe gradostroitel'noj deyatel'nosti]. Konfliktologiya. 2015. No. 1. Pp. 161–181. (rus)
5. Forester J. Planning in the Face of Conflict. Journal of the American Planning Association, 1987. Pp. 303–314.
6. Hudson B., Galloway T., Kaufman J. Comparison of Current Planning Theories: Counterparts and Contradictions. Journal of the American Planning Association. Vol. 45, 1979. No. 4. Pp. 387–398.
7. Ittelson W.H., Proshansky H.M., Rivlin L.G. and Winkel, G.H. An Introduction to Environmental Psychology. Holt, Rinehart & Winston, 1974. 406 p.
8. Perkova M.V. Urban development of the regional settlement system and its elements (on the example of the Belgorod region) [Gradostroitel'noe razvitie regional'noj sistemy rasseleniya i ee elementov (na primere Belgorodskoj oblasti)]. Abstract of the dissertation for the degree of Doctor of Architecture. St. Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering. St. Petersburg, 2019. 39 p. (rus)
9. Sukhorukov M.I. Valuiki – the outpost of the Fatherland: the album is a chronicle [Volujka: krepost' na yuzhnorusskoj okraine (sud'by sluzhilyh i zhileckih lyudej XVII veka)]. Belgorod: "Oblytopografiya", 1999. 216 p. (rus)
10. Chepukhin A.G. Voluika: a fortress on the southern Russian outskirts (the fate of servicemen and residents of the XVII century) [Volujka: krepost' na yuzhnorusskoj okraine (sud'by sluzhilyh i zhileckih lyudej XVII veka)]. Istoriya voennogo dela: issledovaniya i istochniki. 2014. Pp. 156–416. (rus)
11. Dridze T.M. Social diagnostics in urban planning [Social'naya diagnostika v gradoustroystve]. Sociologicheskie issledovaniya. 1998. No. 2. Pp. 94–98. (rus)
12. Dridze T. M., Choi L.N., Akimkin E.M. Development: the study of urban conflict [Gradoustroystvo: metodologiya issledovaniya gorodskogo konflikta]. In the context of conflict resolution: diagnosis and management methodology conflict situation. Publishing house of the Institute of Sociology, 2001. 176 p. (rus)
13. Moiseev Yu. M. Managing urban planning conflicts in the operational context of strategic planning [Upravlenie gradostroitel'nymi konfliktami v operacionnom kontekste strategicheskogo planirovaniya]. Scientific works of the Free Economic Society of Russia 2012. No. 1. Vol. 157. 2012. Pp. 167–194. (rus)
14. Komarova T.P. Adaptation of cultural heritage objects to modern use as adaptation in the modern environment of the historical center of the city [Prisposoblenie ob'ektov kul'turnogo naslediya k sovremennomu ispol'zovaniyu kak adaptaciya v sovremennoj srede istoricheskogo centra goroda]. Materialy Mezhdunarodnoj (zaочноj) nauchno-prakticheskoy konferencii, Nursultan, Kazakhstan, May 15, 2020. Nursultan, Kazakhstan: Scientific and Publishing Center "World of Science" (IP Vostretsov Alexander Ilyich) 2020. Pp. 54–57. (rus)
15. Oselko N.E. Planning development of the riverine territory of the largest metropolitan city [Planirovochnoe razvitie prirechnoj territorii krupnjshego stolichnogo goroda]. autoref. diss. cand. architecture. Moscow, 2001. 181 p. (rus)
16. Spesivy O.V., Lisetsky F.N. Assessment of the intensity and normalization of soil erosion losses in the Central Chernozem region based on the basin approach [Ocenka intensivnosti i normirovanie erozionnyh poter' pochvy v Central'no-CHernozemnom rajone na osnove bassejnovogo podhoda]. Regional geosystems. 2014. No. 10 (181). Pp. 125–132. (rus)
17. Degtyar A.V., Grigorieva O.I., Tatarintseva R.Yu. Ecology of the Belogorye in numbers: a monograph [Ekologiya Belogor'ya v cifrah: monografiya]. Belgorod: CONSTANTA, 2016. 122 p. (rus)
18. Perkova M.V., Baklazhenko E.V., Vaytens A.G. Urban conflicts of the Belgorod regional settlement system and its elements. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2018. 032014.

19. Perkova M.V. Conflictological approach in urban planning [Konfliktologicheskij podhod v gradostroitel'stve]. Architecture and construction of Russia. 2018. No. 2 (226). Pp. 92–99. (rus)

[Harakteristika otkrytyh obshchestvennyh prostanstv kak strukturnykh elementov gorodskoj]. Bulletin of BSTU named after V. G. Shukhov. 2016. No. 7. Pp. 74–77. (rus)

20. Perkova M.V., Zaikina A.S. Characteristics of open public spaces as structural elements of urban

Information about the authors

Rizayeva, Maryam I. Student. E-mail: maryam.rizaeva@bk.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. 46, Kostyukova str., Belgorod, 308012, Russia.

Ladik, Elena I. PhD, Assistant professor. E-mail: krushelnitskaya1@rambler.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. 46, Kostyukova str., Belgorod, 308012, Russia.

Perkova, Margarita V. Doctor of Architecture, Professor. E-mail: perkova.margo@mail.ru. Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, 29, Polytechnicheskaya st., St. Petersburg, 195251, Russia. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. 46, Kostyukova st., Belgorod, 308012, Russia.

Bik, Oleg V. PhD of Architecture, Associate professor. Peoples' Friendship University of Russia. Miklukho-Maclay st., 6. Russia, Moscow, 117198

Received 02.07.2021

Для цитирования:

Ризаева М.И., Ладик Е.И., Перькова М.В., Бик О.В. Выявление градостроительных конфликтов в структуре исторической застройки малых городов (на примере г. Валуйки Белгородской области // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2021. № 11. С. 58–68. DOI: 10.34031/2071-7318-2021-6-11-58-68

For citation:

Rizaeva M.I., Ladik E.I., Perkova M.V., Bik O.V. Identification of urban conflicts in the structure of historical building of small towns (on the example of valuyki, belgorod region). Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2021. No. 11. Pp. 58–68. DOI: 10.34031/2071-7318-2021-6-11-58-68

DOI: 10.34031/2071-7318-2021-6-11-69-77

***Борисов С.В., Рагулина А.В.**

Московский архитектурный институт (Государственная академия)

*E-mail: borisov-sv@inbox.ru

К ВОПРОСУ ОБ ИССЛЕДОВАНИИ ПОДЗЕМНОЙ АРХИТЕКТУРЫ ХРИСТИАНСТВА

Аннотация. Подземная архитектура, духовно и исторически связанная с Христианством, представляет несомненный интерес для исследования. Указанное направление в архитектуре образует ряд самобытных типологических групп. В их числе объекты, связанные с христианскими святынями, начиная с первых веков новой эры. К подземной архитектуре относятся отдельные пещерные храмы, мартирии, крупные монастырские комплексы, объекты, сочетающие светскую и богослужебную направленности. С рассматриваемой тематикой соотносятся крипты и храмовые подклеты. Не смотря на очевидность существенных духовных и строительно-технологических ограничений, в архитектуре подземных храмов присутствует значительная свобода в компоновке богослужебных пространств. Многие объекты, относящиеся к доиконоборческому периоду, либо к синодальному периоду Русской Церкви, являют не встречающиеся в надземных храмах композиционные решения и их идейно-символические обоснования. Объединение типологических групп подземной архитектуры Христианства в целостное исследование представляется плодотворным для понимания истоков и разработки принципов развития уникальной и малоизвестной составляющей храмового зодчества.

В настоящей статье обоснована актуальность комплексного анализа подземной архитектуры Христианства. Определена цель исследования – изучение теоретико-богословских основ и разработка методики современного развития традиции подземной архитектуры Христианства. Цель работы структурирована на логически связанные группы локальных задач. Методика исследования базируется на теологическом подходе, обосновывающем архитектурно-композиционные особенности исходя из историко-богословских и практических богослужебных позиций.

Ключевые слова: архитектура, Христианство, методика проектирования, теологический подход, подземный храм, пещерный монастырь.

Введение. В настоящее время актуален поиск истоков, первооснов христианской традиции в материальной культуре. Основополагающее понятие о преимущественной «внутренней» духовной красоте, определяющей внешний облик, как человека, так и создаваемых им объектов, генетически связано с подземной архитектурой, для которой внешнее выражение исключено, или значительно сокращено. Изучение богословия, символики и архитектуры подземных храмовых комплексов, восходящих к первым векам новой эры, является плодотворным в свете указанной проблемы.

Для изучения рассматриваемой тематики существует обширная аналитическая база, отраженная в научных исследованиях. Христианские катакомбы на территории современной Италии [1] проанализированы в работах П.Б. Шаскольского [2], Т.Ю. Воробьевой, А.В. Крамера. Росписи в катакомбах Рима исследованы в трудах Н.В. Покровского, Т. Зуйковой. История архитектуры христианских катакомб рассмотрена в исследованиях Н.И. Брунова.

Исторический аспект пещерных культовых сооружений Каппадокии [3] (Византия, ныне на территории Турции) дан в работах М.В. Биби-

кова, Р. Остерхаута [4], И.Н. Попова. Византийским росписям в Каппадокии посвящены труды Н.В. Квливидзе.

История пещерных культовых сооружений в России отражена в трудах О.Г. Кирьяновой [5], И.А. Агапова, Т.А. Бобровского, Ю.Ю. Шевченко [6]. Классификация культовых пещер европейской части России разработана В.В. Степкин [7–9].

Крымские пещерные храмы рассмотрены в работах Ю.М. Могаричева [10], Н.В. Днепровского [11], А.Ю. Виноградова, М.С. Желтова, В.Н. Даниленко, Н.И. Репникова, А.Г. Герцен [12]. Литургическое устройство пещерных храмов Крыма рассматривает Н.Е. Гайдуков [13]. Роспись крымских пещерных сооружений исследована А.С. Ергиной.

Пещерным монастырям Воронежского и Белгородского края посвящены исследования А.О. Амеликина, В.И. Плужникова, В.В. Степкина [7], Н. Никольского, В.Н. Тевяшова, Е.Ю. Захарова, С.К. Кондратьевой [14], П.Ю. Вовженя [15]. История Киево-Печерской Лавры представлена в трудах Е.А. Кивлицкого, С.К. Килессо. Работы В.М. Колпаковой посвящены историческому анализу, а труды Я.В. Литвиненко [16] датировке стенописи пещер. Псково-Печерский

монастырь, в том числе его пещеры, исследованы в работах И.И. Лагунина.

Ведутся работы по выявлению характера пещерных комплексов на территории России и их устройству; по созданию кадастра, базы и каталога пещерных христианских религиозных комплексов (монастыри, церкви, источники) на территории Российской Федерации [17]. Современные возможности использования резервов подземных уровней городов рассмотрены А.В. Анисимовым [18].

Незначителен опубликованный археологический материал при замечательной сохранности архитектурных форм. Специальных научных конференций, посвященных христианским пещерным комплексам, проведено весьма мало. Большинство историков архитектуры рассматривают подземные храмы в отрыве от богослужебной практики. Проводящие аналогичные исследования священники аргументировано опровергают выводы многих светских исследователей об атрибуции тех или иных структурных частей объектов. Пещерные объекты анализируются изолированно от подземных частей храмов, подклетов, крипт, тогда как их совместное исследование могло бы принести интересные результаты. В качестве практических результатов в имеющихся исследованиях обыкновенно присутствуют реставрационная и музейная составляющие, современное творческое развитие традиции на рассматривается. Отметим отсутствие комплексных работ, объединяющих анализ исторических и современных аспектов методики создания сакральных подземных пространств, что подтверждает актуальность намеченного исследования. Вместе с тем, анализ литературных источников дает существенную и во многом исчерпывающую фактическую информацию для изучения архитектуры подземных христианских храмов.

Методы. Работа основывается на комплексном методе и включает изучение литературных источников, электронных ресурсов; натурное обследование христианских объектов регионов России; системный анализ сопоставляемых характеристик объектов; объемное моделирование. Особенностью методики исследования является теологический подход, обосновывающий архитектурно-композиционные особенности объектов исходя из историко-богословских и практических богослужебных позиций.

Основная часть. В период раннего Христианства созданы многочисленные подземные храмовые комплексы, в настоящее время являющиеся одними из древнейших сохранившихся религиозных христианских объектов, возникших задолго до разделения восточной и западной Церк-

вей [19]. Основные события Нового Завета – Рождество и Воскресение Спасителя связаны с пещерами, включенными со временем в качестве особо почитаемых христианских святынь в храмы. Возведение подземных монастырей продолжалось на протяжении всего известного периода распространения Христианства на Востоке и в Европе, древнейшая традиция не угасала в России вплоть до XIX века. Подземные религиозные объекты являются важной составляющей истории Русской Православной Церкви. На территории России пещерные монастыри строились в X–XIX веках в Киевской, Волынской, Черниговской, Харьковской, Воронежской, Курской, Тамбовской, Нижегородской, Пензенской, Московской, Петербургской, Псковской губерниях. Отдельный аспект исследования – храмы с развитой подземной частью, криптами, отмечающие сакральную составляющую места, возведенные в качестве мемориальных объектов над захоронениями. Областью современной подземной архитектуры Христианства является, помимо объектов, обусловленных собственно религиозной составляющей, строительство храмовых комплексов с развитой функциональной составляющей при ограничениях высотности в условиях не нарушаемой историко-архитектурной застройки или ландшафта.

В первые века новой эры при гонениях на христиан устройство подземных храмов обосновывалось необходимыми мерами по скрытности собраний братьев по вере, в последующие столетия значимость защиты или укрытия уменьшилась. Очевидно, существуют глубинные причины столь длительного существования традиции ухода христианских подвижников «под землю», связанные с догматическими основами и народным пониманием веры, плодотворными для современного изучения (рис. 1). В связи с современным распространением эсхатологических настроений, устройство подземных религиозных комплексов является одним из путей реализации естественного желания уединенной аскетической жизни для наиболее полного воплощения христианских идеалов [20].

Сохранившиеся древнейшие христианские объекты под землей относятся к доиконоборческому периоду, времени вариантного формирования состава и форм богослужения, в том числе Литургического. Долговечный строительный материал пещерных храмов, создающий трудности для позднейших реконструкций, сохранил до наших дней неизменными структурные части храмов в их первоначальных компоновках и следы богослужебного обустройства – Престолов, Жертвенников, темплонов, сосудов-агисм,

баптистериев, вспомогательных помещений. Непростая технология возведения объектов вместе с задачами крайнего духовного самоограничения или монашеского «теснения» не привели к скудости объемно-пространственных решений. Напротив, в архитектуре подземных храмов присутствует значительная свобода в компоновке богослужебных пространств, зачастую превосходящая по неординарности наземные постройки. Сказанное верно и для отечественных объектов синодального периода, где присутствуют относя-

щиеся к «народному» Православию оригинальные, немного наивные идейно-символические обоснования подземной храмовой и монастырской архитектуры. Изучение указанной архитектуры в связи с изменениями богословия и богослужебной практики составит основу методики проектирования, позволяющей непредвзятое рассмотрение устоявшихся композиционных решений храмовых объектов, принимаемых в настоящее время в качестве единственно возможных (рис. 1).



Рис. 1. Позиции актуальности (на рисунке в ветвях креста) и принципы современного проектирования, предполагаемые к разработке (на рисунке в окружностях). В центре – Бахчисарайский Успенский монастырь, Крым (рис. и фото Борисова С.В.)

Архитектура подземных христианских объектов имитирует аналогичные наземные постройки, также, создает свой собственный неповторимый пространственный «язык». Его геометрия основана исключительно на сочетании криволинейных в планах и вертикальных разрезах поверхностей, очерчивающих несущие элементы и псевдо купольные завершения. Поверхности пространственно выявляются светотеневыми эффектами, обусловленными продуманным расположением проемов, зачастую ориентированных

на значимые мемориальные объекты, либо связанные с положением светила в существенные богослужебные моменты. Указанные особенности древнейших христианских построек во многом близки современным положениям нелинейной архитектуры. Изучение формальных геометрических основ и численных соотношений уникального «языка» архитектуры подземных храмов поспособствует развитию традиции на со-

временном этапе с возможным выходом на методические аспекты храмового зодчества в целом (рис. 1).

Большинство пещерных сооружений представляют собой часть сложных многоуровневых комплексов, возведенных в несколько строительных этапов, в которых наземные и подземные части взаимно дополняют друг друга. Существенным аспектом актуальности изучения подземной архитектуры Христианства является нередко возникающая в настоящее время задача создания храмовых объектов на выраженном рельефе с несколькими полуподземными уровнями. Имеется современная тенденция к усложнению функционального наполнения храмовых комплексов при недостаточном понимании взаимосвязей их структурных частей в прерванной на столетие традиции Православия. В связи со сказанным, считаем продуктивным исследование функциональных и коммуникационных взаимосвязей в многоуровневых подземно-надземных комплексах, как актуальных аналогов при создании современных православных религиозных объектов с развитым наполнением социального служения. Представляет интерес изучение опыта поэтапного развития подземно-надземных комплексов [21], как аналога при создании современных храмовых объектов, предполагающих не единовременное возведение (рис. 1).

Подземные и полуподземные структурные части нередко входят в объемно-планировочную композицию храмов. Помимо утилитарных помещений, не представляющих интерес в контексте настоящего исследования, в подклетах располагаются храмы или часовни, крипты, мартирии. Имеются примеры главенствующей роли подземной части, ее пространственной интерьерной связи с надземным уровнем в объектах, возведенных над христианскими святынями. Составной частью исследования является определение роли подземной части храма в создании общего проектного решения, исходя из теоретико-богословских и функционально-планировочных задач.

Иной гранью рассматриваемой тематики являются задачи сохранения исторических и природных ландшафтов в современном строительстве [18]. К факторам, ограничивающим высоту и требующим существенное заглубление зданий, в том числе, храмов, отнесем создание историко-ландшафтных мемориальных комплексов [22], проектирование в не допускающем нарушений историческом архитектурном или архитектурно-ландшафтном пространстве. При создании современных религиозных объектов в

данных условиях, очевидно, актуален опыт архитектуры подземных христианских храмов, опирающийся исключительно на понимание внутреннего пространства объектов [23].

Указанные аспекты формируют состав структурных частей разнопланового изучения архитектуры подземных храмовых комплексов Христианства: богословия и символики, методики создания сакральных подземных пространств; функционального наполнения и структурных взаимосвязей многоуровневых подземно-надземных религиозных комплексов. Гипотезой исследования является утверждение о том, что методика храмового зодчества, обращенная к первоисточкам Христианства и основанная на общехристианском понятии о преимущественной «внутренней» духовной красоте, проявившемся в наибольшей полноте в подземной архитектуре, является актуальной для современности. Разработка положений гипотезы обосновывает существование исторических и современных достижений в области подземной архитектуры Христианства для церковного искусства и архитектуры.

Цель аналитической работы – изучение теоретико-богословских основ и разработка с привлечением исторического опыта методики современного развития традиции подземной архитектуры Христианства с распространением ее на храмовое зодчество в целом (рис. 2). Ограничениями исследования являются:

- в части изучения опыта раннехристианских подземных объектов – территории первоначального распространения Христианства;
- в части регионального историко-архитектурного исследования – административные границы Российской Федерации с прилегающими территориями бывших республик Советского Союза (ранее Российской империи);
- в части методических аспектов современного проектирования – подземные и подземно-надземные объекты Православия, как обусловленные религиозной составляющей, так и при строительстве в условиях не нарушаемой исторической застройки или ландшафта.

Объект исследования – подземные сооружения, используемые с целью совершения богослужений и социального служения православными христианами, называемые нами подземной архитектурой Христианства. Предмет – история, современные методические аспекты и принципы подземной православной церковной архитектуры, актуальные для храмового зодчества в целом.

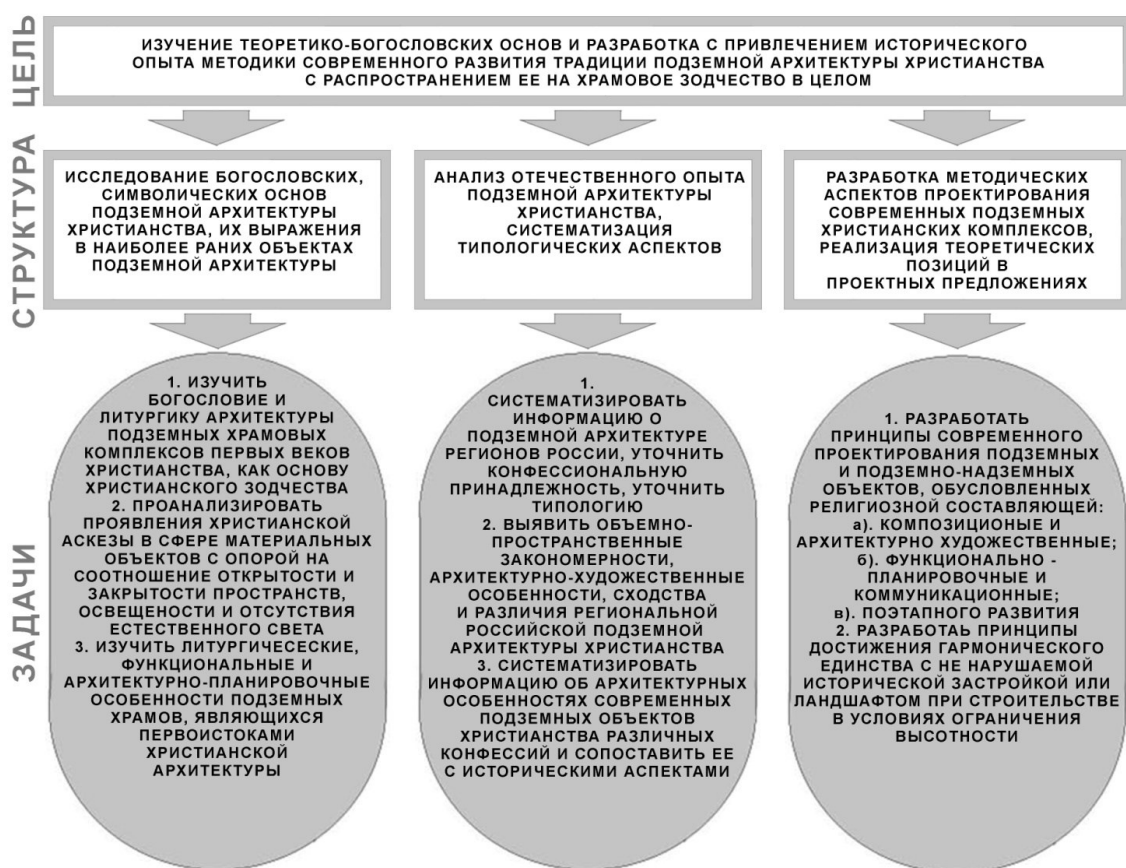


Рис. 2. Методика исследования

Для достижения цели работы представляется необходимым решить следующие задачи (рис. 2):

- изучить богословие архитектуры подземных храмовых комплексов, восходящих к первым векам новой эры, как основу для последующего развития архитектуры Христианства;
- проанализировать проявления христианской аскезы в сфере материальных объектов с опорой на понимание соотношения закрытости и открытости пространств, освещенности и отсутствия света;
- изучить функциональные и архитектурно-планировочные особенности подземных храмов, являющихся первоисточками христианской архитектуры;
- систематизировать информацию о подземной архитектуре Христианства в регионах России, уточнить историческую конфессиональную принадлежность, уточнить на основе объемно-планировочных решений архитектурную типологию указанных объектов;
- выявить объемно-пространственные закономерности, архитектурно-художественные особенности, позиции сходства и различий региональной российской подземной архитектуры Христианства;

- систематизировать информацию об архитектурных особенностях современных подземных объектов Христианства различных конфессий и деноминаций и сопоставить ее с историческими аспектами для выявления направленности развития традиции подземного зодчества;

- разработать методические аспекты православного храмового зодчества, исходя из общехристианского понятия о преимущественной «внутренней» духовной красоте с опорой на аспекты подземной архитектуры Христианства; наметить реализацию указанной методики в современном храмостроении;

- разработать принципы современного проектирования подземных и подземно-надземных объектов Православия, обусловленных религиозной составляющей:

композиционные и архитектурно-художественные принципы формирования подземных и подземно-надземных пространств в зависимости от степени открытости / закрытости и условий освещения;

функционально-планировочные, структурные и коммуникационные принципы организации многоуровневых подземно-надземных православных храмовых комплексов;

принципы поэтапного развития подземно-надземных комплексов при создании современных храмовых объектов, предполагающих не единовременное возведение;

- разработать принципы достижения гармонического единства с не нарушаемой исторической застройкой или ландшафтом при строительстве подземно-надземных православных объектов в условиях ограничения высотности.

Выводы. Современные события в области Христианства постоянно напоминают о присутствии в числе религиозных объектов составляющей подземной архитектуры. В текущем году проведены новые исследования пещерного церковного комплекса так называемой Якорной церкви VI–XVIII вв. в Великобритании, Дербишир, определены периоды ее религиозного и светского использования. Во время торжеств 21 июля 2021 года в честь праздника Казанской иконы Богородицы в возрожденном кафедральном соборе города Казани обнародованы данные об археологических исследованиях и реставрации подземной церкви на месте обретения чудотворной иконы в XVI веке.

Результатом настоящей работы является доказательство актуальности комплексных исследований в области подземной архитектуры христианства. Обоснована плодотворность методики современного развития в традиции подземной архитектуры Христианства с ее распространением на храмовое зодчество в целом. Выдвинута гипотеза о том, что методика храмового зодчества, обращенная к первоисточкам Христианства и основанная на общехристианском понятии о преимущественной «внутренней» духовной красоте, проявившемся в наибольшей полноте в подземной архитектуре, является актуальной для современности. Разработана структура исследовательской работы, состоящая в соответствии с общей целью и задачами из основных последовательных логически связанных этапов:

- исследование богословских, символических основ подземной архитектуры Христианства, их выражения в истоках подземной архитектуры;

- анализ отечественного опыта подземной архитектуры Христианства, систематизация типологических аспектов;

- разработка методических аспектов проектирования современных христианских подземных комплексов, реализация теоретических разработок в проектных предложениях.

Источник финансирования. Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 21-011-44094 «Храмовое зодчество XXI века: теолого-педагогические подходы в архитектурном образовании».

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Тальберг Н.Д. История христианской церкви. М.: Издательство Сретенского монастыря, 2008. 558 с.
2. Шаскольский П.Б. Христианские катакомбы в окрестностях Рима и их изучение (к открытию новых катакомб на Латинской дороге) // Вестник русской христианской гуманитарной академии / подготовка публикации А.В. Свешников, А.И. Клюев, О.В. Метель. 2013. Том 14. выпуск 1. С. 81–93.
3. Кулаковский Ю.А. История Византии: в 3 томах. СПб: Алетейя, 1996. 456 с.
4. Оустерхаут Р. Византийские строители / перевод Л.А. Беляев, редакция и комментарии Л.А. Беляев, Г.Ю. Ивакин. Киев, Москва: Корвин Пресс, 2005. 332 с.
5. Кирьянова О.Г. Пещерные храмы и монастыри России: историко-культурный потенциал // Культурологический журнал [Электронный ресурс]. 2018. №1(31). URL: sr-journal.ru/03_2018_16_37_58_1522168678.pdf (дата обращения 22.07.2021).
6. Шевченко Ю.Ю. К вопросу о методике датировки первохристианских пещерных храмов Восточной Европы // Материалы по археологии и истории античного и средневекового Крыма. 2011. №3. С. 55–147.
7. Степкин В.В. Пещеростроительство в лесостепном Подонье (VIII–XX вв.). Автореферат диссертации кандидата исторических наук. Воронежский государственный педагогический университет. Воронеж, 2005.
8. Степкин В.В. Пещеры на территории монастырей Русской Православной Церкви XVII–XXI вв.: генезис и место в сакральном ландшафте // Вестник Самарского университета. История, педагогика, Филология. 2019. Т. 25. №1. С. 32–42. DOI: 10.18287/2542-0445-2019-25-1-32-42.
9. Степкин В.В. Региональные особенности размещения культовых пещер в европейской части России // Вестник Омского университета. Серия «Исторические науки». 2018. №3(19). С. 90–98.
10. Могаричев Ю.М., Ергина А.С. Фресковые росписи пещерных Георгиевских церквей Инкермана // Византийский временник. 2020. Т. 104. С. 273–298.
11. Днепровский Н.В., Шкурда В.А. К вопросу о первоначальной литургической планировке триконхальных пещерных церквей Эски-Кермена // Материалы по археологии и истории античного и средневекового Крыма. 2011. №3. С. 187–207.
12. Герцен А.Г., Махнева О.А. Пещерные города Крыма. Севастополь, Библекс, 2006. 192 с.

13. Гайдуков Н.Е. Сакральное пространство и литургические устройства в доиконоборческих пещерных храмах юго-западной Таврики // Иеротопия. Создание сакральных пространств в Византии и Древней Руси: сборник по материалам Международного симпозиума, июнь 2004 г. М.: Индик, 2006. С. 186–215.

14. Кондратьева С.К. Дивногорские пещеры в фотоматериалах, рисунках, чертежах // сборник Международного научного форума: Пещеры как объекты истории и культуры, 19–22 апреля 2016 г., Воронеж – Дивногорье, Воронеж: Научная книга, 2016. С. 128–136.

15. Вовженяк П.Ю. Пещерные монастыри Белгородской области // материалы XI Международного молодежного форума «Образование. Наука. Производство», 2019 г. Белгород: Издательство БГТУ им. В.Г. Шухова. С. 77–84.

16. Литвиненко Я.В. Анализ стенописи на древнерусских участках Ближних пещер Киево-Печерской Лавры // Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: История. Политология. 2018. Том 45. № 2. С. 277–284. DOI: 10.18413/2075-4458-2018-45-2-277-284.

17. Долотов Ю.А. Подземные культовые сооружения России: общий обзор // Спелеология и спелестология: сборник материалов IV международной научной заочной конференции. Набережные Челны: НИСПТР, 2013. С. 265–277.

18. Анисимов А.В. Подземные резервы крупнейших городов для развития объектов

культуры // Academia. Архитектура и строительство. 2021. №2. С. 66–73. DOI 10.22337/2077-9038-2021-2-66-73.

19. Якобсон А.Л. Закономерности в развитии средневековой архитектуры. Л.: Наука, 1985. 152 с.

20. Борисов С.В. О современном понимании аскетизма в храмовой архитектуре // Architecture and Modern Information Technologies [Электронный ресурс]. 2017. №4 (41). С. 201–218. URL: http://marhi.ru/AMIT/2017/4kvart17/15_borisov/index.php. (дата обращения 22.07.2021).

21. Борисов С.В. Особенности композиционных решений православных храмов при поэтапном возведении // Новые идеи нового века – 2018: материалы Восемнадцатой Международной научной конференции: в 3 т. / Тихоокеан. гос. ун-т. Т.1. Хабаровск: Изд-во Тихоокеан. гос. ун-та, 2018. С. 39–44. (дата обращения 22.07.2021).

22. Борисов С.В., Левчук В.И. Икона – музейный экспонат в православном храме // Новые идеи нового века – 2017: материалы Семнадцатой Международной научной конференции: в 3 т. / Тихоокеан. гос. ун-т. Т.1. Хабаровск: Изд-во Тихоокеан. гос. ун-та, 2017. С. 23–28. (дата обращения 22.07.2021).

23. Борисов С.В. Современность и традиция в архитектуре православных храмов // «Архитектон: известия вузов» [Электронный ресурс]. 2017. №57 (март). URL: http://archvuz.ru/2017_1/2. (дата обращения 22.07.2021).

Информация об авторах

Борисов Сергей Владимирович, кандидат архитектуры, доцент, заведующий кафедрой «Храмовое зодчество». E-mail: borisov-sv@inbox.ru. Московский архитектурный институт (Государственная академия). Россия, 107031, ГСП, Москва, ул. Рождественка, 11.

Рагулина Анна Васильевна, магистр архитектуры, аспирант кафедры «Храмовое зодчество». E-mail: a.ragulina94@mail.ru. Московский архитектурный институт (Государственная академия). Россия, 107031, ГСП, Москва, ул. Рождественка, 11.

Поступила 31.07.2021

© Борисов С.В., Рагулина А.В., 2021

***Borisov S.V., Ragulina A.V.**

Moscow Architectural Institute (State Academy)

**E-mail: borisov-sv@inbox.ru*

TO THE QUESTION OF STUDING UNDERGROUND ARCHITECTURE OF CHRISTIANITY

Abstract. *Underground architecture, spiritually and historically connected with Christianity, is of undoubted interest for research. This trend in architecture forms a number of distinctive typological groups. Objects associated with Christian shrines dating back to the first centuries of the new era are among them. Underground architecture includes individual cave temples, martyriads, large monastic complexes, objects that combine secular and liturgical orientation. Crypts and temple subfloors correspond to the subject under consideration. Despite the evidence of significant spiritual, construction and technological limitations, there is*

considerable freedom in the layout of liturgical spaces in the architecture of underground churches. Many objects belonging to the pre-iconoclastic period or to the synodal period of the Russian Church are compositional solutions and their ideological and symbolic justifications that are not found in aboveground churches. Combining the typological groups of the underground architecture of Christianity into a holistic study seems fruitful for understanding the origins and developing the principles of the development of a unique and little-known component of temple architecture. In this article, authors substantiate the relevance of a comprehensive analysis of the underground architecture of Christianity. Authors have determined the purpose of the study – the study of theoretical and theological foundations and the development of a methodology for the modern development of the tradition of underground architecture of Christianity. The purpose of our work is structured into logically related groups of local tasks. The research methodology is based on a theological approach that justifies architectural and compositional features based on historical, theological and practical liturgical positions.

Keywords: architecture, Christianity, design methodology, theological approach, underground temple, cave monastery.

REFERENCES

1. Talberg N.D. History of the Christian Church [Istoriya hristianskoj cerkvi]. Moscow: Sretensky Monastery Publishing House, 2008. 558 p. (rus)
2. Shaskolsky P.B. Christian catacombs in the vicinity of Rome and their study (for the discovery of new catacombs on the Latin Road) [Hristianskie katakomby v okrestnostyah Rima i ih izuchenie (k otkrytiyu novyh katakomb na Latinskoj doroge)]. Bulletin of the Russian Christian Humanitarian Academy. Preparation of the publication A.V. Sveshnikov, A.I. Klyuev, O.V. Metel. 2013. Vol. 14. Issue 1. Pp. 81–93. (rus)
3. Kulakovskiy Yu.A. History of Byzantium: in 3 volumes [Istoriya Vizantii: v 3 tomah]. Saint Petersburg: Aleteya, 1996. 446 p. 400 p. 456 p. (rus)
4. Osterhout R. Byzantine builders [Vizantijskie stroiteli]. Translated by L.A. Belyaev, edited and commented by L.A. Belyaev, G.Y. Ivakin. Kiev, Moscow: Korvin Press, 2005. 332 p. (rus)
5. Kiryanova O.G. Cave temples and monasteries of Russia: historical and cultural potential [Peshchernye hramy i monastiri Rossii: istoriko-kul'turnyj potencial]. Culturological journal. 2018. No. 1 (31). URL: cr-journal.ru/03_2018_16_37_58_1522168678.pdf. (accessed: 22.07.2021). (rus)
6. Shevchenko Yu.Yu. On the question of the method of dating the First Christian cave temples of Eastern Europe [K voprosu o metodike datirovki pervohristianskih peshchernyh hramov Vostochnoj Evropy]. Materials on archeology and history of ancient and medieval Crimea. 2011. No. 3. Pp. 55–147. (rus)
7. Stepkin V.V. Cave construction in the forest-steppe Podonye (VIII–XX centuries) [Peshcheroostroitel'stvo v lesostepnom Podon'e (VIII–XX vv.)]. Abstract of the dissertation of the candidate of Historical Sciences. Voronezh State Pedagogical University. Voronezh, 2005. (rus)
8. Stepkin V.V. Caves on the territory of monasteries of the Russian Orthodox Church of the XVII–XXI centuries: genesis and place in the sacred landscape [Peshchery na territorii monastyrej Russkoj Pravoslavnoj Cerkvi XVII–XXI vv.: genezis i mesto v sakral'nom landshafte]. Bulletin of the Samara University. History, pedagogy, Philology. 2019. Vol. 25. No. 1. Pp. 32–42. DOI: 10.18287/2542-0445-2019-25-1-32-42. (rus)
9. Stepkin V.V. Regional features of the placement of cult caves in the European part of Russia [Regional'nye osobennosti razmeshchenie kul'tovnyh peshcher v evropejskoj chasti Rossii]. Bulletin of the Omsk University. The series «Historical Sciences». 2018. No. 3(19). Pp. 90–98. (rus)
10. Mogarichev Yu.M., Yergina A.S. Frescoes of the cave St. George churches of Inkerman [Freskovye rospisi peshchernyh Georgievskih cerkvej Inkermana]. Byzantine Vremennik. 2020. Volume 104. Pp. 273–298. (rus)
11. Dneprovsky N.V., Shkurda V.A. On the question of the initial liturgical layout of the triconchial cave churches of Eski-Kermen [K voprosu o pervonachal'noj liturgicheskoy planirovke trikonhial'nyh peshchernyh cerkvej Eski-Kermen]. Materials on archeology and history of ancient and medieval Crimea. 2011. No. 3. Pp. 187–207. (rus)
12. Herzen A.G., Makhneva O.A. Cave cities of the Crimea [Peshchernye goroda Kryma]. Sevastopol, Biblex, 2006. 192 p. (rus)
13. Gaidukov N.E. Sacred space and liturgical devices in pre-Iconoclastic cave temples of southwestern Tavrika [Sakral'noe prostranstvo i liturgicheskie ustrojstva v doikonoborcheskih peshchernyh hramah yugo-zapadnoj Tavriki]. Hierotopia. The creation of sacred spaces in Byzantium and Ancient Russia: a collection based on the materials of the International Symposium, June 2004. Moscow: Indrik, 2006. Pp. 186–215. (rus)
14. Kondratyev S.K. Divnogorskaya caves in the photographs, the drawings [Divnogorskie peshchery v fotomaterialah, risunkah, chertezhah]. Collection of the International scientific forum: Caves as

objects of history and culture, April 19–22, 2016, Voronezh – Divnogorie. Voronezh: Nauchnaya kniga, 2016. Pp. 128–136. (rus)

15. Wojenek P.Y. Cave monasteries in Belgorod region [Peshchernye monastiri Belgorodskoj oblasti]. Proceedings of the XI International youth forum «Education. The science. Production», 2019. Belgorod: Publishing House of BSTU. Pp. 77–84. (rus)

16. Litvinenko Ya.V. Analysis of wall paintings on Ancient Russian sites of the Near caves of the Kiev-Pechersk Lavra [Analiz stenopisi na drevnerusskikh uchastkah Blizhnih peshcher Kievo-Pecherskoj Lavry]. Scientific Vedomosti of the Belgorod State University. Series: History. Political science. 2018. Vol. 45. No. 2. Pp. 277–284. DOI: 10.18413/2075-4458-2018-45-2-277-284. (rus)

17. Dolotov Yu.A. Underground religious buildings of Russia: general overview [Podzemnye kul'tovye sooruzhenie Rossii: obshchij obzor]. Speleology and speleology: collection of materials of the IV international scientific correspondence conference. Naberezhnye Chelny: NISPTR, 2013. Pp. 265–277. (rus)

18. Anisimov A.V. Underground reserves of the largest cities for the development of cultural objects [Podzemnye rezervy krupnejshih gorodov dlya razvitiya ob'ektov kul'tury]. Academia. Architecture and construction. 2021. No. 2. Pp. 66–73. DOI 10.22337/2077-9038-2021-2-66-73. (rus)

19. Yakobson A.L. Regularities in the development of medieval architecture [Zakonomernosti v razvitii srednevekovoj arhitektury]. L.: Nauka, 1985. 152 p. (rus)

20. Borisov S.V. On the modern understanding of asceticism in temple architecture [O sovremennom ponimanii asketizma v hramovoj arhitekture]. Architecture and Modern Information Technologies. 2017. No. 4(41). Pp. 201–218. URL: http://marhi.ru/AMIT/2017/4kvart17/15_borisov/index.php. (accessed: 22.07.2021) (rus)

21. Borisov S.V. Features of compositional solutions of Orthodox churches during phased construction [Osobennosti kompozicionnyh reshenij pravoslavnyh hramov pri poetapnom vozvedenii]. New ideas of the new century – 2018: materials of the Eighteenth International Scientific Conference: in 3 volumes. Pacific state University. Volume. 1. Khabarovsk: Publishing House of the Pacific State University. 2018. Pp. 39–44. (accessed: 22.07.2021) (rus)

22. Borisov S.V., Levchuk V.I. Icon – a museum exhibit in an Orthodox church [Ikona – muzejnyj eksponat v pravoslavnom hrame]. New ideas of the new century – 2017: materials of the Seventeenth International Scientific Conference: in 3 volumes. Pacific state University. Volume. 1. Khabarovsk: Publishing House of the Pacific State University, 2017. Pp. 23–28. (accessed: 22.07.2021) (rus)

23. Borisov S.V. Modernity and tradition in the architecture of Orthodox churches [Sovremennost' i tradiciya v arhitekture pravoslavnyh hramov]. Architecton: izvestiya vuzov. 2017. No. 57 (March). URL: http://archvuz.ru/2017_1/2. (accessed: 22.07.2021) (rus)

Information about the authors

Borisov, Sergey V. PhD, Assistant professor. E-mail: borisov-sv@inbox.ru. Moscow Institute of Architecture (State academy) Russia, 107031, GSP, Moscow, Rozhdestvenka str., 11.

Ragulina, Anna V. Master of Architecture, Postgraduate student. E-mail: a.ragulina94@mail.ru. Moscow Institute of Architecture (State academy) Russia, 107031, GSP, Moscow, Rozhdestvenka str., 11.

Received 31.07.2021

Для цитирования:

Борисов С.В., Рагулина А.В. К вопросу об исследовании подземной архитектуры христианства // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2021. № 11. С. 69–77. DOI: 10.34031/2071-7318-2021-6-11-69-77

For citation:

Borisov S.V., Ragulina A.V. To the question of studying underground architecture of Christianity. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2021. No. 11. Pp. 69–77. DOI: 10.34031/2071-7318-2021-6-11-69-77

DOI: 10.34031/2071-7318-2021-6-11-78-88

Золотарева М.В.

Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет

E-mail: goldmile@yandex.ru

РЕФОРМЫ УПРАВЛЕНИЯ СТРОИТЕЛЬСТВОМ В XIX ВЕКА В РОССИИ

Аннотация. Статья является продолжением исследования вопросов управления сферой строительства в Российской Империи. XIX в. стал временем принципиально новых подходов в этой отрасли. Преобразования происходят, как в сфере строительного производства, так и в его нормативной базе. Получает развитие архитектурная наука, применяются новые строительные материалы и конструкции, возникают новые отрасли строительного производства (строительство железных дорог, возведение зданий с использованием большепролетных конструкций). Был подготовлен и вышел Строительный Устав, неоднократно переиздаваемый в это время – основной нормативный документ, регулирующие вопросы проектирования строительства и управления этими процессами. Вводятся и совершенствуются Урочные положения, определяющие стандартизацию и интенсификацию строительного производства. Одновременно идет поиск наиболее рациональной системы управления архитектурно-строительным комплексом. Не случайно, что в течении XIX в. три раза меняется головная организация управления строительством, а также подведомственные ей территориальные и местные органы контроля и управления. Вопросы управления передаются в Министерства и приравненные к ним учреждения. Первым государственным органом управления архитектурно-строительным комплексом становится министерство внутренних дел. Однако уже к 1830-м гг. возникает необходимость организации специализированного управления строительством, которым становится Главное управление путей сообщения и публичных зданий. А в 1860-х г. управление строительством меняется снова – головной организацией становится Техничко-строительный комитет Министерства внутренних дел. Все эти преобразование сопровождается соответствующими реформами и на местах.

Ключевые слова: строительство, архитектура, государственное управление строительством, Свод законов.

Введение. Рассмотрение исторического аспекта проблематики управления архитектурно-строительным комплексом является достаточно актуальной темой, позволяющей оценить современные вопросы управления этой сферой.

Изучение темы основывается не только на анализе развития законодательной базы в сфере управления, но и на реалиях архитектурно-строительного процесса. В таблице 1 дается изученность тематики в ее историко-культурных и общетеоретических аспектах:

Таблица 1

Изученность тематики «Реформы управления строительством в XIX в.»

Направленность исследования	Определение	Авторы
Архитектурно-историческая	раскрывающий действенность историко-культурного процесса в его взаимосвязи с архитектурно-строительной практикой XIX в.	Д.Е. Аркин, Г.В. Алферова, Е.А. Белецкая, В.В. Бунин, А.Л. Пунин, Т.Ф. Саваренская, Т.М. Сытина, Д.О. Швидковский и др.
Теоретическая (включая градо- и архитектурно-теоретическую направленность)	определяющий в рассматриваемый период становление мировоззренческой основы зодчества, развитие архитектурной мысли, методологической системы формирования архитектурно-строительного процесса.	Е.А. Борисова, В.Л. Глазычев, Н.Ф. Гуляницкий, Н.А. Евсина, С.П. Заварихин, Е.И. Кириченко, М.В. Нащокина, С.С. Ожегов, Т.С. Проскурякова, С.В. Семенцов, Т.А. Славина и др.
Архитектурно-художественная	определяющий систематику художественных взглядов, архитектурных воззрений архитектурно-стилистической направленности творчества.	Ю.М. Денисов, Н.А. Евсина, М.В. Ерошенко, Т.М. Каменева, С.Н. Кондаков, М. Корольков, Т.Н. Кудрявцева и др.

Разработанность проблемы исследования позволяет констатировать, что характер регулирования архитектурно-строительной деятельности и ее управленческий аспект, а также влияние ее на архитектуру, градостроительство и строительство не был еще достаточно освещен.

В основе цели данной работы - анализ тенденций развития управления архитектурно-строительным процессом в России в XIX в. Цель определяет задачи, поставленные перед исследователем: определение особенностей политического курса государства в области архитектурно-строительной деятельности (совершенствование законодательства, стандартизация и интенсификация в строительстве); предпосылки изменения структуры управления строительством на центральном и местном уровнях; оценка действительности смены головных организаций управления строительством в рассматриваемый период. Объектом исследования является управление архитектурно-строительным процессом в XIX в. на государственном и местном уровнях.

Материалы и методы. Методика исследования основана на комплексном подходе, включающем обобщение архивных, иконографических источников, изучении библиографических историко-архитектурных и градостроительных материалов по изучаемой теме.

Базу исследования составили законодательные документы XIX в., явившиеся основой создания правового источника регулирования архитектурно-строительного процесса и всех его составляющих.

Основная часть. Выработка рационального управления архитектурно-строительного комплекса являлась постоянной заботой верховной власти в России. Еще в 1718 г. Петр I писал о необходимости создания специальной Коллегии, которая бы курировала архитектурно-художественную область градостроительного содержания, управляла процессом архитектурно-строительной деятельности. [1, 27]. Второй попыткой создания подобного органа явился труд П.М. Еропкина «Должность архитектурной экспедиции».

Не смотря на понимание необходимости регулирования архитектурно-строительной практической деятельности, в течение всего XVIII в., так и не был создан государственный аппарат, консолидирующий управление основных составляющих архитектурно-строительного комплекса. Одновременно на местах управление строительной сферой было подконтрольно местному начальству, имеющему ограниченный бюджет для приведения в надлежащее состояние зданий казенных учреждений губерний и городов, дорожного хозяйства и общего благоустройства.

Осуществление контроля за строительством и дорожным хозяйством органами полиции, также создавали авральные ситуации, когда в губерниях в срочном порядке требовались деньги для поправления казенных зданий, дорог, мостов и переправ.

В начале XIX в. правительство инициировало ревизию, по сбору сведений о реализации Екатерининской программы второй половины XVIII в. по застройке центральных частей городов, получивших новые планы. Ревизия выявила в целом бедственное положение строительной части в губерниях. Все это указывало на необходимость реформ управлением строительной части в центральном аппарате и на местах.

Проведенные государственные реформы первой половине XIX в. определили направление перестройки центральных ведомств и принципы их взаимосвязи с территориальными органами управления [2]. Следует отметить, что, несмотря на смену властных структур в части управления архитектурной и строительной деятельности, принципы построения властной вертикали, сформированной в начале первой половины XIX в. на протяжении всего века остаются неизменными.

Было принято решение, что для эффективной координации вопросов регулирования процесса строительства зданий казенного управления, дела по данному типу зданий должен курировать единый орган. После выхода в 1810 г. указа о формировании министерств, строительное ведомство, также получило соответствующую структуру в системе министерства внутренних дел. На рисунке 1 представлена схема органов министерства внутренних дел, структурные подразделения которых осуществляли градостроительное регулирование и архитектурно-строительный надзор объектов казенного ведомства.

Для решения вопросов строительства казенных объектов (присутственных мест, тюремных замков, зданий губернского и местного начальства, карантинных, хлебных магазинов и т. п.) был создан Департамент государственного хозяйства и публичных зданий [3]. Его первый стол занимался распределением казенного строительного капитала и контролировал мероприятия по строительству и ремонту гражданских зданий в губерниях и уездах. Исполнительным органом Департамента являлся Строительный комитет, осуществляющий непосредственную связь с местными органами - губернскими Строительными экспедициями.

Таким образом, была выстроена строгая вертикаль: Департамент Государственного хо-

зяйства и публичных зданий - губернская администрация. Последняя курировала строительство казенных зданий, приведение в надлежащее состояние дорожного хозяйства и благоустройства.

При этом именно на начальника губернии ложилась вся ответственность за проведение строительных мероприятий на подведомственной ему территории. Законность этих мероприятий предполагало ведение строительства согласно Высочайше подтвержденному генеральному плану, не отступая от разработанных типовых проектов казенных объектов. При внесении изменений в согласованный проект начальник губернии выходил с докладом в министерство,

которое либо само рассматривало представленные чертежи и выносило решение, либо готовило документы, которые подавались на Высочайшее согласование.

Департамент полиции исполнительной в составе Министерства курировал полицию на местах, которая осуществляла надзор за ведением строительных мероприятий в городах: застройка города в соответствии с высочайше утвержденным планом, строительство зданий по утвержденным образцовым проектам, возведение зданий в разрешенных к использованию материалах (дерево или камень), поддержание в надлежащем состоянии дорог, гатей и переправ и т. п. Департамент медицинский следил за строительством в городах карантинных объектов.



Рис. 1. Система вертикали управления и архитектурно-строительного надзора в первой трети XIX в.

Первостепенной задачей явилось исправления ситуации с объектами казенной и городской собственности. В первой трети XIX в. проводилась кропотливая работа, связанная с выработкой эффективной финансовой политики строительства и ремонта губернских и земских учреждений. [4]. На основании данных с мест были определены сумма необходимых затрат в целом и суммы ремонта и необходимого строительства, что позволило ранжировать характер строительных работ. В соответствии с этим казенные здания были разделены на разряды. Одновременно Департамент государственного хозяйства и публичных зданий инициировал работы по проектированию типовых объектов казенных зданий и сооружений. Первые образцовые проекты были составлены академиком А. Захаровым [5]. За 30 лет был разработан полный комплект образцовых проектов, включающих здания казенного управления, жилых домов, проекты планировки

кварталов, селений, малые архитектурные формы (ворота, ограды).

В настоящее время в бывших губернских центрах сохранились здания губернских управлений, построенных по этим проектам. Привязку зданий к местным условиям производили губернские архитекторы (рис. 2, 3).

Следует отметить, что все меры, принимаемые для исправления бедственного положения в части строительства и ремонта казенных зданий, не имели должного успеха. Если в 1803 г. необходимая сумма на ремонт и строительство казенных зданий составляла чуть больше 4 миллионов рублей, то в 1809 г. финансирование только на новое строительство в государстве требовало более 6 миллионов [2].

Дальнейшие изменения в управлении архитектурно-строительным комплексом были связаны уже с «николаевскими» реформами ведомственного управления. Первоначально было обращено внимание на местный уровень власти и

его эффективность в деле строительства гражданских казенных сооружений. Результатом

стало формирование штатов губернских и уездных учреждений, в том числе отвечающих за строительную часть в губерниях.



Рис. 2. Здание губернского управления в г. Симбирске



Рис. 3. Здание губернского управления в г. Томске

В 1829 г. был создан Штаб корпуса инженеров путей сообщения, имеющий военизированный характер. Между центральным ведомством и губернским уровнем возникли Окружные правления, объединившие несколько губерний. Окружные правления позволяли координировать вопросы строительства дорог, а также решать некоторые вопросы без непосредственной связи с центром [6]. Эта управленческая вертикаль, а также военизированный характер ведомства показали эффективность работы в сфере дорожного строительства. Поэтому было принято решение по такому же принципу организовать работы по строительству и ремонту казенных зданий в губерниях и уездах, а также решить вопросы по налаживанию строительства общественных зда-

ний из городских доходов. В 1833 г. было утверждено Положение о новом образовании Строительной части Гражданского Губернского ведомства [7]. В связи с этим все дела Департамента государственного хозяйства и публичных зданий были переданы в созданную для этого структуру в Управление путей сообщения и публичных зданий. Дела строительной части в губерниях перешли в ведение Строительной Комиссии, которую по-прежнему возглавлял начальник губернии (рис. 4).

Кроме создания вертикали управления строительством в государстве, эти органы были снабжены пакетом законодательных документов, вошедших в Своды законов, которые постоянно совершенствовались. Кроме того, вышло в свет

Урочное положение и «Положение о расчете необходимого количества материалов на постройку казенных строений» [8], выпущенное для экономии строительных материалов и предотвращения злоупотреблений при подсчете сметной стоимости строительства.

Первые годы деятельности нового ведомства показали необходимость его дальнейшей реорганизации и расширения. Это было вызвано большим объемом работ по рассмотрению про-

ектной и сметной документации, контроля строительства. Поэтому в 1842 г. было создано два департамента искусственных и хозяйственных дел с разветвленной системой столов и отделов.

На местах были созданы Строительные комитеты, которые должны были быть укомплектованы губернскими архитекторами, губернскими инженерами, их помощниками и техниками [9]. Это естественно потребовало перестройки архитектурного и инженерного образования [10].



Рис. 4. Структура управления строительством и благоустройством населенных мест во второй трети XIX в.

В 1842 г. вышло второе издание Строительного устава. Можно сказать, что этот выпуск стал ведомственным документом Управления путей сообщения и публичных зданий. Кроме этого, было откорректировано Урочное положение [11].

При всех произошедших изменениях, вся ответственность за осуществление строительной деятельности на местах ложилась по-прежнему на начальников губерний, в том числе и за соблюдение Строительного устава.

Результаты работы управления строительной частью в этот период наиболее ярко демонстрируют мероприятия по строительству и благоустройству, проводимые в столице. Именно здесь идет отработка эффективных механизмов управления, которые затем будут применяться в других городах. Со времен Екатерины II планировалось дать городам возможность иметь собственность, а также осуществлять мероприятия по благоустройству за счет собственных средств [12]. Однако реализовать это было невозможно из-за постоянного дефицита городских бюджетов. В середине XIX в. было начато исправление данной ситуации в Санкт-Петербурге, городской

бюджет которого находился в лучшем состоянии, по сравнению с другими российскими городами.

Начало было положено выпуском в 1842 г. «Правил по строительной части в Санкт-Петербурге» [13], которые определили новый механизм управления строительной частью в столице.

Главное управление путей сообщения и публичных зданий стало организацией, осуществляющей контроль реализации расходной части городского бюджета. Управление разрабатывало годовую смету – «первоначальные предположения о потребностях по строительной части» в столице. Смета после ряда согласований представлялась Городской Думе. Работы производились структурами Правления 1-ого округа путей сообщения [14].

Жесткий финансовый контроль расходования средств уже через несколько лет дал возможность Городской Думе Санкт-Петербурга строить административные и общественные здания для своих нужд, а также брать займы для строительства значительных сооружений. В период 1844-1859 гг. были построены каменные здания

управления Обер-полицмейстера, сооружения для помещений полиции в пяти частях города (рис. 5) Проведены работы по благоустройству набережных Невы, Фонтанки, в центральной части города, рек Охты и Пряжки. Построен ряд

мостов, среди которых Храповицкий и Каменно-островский [15]. Устроен парк на эспланаде Петропавловской крепости (рис. 6) и некоторые другие работы.



Рис. 5. Пожарная и полицейская части 1-го участка Адмиралтейской части

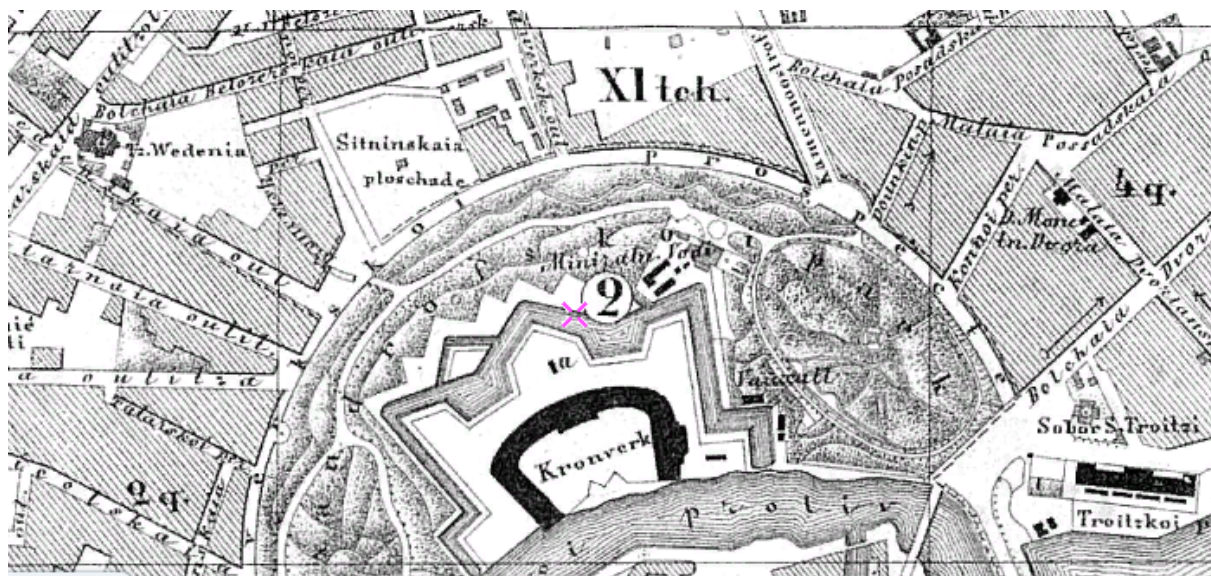


Рис. 6. Фрагмент плана 1863 г. С показом парка на эспланаде Петропавловской крепости и начала Каменноостровского пр.

Исполнительным органом Главного управления путей сообщения в столице являлось окружное правление 1-го Округа Путей Сообщения. Оно рассматривало проекты нового строительства или ремонтных мероприятий для казенных общественных и частных зданий, согласовывало размещение фабрик и промышленных сооружений, контролировало пожарную безопасность строений, давала рекомендации по производству мощения улиц и т. п. [16]. В наиболее сложных случаях или при согласовании зданий, находящихся в центральной части города, эти проекты передавались в Департамент проектов Главного управления путей сообщения и публичных зданий, с дальнейшим утверждением их Императором.

В период деятельности Главного управления путей сообщения, как головной организации по строительной части были выпущены правила, регламентирующие каменное и деревянное строительство в столице. Например, полностью было

запрещено строительство новых деревянных зданий в пределах всех Адмиралтейских частей города [17].

Период второй половины XIX – начала XX в. явился временем социально-экономических и политико-правовых преобразований, результатом которых стали определенные реформы государственных институтов и местных органов власти. Это естественно повлияло на управление архитектурно-строительным комплексом.

В 1864 г. вышло постановление о преобразовании строительной и дорожной частей в России. Управление строительством было выведено из под управления путевого ведомства, которое в свою очередь получило статус Министерства путей сообщения [18]. Управление строительной отраслью в государстве, в соответствии с утвержденным мнением Государственного совета перешло в Техническо-Строительный Комитет при Министерстве внутренних дел (рис. 7).

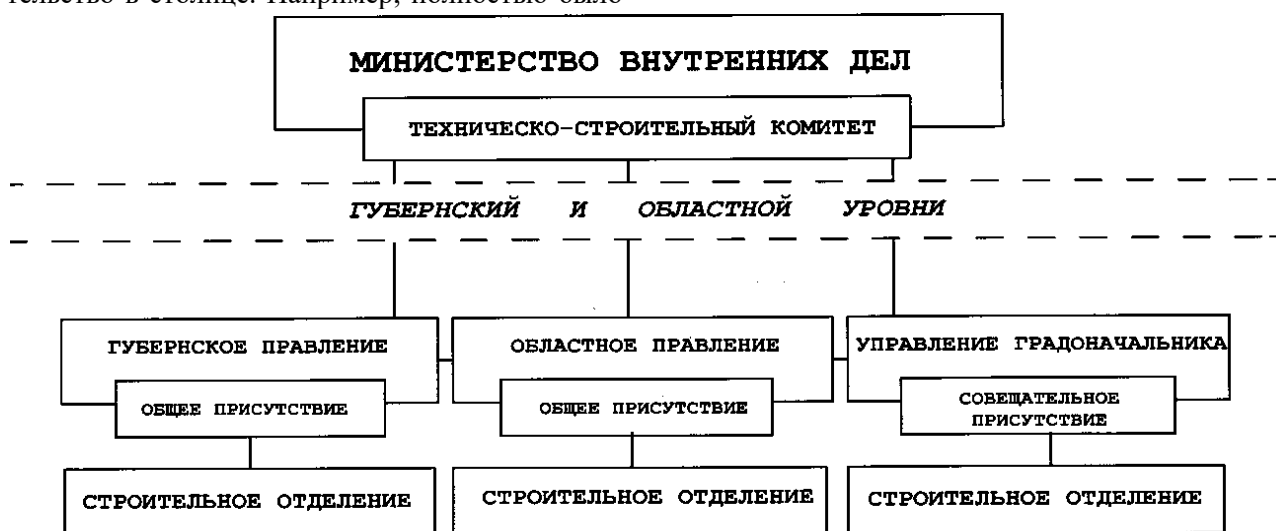


Рис. 7. Система вертикали управления и архитектурно-строительного надзора за строительством во второй половине XIX- начале XX вв.

В соответствии с положением о Техническо-Строительном Комитете была определена его компетенция, а именно: рассмотрение планов городов и проектов сооружений, представленных на Высочайшее утверждение; составление проектов, предназначенных для типового строительства; провидение экспертиз проектов, ревизии и согласование отчетов и смет на строительные работы для губернских казенных и общественных зданий и сооружений (церквей, городских театров, музеев, библиотек, казарм, памятников и т. п.); экспертиза проектов сооружений, строительство которых было сопряжено с особой сложностью в техническом отношении.

Одной из значительных сфер деятельности Техническо-Строительного Комитета являлась законодательная работа. В Комитете в разное

время работали межведомственные комиссии по пересмотру правил Устава Строительного, а также по составлению подзаконных актов в развитие статей Устава [19].

Результатом преобразования губернской строительной части стало образование строительных отделений вместо строительного-дорожных комиссий, что имело целью дать больше полномочий местным строительным органам управления. Такую возможность давала квалификация членов Строительного отдела, в который входили губернский инженер и губернский архитектор, а также их помощники и техники. Кроме этого, Губернский инженер являлся членом Общего присутствия губернского правления.

Строительный отдел осуществлял экспертизу проектов, смет и кондиций на строительство

зданий казенного и городского ведомства, осуществлял освидетельствование построек и проверку отчетов по выполненным работам и т. п. Для решения сложных технических вопросов губернатором могли быть приглашены сторонние специалисты.

Основными законодательными документами в сфере строительства являлся утвержденный план города, Устав Строительный с продолжениями (содержащие актуальные документами, выпущенными в период между изданиями уставов), урочное положение и правила технической отчетности [20].

Историческая среда городов России в основном сложилась в период конца XIX – начала XX в. В этот период строительная сфера регулировалась техническо-строительным комитетом министерства внутренних дел.

Выводы. Рассмотрение вопросов управления сферой строительства в XIX в. позволяет сделать следующие выводы:

- реформы государственности, проходившие в течение XIX в. оказали непосредственное влияние на управления строительной части. Поиск эффективной модели регулирования архитектурно-строительной деятельности демонстрирует последовательную смену головных структур ее управления:

- в первой трети XIX в. проводится полная перестройка управления большинства отраслей хозяйственной деятельности Российской империи, в том числе сфера строительства.

- управление архитектурно-строительным комплексом гражданского ведомства первой трети XIX в. было сконцентрировано в подразделениях Министерства внутренних дел. Работа подразделений министерства направляется на совершенствование финансовой политики, обеспечивающей возможность проведения строительства и ремонта губернских и земских учреждений. Одним из путей этой работы является создание образцовых проектов общественных зданий и элементов благоустройства, что должно было упростить порядок согласования и удешевить строительство объектов.

- реформы в системе центральных органов власти и управления сопровождались выходом Свода законов, включающих разделы, касающиеся общих положений управления строительной части; строительства различных типов зданий, благоустройства городов и селений и т. п. вопросы;

- с 1842 г. центральной согласовывающей и регулирующей организацией в области проектирования и строительства казенных зданий и сооружений становится Главное управление путей

сообщения и публичных зданий с соответствующими исполнительными органами;

- проведение эффективной финансовой политики и управление архитектурно-строительным комплексом оказали большое влияние на развитие архитектурно-строительного процесса в целом и городского строительства в частности;

- социально-политические реформы 1860-х гг. оказали значительное влияние на изменение структуры управления многих отраслевых ведомств. Не осталось в стороне и управление сферой строительного производства. Головной организацией вновь становится Министерство внутренних дел. Однако политика правительства в этом вопросе претерпевает изменение, идет передача полномочий и ответственность губернским органам власти. Для этого губернские строительные отделы комплектуются штатом специалистов инженеров и архитекторов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Воскресенский Н.А. Законодательные акты Петра I. Редакции и проекты законов, заметки, доклады, челобитья и иностранные источники. Акты о высших государственных установлениях. Л. 1945. Т. 1. 602 с.
2. Дитятин И.И. Устройство и управление городов России. Городское самоуправление до 1870 г. Ярославль, 1877. 508 с.
3. Золотарева М.В. К вопросу регулирования архитектурно-строительного процесса в структуре городского управления (вторая половина XIX – начала XX) // Градостроительство и архитектура. Научно-технический журнал. СамГТУ. 2016. № 4 (25). С. 74–78
4. Полное Собрание Законов Российской Империи. 1-ое собр. СПб.: Тип. II Отделения Собственной Его Императорского Величества канцелярии. 1832. Т. 27. 623 с.
5. Ожегов С.С. Типовое и повторное строительство в России в XVIII-XIX веков. М.: Стройиздат, 1984. 168 с.
6. Золотарева М.В. Регулирование архитектурно-строительного процесса в России в 1830-х гг. (в соответствии с Положением о городских Строительных Комитетах) // Известия ВУЗов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. ННГАСУ (Сибстрин). 2019. Т. 9. №3(30). С. 620–632
7. Полное Собрание Законов Российской Империи. 1-ое собр. СПб.: Тип. II Отделения Собственной Его Императорского Величества канцелярии. 1832. Т. 29. 870 с.
8. Полное Собрание Законов Российской Империи. 2-ое собр. СПб.: Тип. II Отделения Собственной Его Императорского Величества канцелярии. 1837. Т. 12956 с.

9. Семенцов С.В. Градостроительное законодательство и градорегулирование Санкт-Петербурга второй половины XVIII - начала XX века. // Труды молодых ученых. СПб.: Издательство СПбГАСУ. 2002. Ч. 3. С.15–20.
10. Шестернева Н.Н. Международный опыт образовательной деятельности в области инженерных наук и градостроительства // Architecture and Modern Information Technologies 2(19) МАРХИ. 2014. Т. 9, №3 (30). С. 5–16
11. Урочное положение на все вообще работы, производящиеся при крепостях, гражданских зданиях и гидротехнических сооружениях. СПб.: Тип. Главного управления путей сообщений и публичных зданий. 1856. 364 с.
12. Сытина Т.М. Архитектура русской провинции первой половины XVIII века // Ежегодник института истории искусств. М. 1958. С. 138–164.
13. Семенцов С. В., Мангушев Р. А. Архитектура и инженерия ансамблей Санкт-Петербурга // Вестник гражданских инженеров. 2012. № 3 (32). С. 61–67.
14. Кириченко Е.И. Русская архитектура 1830–1910-х годов. М.: Искусство, 1978. 399 с.
15. Заварихин С.П. Санкт-Петербург. Архитектурные сюжеты. СПб. 2012. 447с.
16. Золотарева М.В. Законодательство в сфере землепользования и строительства в России первой половины XIX века. //Жилищное строительство. 2007. №12. С.27-29
17. Семенцов С. В. Санкт-Петербург – Петроград в конце XIX – начале XX вв.: масштабность экономической и социально-общественной жизни и пассионарность градостроительного влияния // Энциклопедическая практика: материалы и исследования: сборник научных статей и документов. Санкт-Петербург. 2016. Вып. 3. С. 109–137.
18. Вайтенс А.Г. Развитие правил застройки прибрежных территорий Санкт-Петербурга – Ленинграда XIX–XX вв.: идеи и результаты // Вестник гражданских инженеров. 2016. № 6 (59). С. 24–29.
19. Саваренская Т.Ф. Градостроительное законодательство в России до 1917 г. // Отделение градостроительства РААСН. М., 1999. С 34-42
20. Вайтенс А. Г. Регулирование градостроительного развития Санкт-Петербурга – Ленинграда (1870–1991 гг.). СПб: СПбГАСУ, 2010. 245 с.

Информация об авторах

Золотарева Милена Владимировна, кандидат архитектуры, доцент кафедры истории и теории архитектуры. E-mail: goldmile@yandex.ru Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет. Россия, 190005, Санкт-Петербург, 2-ая Красноармейская ул. 4.

Поступила 10.07.2021 г.

© Золотарева М.В., 2021

Zolotareva M.V.

Saint-Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering

E-mail: goldmile@yandex.ru

CONSTRUCTION MANAGEMENT REFORMS IN THE XIX CENTURY IN RUSSIA

Abstract. The article is a continuation of the study of the management of the construction sector in the Russian Empire. XIX century is a time of fundamentally new approaches in this industry. Transformations are taking place in the field of construction production and in its regulatory framework. Architectural science is developing, new building materials and structures are being introduced, new branches of construction production are emerging (construction of railways, erection of buildings using large-span structures). The Construction Charter is prepared and issued, which is repeatedly reissued at this time - the main regulatory document governing the design of construction and the management of these processes. The Timed Provisions defining the standardization of construction production are being introduced and improved. At the same time, there is a search for the most rational management system for the architectural and construction complex. It is no coincidence that during the 19th century the head organization of construction management, as well as the territorial and local bodies of control and management subordinate to it, are changed three times. Management issues are transferred to the Ministries and equivalent institutions. The first state body for managing the architectural and construction complex was the Ministry of Internal Affairs. However, by the 1830s need to organize a specialized construction management arose, which will become the Main Directorate of Rail-

ways and Public Buildings. In the 1860s, construction management changed again - the Technical and Construction Committee of the Ministry of Internal Affairs became the head organization. All these transformations are accompanied by corresponding reforms in the field.

Keywords: construction, architecture, public administration of construction, Code of laws.

REFERENCES

1. Voskresensky N.A. Legislative acts of Peter 1st. Editorial offices and draft laws, notes, reports, petitions and foreign sources. Acts on the highest state institutions. [Zakonodatel'nye akty Petra 1st. Redakcii i proekty zakonov, zametki, doklady, chelobit'ya i inostrannye istochniki. Akty o vysshih gosudarstvennyh ustanovleniyah]. L. 1945. Vol.1. 602 p. (rus)
2. Dityatin I.I. Structure and management of Russian cities. City self-government before 1870. [Ustrojstvo i upravlenie gorodov Rossii. Gorodskoe samoupravlenie do 1870 g.]. Yaroslavl, 1877. 508 p. (rus)
3. Zolotareva M.V. On the issue of regulating the architectural and construction process in the structure of city administration (the second half of the 19-early 20) [K voprosu regulirovaniya arhitekturno-stroitel'nogo processa v strukture gorodskogo upravleniya (vtoraya polovina 19 – nachala 20)]. Urban planning and architecture. Scientific and Technical Journal. SamSTU. No. 4 (25). 2016. Pp. 74–78. (rus)
4. Complete Collection of Laws of the Russian Empire [Polnoe Sobranie Zakonov Rossijskoj Imperii]: 1st sobr. Saint Petersburg: Printing Office of the Second Department of His Imperial Majesty's Own Chancellery Vol. 27-St. 1832. 623 p. (rus)
5. Ozhegov S. S. Typical and repeated construction in Russia in the XVIII-XIX centuries. [Tipovoe i povtornoe stroitel'stvo v Rossii v XVIII-XIX vekov]. M.: Stroyizdat, 1984. 168 p. (rus)
6. Zolotareva M.V. Regulation of the architectural and construction process in Russia in the 1830s (in accordance with the Regulations on City Construction Committees). [Regulirovanie arhitekturno-stroitel'nogo processa v Rossii v 1830-h gg. (v sootvetstvii s Polozheniem o gorodskih Stroitel'nyh Komitetah)] Izvestiya VUZov. Investment. Construction. Real Estate., NNGASU (Sibstrin). 2019. Vol. 9, No. 3(30) Pp. 620-632. (rus)
7. Complete Collection of Laws of the Russian Empire [Polnoe Sobranie Zakonov Rossijskoj Imperii]: 1st sobr. Saint Petersburg: Printing Office of the Second Department of His Imperial Majesty's Own Chancellery. 1832. Vol. 29. 870 p. (rus)
8. Complete Collection of Laws of the Russian Empire [Polnoe Sobranie Zakonov Rossijskoj Imperii]: 2nd sobr. Saint Petersburg: Printing Office of the Second Department of His Imperial Majesty's Own Chancellery. 1832. Vol. 12. 956 p. (rus)
9. Semencov S.V. Urban planning legislation and urban regulation of St. Petersburg in the second half of the 18-early 20 century. [Gradostroitel'noe zakonodatel'stvo I gradoregulirovanie Sankt-Peterburga vtoroj poloviny 18 – nachala 20 veka.]. Works of young scientists. St. Petersburg: Publishing house of SPbGASU. 2002. Vol. 3. Pp. 15–20. (rus)
10. Shesterneva N.N. International experience of educational activities in the field of engineering sciences and urban planning [Mezhdunarodnyj opyt obrazovatel'noj deyatel'nosti v oblasti inzhenernyh nauk i gradostroitel'stva]. Architectur and Modern Information Technologies. MARHI. 2014. Vol. 2(19). Pp. 5–16. (rus)
11. A fixed provision for all works carried out at fortresses, civil buildings and hydraulic structures in general [Urochnoe polozhenie na vse voobshche raboty, proizvodnyashchiesya pri krepostyah, grazhdanskikh zdaniyah i gidrotekhnicheskikh sooruzheniyah]. Saint Petersburg. The Main Directorate of Communication Routes and public Buildings, 1856. 364 p. (rus)
12. Sytina T.M. Architecture of the Russian province of the first half of the 18 century [Arhitektura russkoj provincii pervoj poloviny 18 veka]. Yearbook of the Institute of Art History. Moscow, 1958. Pp. 138–164. (rus)
13. Semencov S.V., Mangushev R.A. Architecture and engineering of ensembles of St. Petersburg [Arhitektura i inzheneriya ansamblej Sankt-Peterburga]. Bulletin of Civil Engineers. 2012. No. 3 (32). Pp. 61–67. (rus)
14. Kirichenko E. I. Russian architecture of the 1830s-1910s. [Russian architecture of the 1830s-1910s.] M.: Iskusstvo. 1978. 399 p. (rus)
15. Zavarikhin S.P. St. Petersburg. Architectural plots [Sankt-Peterburg. Arhitekturnye syuzhety]. St. Petersburg. 2012. 447 p.
16. Zolotareva M.V. Legislation in the field of land use and construction in Russia in the first half of the 19 century [Zakonodatel'stvo v sfere zemlepol'zovaniya i stroitel'stva v Rossii pervoj poloviny 19 veka]. Housing construction. 2007. No. 12. Pp. 27–29 (rus)
17. Semencov S.V. St. Petersburg-Petrograd in the late 19-early 20 centuries: the scale of economic and socio-public life and the passionarity of urban planning influence [Sankt-Peterburg – Petrograd v konce XIX – nachale XX vv.: masshtabnost' ekonomicheskoy i social'no-obshchestvennoj zhizni i passionarnost' gradostroitel'nogo vliyaniya]. Ency-

clopedic practice: materials and research: a collection of scientific articles and documents. St. Petersburg. 2016. Vol 3. Pp. 109–137. (rus)

18. Vajtens A.G. Development of the rules for the development of coastal territories of St. Petersburg-Leningrad of the 19-10 centuries: ideas and results [Razvitie pravil zastrojki pribrezhnyh territorij Sankt-Peterburga – Leningrada 19–20 vv.: idei i rezultaty]. Bulletin of Civil Engineers. 2016. No. 6 (59). Pp. 24–29. (rus)

19. Savarenskaya T.F. Urban planning legislation in Russia before 1917 [Gradostroitel'noe zakonodatel'stvo v Rossii do 1917]. Otdelenie gradostroitel'stva RAASN. M., 1999. Pp. 34–42. (rus)

20. Vaitens A.G. Regulation of urban development of St. Petersburg-Leningrad (1870-1991) [Razvitie pravil zastrojki pribrezhnyh territorij Sankt-Peterburga – Leningrada (1870-1991)]. St. Petersburg: SPbGASU, 2010. 245 p. (rus)

Information about the authors

Zolotareva, Milena V. Candidate of Architecture, Associate Professor of the Department of History and Theory of Architecture. E-mail: goldmile@yandex.ru. St. Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering, Russia, 190005, St. Petersburg, 2nd Krasnoarmeyskaya St. 4.

Received 10.07.2021 г.

Для цитирования:

Золотарева М.В. Реформы управления строительством в XIX века в России // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2021. № 11. С. 78–88. DOI: 10.34031/2071-7318-2021-6-11-78-88

For citation:

Zolotareva M.V. Construction management reforms in the xix century in Russia. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2021. No. 11. Pp. 78–88. DOI: 10.34031/2071-7318-2021-6-11-78-88

DOI: 10.34031/2071-7318-2021-6-11-89-96

Савельева Н.В.

Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет

E-mail: natasha_barkova@inbox.ru

ИСТОРИКО-АРХИТЕКТУРНЫЙ АНАЛИЗ КОМПЛЕКСА ДОРЕВОЛЮЦИОННОЙ ПРОМЫШЛЕННОЙ УСАДЬБЫ РЯБЧИКОВЫХ В Г. ИВАНОВО

Аннотация. В статье представлен историко-архитектурный анализ дореволюционной текстильной промышленной усадьбы Рябчиковых г. Иваново. Усадьба выявлена автором в процессе исследования дореволюционных промышленных усадеб города, она не была исследована ранее, не упоминалась в краеведческой и научно-исследовательской литературе. Усадьба Рябчиковых являлась одним из четырнадцати сохранившихся комплексов дореволюционной производственно-жилой архитектуры, не включенных в региональный реестр объектов культурного наследия. Для ее включения и возможного перспективного сохранения были проведены натурные, визуальные и фото фиксационные обследования, историко-архивные, библиографические изыскания, архитектурный и культурологический анализы. На основании полученных данных выявлены исторические границы и сохранившиеся постройки владения, указано их функциональное назначение, проведена датировка строений. Изучено соответствие функционально-планировочной структуры комплекса выявленным архивным документам, определена степень сохранности комплекса. Проанализированы пути архитектурно-планировочного и объемно-пространственного преобразования усадьбы в XIX-конце XX вв. Показаны особенности архитектурно-стилевого решения строений. Выполнена прорись плана, графические проекции фасадов строений. По совокупности выявленных и перечисленных историко-архитектурных особенностей определено, что дореволюционная промышленная усадьба Рябчиковых обладает признаками объекта культурного наследия и нуждается в комплексном сохранении.

Ключевые слова: промышленная усадьба, текстильный, производственный корпус, архитектурно-стилевые особенности, комплекс, Иваново.

Введение. В череде старинных поселений страны особый научный интерес вызывают малые провинциальные города, ставшие на рубеже XX в. крупнейшими промышленными центрами.

Иваново (до 1871 г. – село Иваново, с 1871 по 1932 гг. – город Иваново-Вознесенск) – по степени развитости текстильного производства и торговли в конце XIX в. считался современниками «русским Манчестером». Иваново-Вознесенск стал городом, в котором текстильная отрасль была основой хозяйственно-бытового и социального уклада крепостного крестьянства [1]. Преобладающим типом владения была промышленная усадьба.

Дореволюционные промышленные усадьбы являются одними из самых ценных и наиболее подверженных утрате региональных историко-культурных памятников города. Из 160 комплексов начала XX в. сохранилось не более 46. Каждая из сохранившихся усадеб нуждается в целостном системном изучении.

Теоретическую основу исследования формируют фундаментальные труды по теории и истории архитектуры России С.С. Айдаровой, А.И. Власюка, А.Л. Гельфонд, И.Э. Грабаря, Л.В. Даля, Е.И. Кириченко, А.В. Лисицыной, М.В. Нащокиной, Г.Г. Нугмановой, А.А. Худина, С.М. Шумилкина, М.С. Штиглиц, Е.Г. Щеболевой и других, а также узконаправленные российские и

зарубежные научные исследования дореволюционной застройки [2-7]. Комплексное исследование архитектуры промышленных усадеб второй половины XIX-начала XX вв. г. Иваново-Вознесенска освещены в статьях и кандидатской диссертации автора. Источниковедческой базой исследования являются архивные документы государственного архива Ивановской области и ивановского историко-культурного музея имени Бурылина.

В отличие от обобщающих общетеоретических изысканий, историко-архитектурный анализ имеет прикладное научное значение, так как представляет собой специализированное исследование, обязательное при постановке на охрану объекта региональным органом охраны наследия, его паспортизации и составлении проекта реставрационных работ. В условиях ускоренной утраты дореволюционного наследия, данный вариант изучения и сохранения мало известных и не отмеченных ранее памятников показал высокую эффективность: с 2019 г. автором был проведен историко-архитектурный анализ 8 объектов усадеб города, ставший основанием для их включения в перечень объектов культурного наследия. Шесть промышленных усадеб были включены в виде комплексов (ансамблей). Данное обстоятельство особенно важно, т.к. позволяет со-

хранить максимальное «пятно» подлинной историко-культурной среды и исключить на его территории современную точечную застройку.

Проведение историко-архитектурного анализа сохранившихся объектов дореволюционной архитектуры, в особенности, региональных памятников, является одной из важных практических задач современной архитектурной науки, реализация которой осложнена утратой значительного пласта этого наследия и необходимостью проведения глубоких архивных изысканий. Ввиду узкой направленности, малой востребованности, отсутствия государственного и частного финансирования данная работа в России почти не проводится. Однако, в долгосрочной перспективе, она видится особенно важной для провинциальных городов, подвергающихся мало регулируемым архитектурно-градостроительным изменениям исторической застройки и ускоренно теряющих характерную историко-культурную региональную идентичность. Качественно проведенное исследование становится основой для рассмотрения вопроса о возможном включении выявленного объекта в реестр объектов культурного наследия и его сохранения, также, каталогизации, систематизации и фиксации памятника в научно-просветительской литературе, являющейся, часто, единственным достоверным источником об уходящем наследии.

Объект исследования – промышленная усадьба Рябчиковых второй половины XIX-начала XX вв. г. Иваново.

Цель исследования – определение историко-культурной ценности объекта с точки зрения истории, архитектуры, градостроительства, искусства, науки и техники, эстетики, этнологии, антропологии, социальной культуры.

Задачи исследования выявление ранее не изученного комплекса промышленной усадьбы Рябчиковых второй половины XIX – начала XX вв.; определение исторических границ и состава строений, степени архитектурно-планировочной сохранности на период исследования; изучение архитектурно-планировочных преобразований комплекса; проведение архитектурно-стилевого анализа строений усадьбы; определение наличия у комплекса усадьбы признаков объекта культурного наследия.

Методика. Историко-архитектурный анализ дореволюционной промышленной усадьбы Рябчиковых выполнен в соответствии с процессуальным порядком проведения работ по выявлению объектов, обладающих признаками объек-

тов культурного наследия, утвержденным Приказом Министерства культуры РФ № 1905, для формирования заявления в региональный орган охраны объектов культурного наследия и рассмотрения им возможности включения данного объекта в реестр объектов культурного наследия региона в виде ансамбля (комплекса).

Основная часть. Дореволюционная купеческая промышленная усадьба Рябчиковых располагается на одной из старинных улиц исторической части г. Иваново. На плане дореволюционного Иваново-Вознесенска начала XX в. показано, что это было крупное владение площадью 4 га, расположенное на близком к прямоугольному участке. Усадьба занимала угловое положение в квартале № 49 с выходом на 3 улицы: 1-ю Ильинскую, Пятницкую-Сенную, Рождественскую (Багаева, внутриквартальный переулок, Красной Армии, соответственно) [8]. Согласно статистическим материалам фондов Ивановского государственного музея промышленности и искусства (ИГИКМ им. Бурылина), усадьба возникла на указанном участке в период с 1802 по 1832 гг. и ранее принадлежала крепостному крестьянину И.В. Коруну, производившему на территории миткаль – суровое хлопчатобумажное полотно [9–10].

Так как данных о планировочном построении усадьбы до последней четверти XIX в. обнаружено не было, ее исследование проводилось на основании выявленных архивных материалов конца XIX-начала XX вв.

Функционально-планировочная структура комплекса усадьбы имела характерное промышленной усадьбе построение из двух блоков зон – жилого блока, состоявшего из строений жилого, служебного и хозяйственного назначения, обращенного на ул. Багаева, и примыкавшего к ней производственного блока, расположенного в глубине участка позади жилого дома, состоявшего из производственных корпусов и вспомогательных производственных строений [11]. Сравнение дореволюционного и современного планировочного построения усадьбы показало высокую степень сохранности дореволюционной функционально-планировочной структуры, несмотря на частичные изменения исторических границ владения и новое строительство (рис. 1).

Жилой блок промышленной усадьбы представлен строениями двух жилых домов, двумя парадными въездными воротами, каменной сторожки. Производственный – двумя двухэтажными производственными корпусами.



Рис. 1. Планировочное построение усадьбы Рябчикова:

- а) Фрагмент квартала №49 г. Иваново-Вознесенска, конец XIX в. ГАИО Ф.1157.Оп.2.Д.7427;
 б) современное состояние: 1 – Главный жилой дом; 2 – Сторожка; 3 – Торгово-офисное строение кон. XX в.;
 4 – Производственный корпус; 5 – Производственный корпус и жилой дом

Главный жилой дом представляет собой прямоугольное в плане размером 15×20 м двухэтажное здание смешанной (каменно-деревянной) архитектуры. Здание размещено по красной линии застройки и выходит главным фасадом на ул. Багаева. Плоскость фасада разделена на два одинаковых по высоте объема кирпичным широким наборным профилированным поясом. Нижний объем – каменный, на невысоком цоколе, поверхности гладкие, оштукатурены. Семь оконных проемов первого этажа прямоугольного очертания без наличников, расположены ритмично с одинаковым шагом простенков, кратных ширине проема. Выявленные архитектурные особенности фасада соответствуют принципам построения проектов образцовых фасадов жилых домов для частного строительства 1812 г. в стиле классицизм и указывают на его возможное возведение в начале – первой половине XIX в. [12].

Второй этаж – деревянный, бревенчатый. Поверхности стен гладкие, горизонтально защиты тесом. Несмотря на общую симметричность, композиция главного фасада разделена на две неравные части выпуском перерубов. Все выпуски перерубов, в том числе на боковых фасадах, имеют деревянную обшивку с ордерным решением по типу пилястр, украшенных пропилю-

ной и объемной резьбой. Рисунок резьбы аналогичен рисунку в пилястрах жилого дома промышленной усадьбы Шаповых г. Иваново [13]. Оконные оси, ширина оконных проемов и простенки первого и второго этажей совпадают. Проемы второго этажа с более вытянутыми пропорциями, стройные и изящные. Наличники массивные, украшены пропилюной и объемной резьбой, выполненной в традиционной региональной орнаментально-геометричной манере [14], с прямоугольно очерченными сандриками, широкими боковинами, фартуком и деталями полотенец (рис. 2). Несмотря на отличия в расположении выпусков перерубов в боковых фасадах, архитектурно-стилевое решение этажа выдержано. Здание венчается высоким наборным деревянным карнизом с большим выносом и широкой окаймленной фризовой доской. Объем перекрыт трехскатной кровлей.

Согласно архивным данным, в 1885 первый этаж был достроен вглубь до располагавшейся позади него лавки, а на месте разобранного мезонина появился деревянный 2-й этаж [15] (рис. 2.).

Исторически, промышленная усадьба Рябчиковых имела три основных входа-въезда в усадьбу: парадный жилой двор справа от дома; хозяйственный двор слева от дома; доступ к ко-

торым осуществлялся с ул. Ильинской (современная ул. Багаева) через парадные ворота с калитками и сторожками (сторожка при хозяйственном дворе не сохранилась); производственный двор в глубине участка с въездом с противоположной улицы – Сенной (застроен в советское

время). Вход в жилой и хозяйственный дворы оформлен одинаковыми парадными входными группами, выставленными по красной линии застройки слева и справа жилого дома.

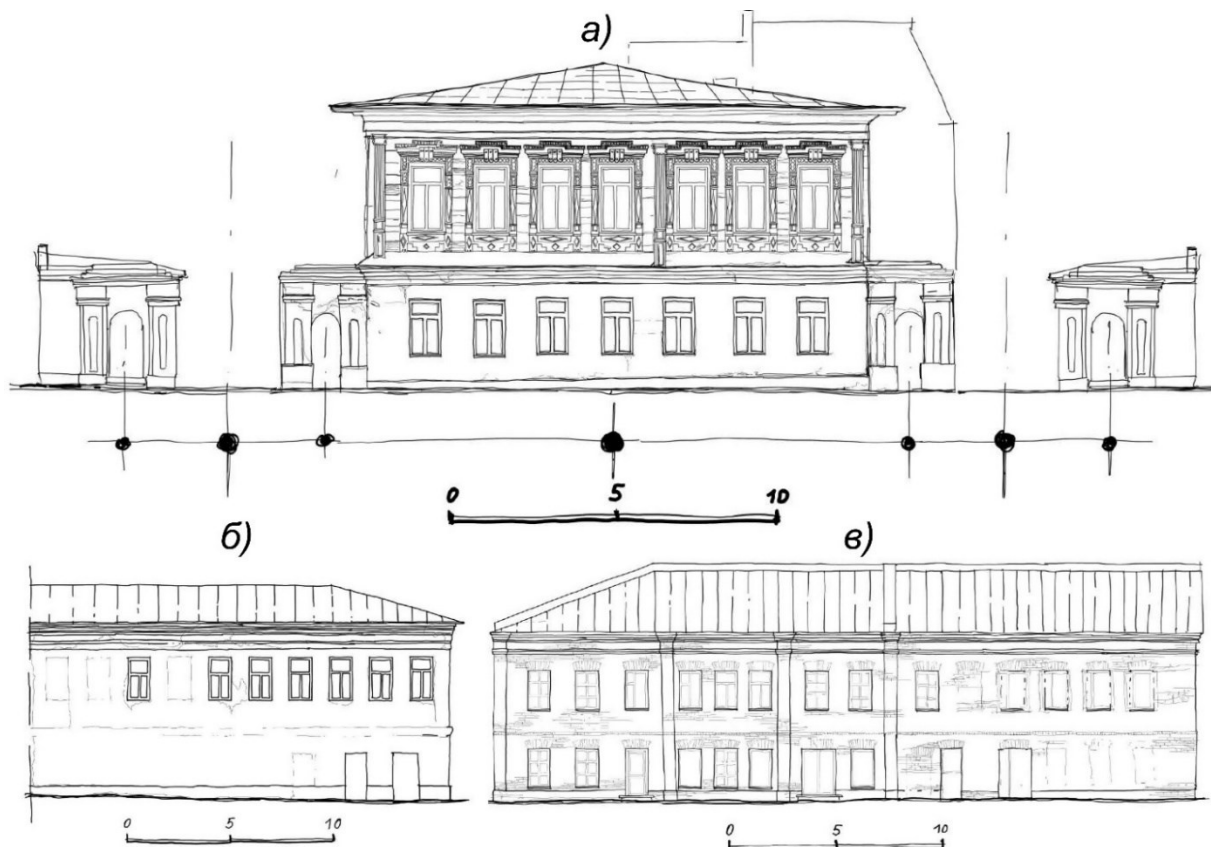


Рис. 2. Фронтальные проекции строений промышленной усадьбы Рябчиковых:

- а) главный жилой дом и въездные ворота с ул. Багаева; б) производственный корпус с ул. Красной Армии; в) сблокированный жилой дом и производственный корпус в глубине участка. Авторская реконструкция

Парадные входные группы, протяженностью 14 м, симметричны по оси ворот, ограничены, с одной стороны, примыкающей к дому каменной калиткой, с другой, – одноэтажным строением сторожки. Имеют архитектурное оформление в виде парных каменных гладко оштукатуренных кирпичных столбов с лопатками по размеру столба и узкой шириной по центру, соединенных между собой западающей плоскостью с арочным входом (для калиток) или окном (в сторожках), завершение утрачено. Сохранилась только одна из сторожек, конфигурация проема изменена с арочной на прямоугольную. Бесшовное примыкание кладки ворот к каменному первому этажу, общность и взаимосвязь пластических элементов – тяг могут указывать на их близкое по времени возведение в начале XIX в.

Несмотря на лаконичность и некоторую упрощенность элементов, провинциальную простоту исполнения, композиционное построение фронта усадьбы с симметрично расположенными

с обеих сторон от дома парадными входными группами ворот выполнено по аналогии с распространенным в конце XVIII – начале XIX вв. типом городской усадьбы в стиле классицизм, где главный дом с обеих сторон фланкировался примыкающими к нему флигелями. Несмотря на то, что каменно-деревянный жилой дом усадьбы Рябчиковых можно назвать типичным примером жилого дома Иваново-Вознесенска второй половины XIX в. [16], данная усадьба, на сегодняшний день, является, вероятно, единственным примером дореволюционного владения с сохраненной, с незначительными утратами, классицистической парадной фронтальной композицией (рис. 1а).

Согласно плану участка 1900 г., к заднему фасаду дома примыкал комплекс сблокированных между собой каменных строений: одноэтажные строения лавки и служб, двухэтажный каменный производственный корпус, часть первого

этажа которого до 1900 г. отводилась под конюшню [10, 17]. В конце XX в. границах застройки лавки и служб было встроено (надстроено) современное четырехэтажное торгово-офисное строение, отделившее главный жилой дом от производственного корпуса. Двухэтажный, прямоугольный в плане размером 6,5×17,5 м, кирпичный производственный корпус примыкает узким торцом к встроеному торгово-офисному объему, обращен одним протяженным фасадом в 10 оконных осей на хозяйственный двор со стороны ул. Красной Армии (ранее – Рождественскую), другим – в производственный двор владения, узким глухим торцом – на переулок. Примыкающая к нему со стороны хозяйственного двора одноэтажная каменная пристройка возведена в 1900 г., имела жилое назначение. Визуально объем корпуса делится на две разновысотные части широким кирпичным криволинейным профилем с сечением в виде прямого сложного вала (частично сбит); цоколь простого профиля, невысокий, выступающий. Высота плоскости второго этажа в два раза выше (без учета цоколя и карнизной части). Оси этажей и простенков совпадают. Оконные проемы прямоугольного очертания, не имеют пластических обрамлений, расположены с одинаковым шагом. Ширина простенков близка к половине ширины проема. Часть окон первого и второго этажей заложены. Окон второго имеют более вытянутые пропорции. Стены гладко оштукатурены, лишены декора. Здание венчается высоким наборным карнизом с выдержанным ордерным членением. Высота карнизной части составляет половину высоты плоскости фасада 1-го этажа. Архитектура производственного строения типична для текстильных производственных корпусов Иваново-Вознесенска начала XIX в. и многих других городов Российской Империи [18]. Данное строение можно датировать первой половиной XIX в., так как оно выполнено в соответствии с проектами образцовых фасадов гражданской архитектуры 1809–1812 г. [19] (рис. 16).

Напротив рассмотренного корпуса, вдоль границы с соседним владением, расположено протяженное, прямоугольное в плане, кирпичное двухэтажное строение, прямоугольное в плане размером 6×30 м. Строение состоит из двух сблокированных между собой разновысотных объемов. Первый объем в 6 оконных осей, приблизительно, 6×19,5 м, выделяется более яркой и сочной по цвету кирпичной кладкой, является производственным корпусом, построенным до 1885 г. [20]. Плоскости стен не оштукатурены, гладкие, лишены декора, окна прямоугольные, перекрыты клинчатыми перемычками лучкового очертания, часть проемов изменены и заложены.

Здание завершается классическим наборным гладким карнизом небольшого выноса. Корпус перекрыт двускатной кровлей. Торцевой фасад оформлен в виде треугольного фронтона с расположенным по центру тимпана небольшим окном. На сегодняшний день, является одним из самых узких выявленных дореволюционных производственных корпусов города.

Согласно архивным материалам, каменная двухэтажная пристройка к корпусу появилась в конце XIX в. состояла из трех разновысотных пристроенных друг к другу объемов и главным фасадом в 4 оконных оси была обращена в парадный жилой двор [17, 21]. Главный фасад симметричный, плоскости стен гладкие, углы строения выделены лопатками на всю высоту, окна прямоугольные, перекрыты клинчатыми лучковыми перемычками. Вход организован со стороны двора. Обращенный во двор боковой фасад в 7 оконных осей ассиметричен, плоскость гладкая, поделена раскрепованными в карнизной части лопатками на три неравных прясла по 3, 2 и 2 оконных оси, соответственно. Профиль венчающего карниза идентичен профилю производственного корпуса, в результате, все строение выглядит цельным. Боковой фасад по границе участка – глухой, до революции выполнял функцию брандмауэра, существующие в нем проемы современного исполнения (рис. 1в).

Выводы. В процессе анализа было установлено, что промышленная усадьба Рябчиковых – ценный дореволюционный архитектурный комплекс, с высокой степенью архитектурно-планировочной сохранности. Длительное угловое расположение комплекса в центре исторического поселения способствовало градостроительной фиксации старинных улиц и парцелляции кварталов. Двухсотлетний период существования усадьбы отразился в многообразии архитектурно-планировочных особенностей: появлении разновысотных строений с разным стилевым исполнением, классицистическом и нерегулярном планировочном построении. Несмотря на то, что сохранившиеся постройки можно считать, в некоторой степени, типовыми для архитектуры города XIX – начала XX вв., все они по отдельности и в композиционном взаимодействии друг с другом обладают ярко выраженными региональными архитектурными особенностями, являются материальным отражением хозяйственного уклада населения Иваново-Вознесенска и нуждаются в целостной постановке на охрану.

Проведенный историко-архитектурный анализ в качестве сведений об объекте культурного наследия лег в основу проекта официального документа заявления, направленного автором в ре-

гиональный орган по охране объектов культурного наследия, по рассмотрению которого им было принято решение о включении комплекса дореволюционной промышленной усадьбы Рябчиковых в список объектов культурного наследия г. Иваново в виде ансамбля (Распоряжение от 21.10.2019 № 188-о).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Нива. Иллюстрированный журнал литературы, политики и современной жизни. Русский Манчестер. С. Петербург, 1875 г. № 14. С. 27–29.
2. Hoeffecker C.E. Brandywine Village. The story of a milling community. Old Brandywine village Inc. Wilmington, Delaware. 1974. 111 p.
3. Herman Bernard L. Architecture and rural life in central Delaware, 1700–1900. The university of Tennessee Press. Knoxville, 1987. 281 p.
4. Лисицина А.В., Шаболдин Я.Л., Чеберева О.Н., Крылова О.Ф., Иванов Д.И., Аникина А.О. Объекты культурного наследия Нижегородской области. Павловский район. Иллюстрированный каталог памятников истории и культуры. Н.Новгород: Изд-во Кварц, 2015. 560 с.
5. Маров В.Ф. Ярославль: Архитектура и градостроительство. Ярославль: Верхняя Волга, 2000. 216 с.
6. Свод памятников архитектуры и монументального искусства России: Ивановская область, ч.1. М.: Наука, 1998. 526 с.
7. Potts L.W., Sligar A.M. Watkins Mill. The factory on the farm. Truman state university press, Kirksville, Missouri 63501. 216 p.
8. ГАИО (Государственный архив Ивановской области). Ф.1157. Оп. 2. Д.7408. Л.1. Квартал № 49, 50. улицы Воробьевская, Пятницкая-Сенная, 1-я Ильинская г. Иваново-Вознесенска, конец XIX в.
9. ИГИКМ им. Бурылина. План Иваново-Вознесенска с обозначением фабрик 1802 г.
10. ИГИКМ им. Бурылина. План Иваново-Вознесенска с обозначением фабрик 1832 г.
11. ГАИО (Государственный архив Ивановской области). Ф.2. Оп.1. Д.3590. Л.2-3. Общий план владения, принадлежащий Иваново-Вознесенскому купцу А.А. Рябчикову и находящийся в г. Иваново-Вознесенске, в ул. 1-й Ильинской. 1900 г.
12. РГИА. Собрание фасадов, Его Императорским Величеством Высочайше опробованных для частных строений в городах Российской Империи. 1809–1812 года. Части I–V. С.-Петербург, 1809–1812.
13. Гарнова Н.В. Архитектура промышленной усадьбы Щаповых второй половины XIX-начала XX вв. в г. Иваново//Строительные материалы и изделия. Белгород, 2019. Т 2. № 5. С. 33–39.
14. Иванов Д.А. Этнозоны суздальской земли. Ивановский край. Иваново: ИД Референт, 2008. 413 с.
15. ГАИО (Государственный архив Ивановской области). Ф.2. Оп.1. Д.1928. Л.14-15. Проект постройки 2-го этажа и прикладки первого при существующем доме на земле купеческой вдовы Е.Ф. и купца А.А. Рябчиковых по улице Ильинской. 1885 г.
16. Гарнова Н.В. Архитектура жилой застройки промышленных усадеб Иваново-Вознесенска второй половины XIX-начала XX вв. // Техническая эстетика и дизайн-исследования. 2020. Т 2. № 3. С. 50–61.
17. ГАИО (Государственный архив Ивановской области). Ф.2. Оп.1. Д.3590. Л.2-3. Общий план владения, принадлежащий Иваново-Вознесенскому купцу А.А. Рябчикову и находящийся в г. Иваново-Вознесенске, в ул. 1-й Ильинской. 1900 г.
18. Нугманова Г.Г. Промышленные усадьбы Казани XIX – начала XX вв. Памятники русской архитектуры и монументального искусства XVI – XX вв. Москва, 2005. Выпуск 7. С.379–408.
19. Белецкая Е., Крашенинникова Н., Чернозубова Л., Эрн И. «Образцовые» проекты в жилой застройке русских городов XVIII-XIX вв. М.: Гос. изд-во литературы по строительству, архитектуре и строительным материалам, 1961. 205 с.
20. ГАИО (Государственный архив Ивановской области). Ф.2. Оп.1. Д.1940. Л.22. Общий план владения купеческой вдовы Е.Ф. и купца А.А. Рябчиковых по ул. Ильинской. 1885 г.
21. ГАИО (Государственный архив Ивановской области). Ф.2. Оп.1. Д.2029. Л.7. Участок владения купеческой вдовы Е.Ф. и купца А.А. Рябчиковых по ул. Ильинской. 1886 г.

Информация об авторах

Савельева Наталья Владимировна, кандидат архитектурных наук. E-mail: natasha_barkova@inbox.ru. Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет. Россия, г. Нижний Новгород, ул. Ильинская, д.65.

Поступила 13.08.2021 г.

© Савельева Н.В., 2021

Savelyeva N.V.

Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering

E-mail: natasha_barkova@inbox.ru

HISTORICAL AND ARCHITECTURAL ANALYSIS OF THE PRE-REVOLUTIONARY INDUSTRIAL COMPLEX OF RYABCHIKOV'S ESTATE IN IVANOVO

Abstract. *The article presents a historical and architectural analysis of the pre-revolutionary Ryabchikov's textile industrial estate complex in Ivanovo. The author researches the estate during the process of studying the prerevolutionary industrial estates of the city. The issue has not been investigated earlier and not mentioned previously in the local history and research literature. The Ryabchikov's estate is one of the fourteen surviving complexes of pre-revolutionary industrial and residential architecture that are not included in the list of cultural heritage objects. For its inclusion and long-term preservation, full-scale, visual and photo fixation surveys, historical-archival, bibliographic, architectural and cultural analysis surveys are carried out. The obtained information reveals the historical boundaries and preserves estate buildings, their functional purpose and erecting dates are indicated. The relevance of the complex's functional and planning structure to the researched archival documents are studied, the amount of preservation is determined. The ways of architectural-planning and spatial transformation of the estate in the late XIX- XX centuries are analyzed. The features of buildings' architectural and stylistic composition are shown. Drawings and graphic reconstructions of buildings are provided. According to the summary of the identified and listed historical and architectural features, it is determined that the pre-revolutionary Ryabchikov's industrial estate has the characteristics of a cultural heritage object and needs comprehensive preservation.*

Keywords: *industrial estate, textile, industrial building, architectural and stylistic features, complex, Ivanovo.*

REFERENCES

1. Niva. Illustrated magazine of literature, politics and modern life. Russian Manchester [Russkiy Manchester]. S. Peterburg, 1875. No 14. Pp. 27–29. (rus)
2. Hoeffecker C.E. Brandywine Village. The story of a milling community. Old Brandywine village Inc. Wilmington, Delaware. 1974. 111 p.
3. Herman Bernard L. Architecture and rural life in central Delaware, 1700–1900. The university of Tennessee Press. Knoxville, 1987. 281 p.
4. Lisitsina A.V., Shaboldin Y.L., Chebereva O.N., Krilova O.F., Ivanov D.I., Anikina A.O. Objects of cultural heritage of Nizhny Novgorod region. Pavlovsk region. Illustrated catalogue of historical and cultural monuments [Ob'ekti kulturnogo nasledia ybzhgorodskoy oblasti. Pavlovskiy raion. Illustrirovanniy katalog pamiatnikov istorii i kulturi]. N. Novgorod: Quartz, 2015. 560 p. (rus)
5. Marov V.F. Yaroslavl: Architecture and city planning [Yaroslavl: arhitektura i gradostroitel'stvo]. Yaroslavl: Verhnaya Volga, 2000. 216 p. (rus)
6. List of Russian architectural and monumental art monuments. Ivanovo region. Vol.1 [Svod pamiatnikov arhitekturi i monumental'nogo iskusstva Rossii. Ivanovskaya oblast'. T.1]. M.: Nauka, 1998. 526 p. (rus)
7. Potts L.W., Sligar A.M. Watkins M. The factory on the farm. Truman state university press, Kirksville, Missouri 63501. 216 p.
8. GAIO. State archive of Ivanovo region. F.2.Inventory.1.Case.7408.L.1.Block 49,50. Vorobyovskaya, Pyatnitskaya-Sennaya, 1st Ilyinskaya streets, end of XIXth century [Gosudarstvenniy arhiv Ivanovskoy oblasti. F.2.Op.2.D.7408.L.1. Kvartal 49, 50. Vorobyovskaya, Pyatnitskaya-Sennaya, 1 Ilyinskaya ulici, konec XIX v.]. (rus)
9. IGIKM. Ivanovo state Burilin's museum of local history and industry. Map of Ivanovo-Voznesenk with assigned factories in 1802 [Ivanovskiy gosudarstvenniy istoriki-kraevedcheskiy i promishlenniy muzey imeni Burilina, Plan Ivanovo-Voznesenska s oboznacheniem fabric v 1802]. (rus)
10. IGIKM. Ivanovo state Burilin's museum of local history and industry. Map of Ivanovo-Voznesenk with assigned factories in 1832 1802 [Ivanovskiy gosudarstvenniy istoriki-kraevedcheskiy i promishlenniy muzey imeni Burilina, Plan Ivanovo-Voznesenska s oboznacheniem fabric v 1832]. (rus)
11. GAIO. State archive of Ivanovo region. F.2.Inventory.1.Case.3590.L. 2-3. Plan of Ivanovo-Voznesenk merchant's A.A. Ryabchikov estate placed in Ivanovo-Voznesenk on Ilyinskaya street. 1900 [Gosudarstvenniy arhiv Ivanovskoy oblasti F.2.Op.1.D.3590.L. 2-3. Plan uchastka Ivanovo-voznescenskogo kuptca A.A. Ryabchikova, nahodyashegosia v Ivanovo-Voznesenske na Ilinskoy ulice. 1900]. (rus)
12. RGIA (Russian State Historical Archive). Collection of facades, his Imperial Majesty Highly

tested for private buildings in the cities of the Russian Empire. 1809-1812. Parts I-V.-St. Petersburg, 1809-1812.[Rossiyskiy gosudarstvenniy istoricheskiy arhiv. Sobranie fasadov ego imperatorskim velichestvom visochayshe oprobirovannih dlya chasniy stroeniy v gorodah Rossiyskoy Imperii 1809-1812. Chasti 1-5. Sankt Peterburg, 1809-1812]. (rus)

13.Garnova N.V. Architecture of Ivanovo Shapov's industrial estate of the second half of XIX-beginning of XXth centuries [Arhitektura promishlennoy usad'bi Shapova vtoroy polovini XIX-nachala XX vv Ivanovo]. Building materials and products. Belgorod, 2019. No 5. Pp. 33–39. (rus)

14.Ivanov D.A. Ethno zones of Suzdal lands. Ivanovo region [Etnozoni suzdal'skoy zemli. Ivanovskiy region]. Ivanovo: Referent, 2008. 413 p.(rus)

15.GAIO. State archive of Ivanovo region. F.2.Inventory.1.Case.1928.L.14-15. Project of the second level and additional 1st level to the existing house on the merchant's E.F. and A.A. Ryabchikov's property on Ilyinskaya street. 1885. [Gosudarstvenniy arhiv Ivanovskoy oblasti F.2.Op.1.D.1928.L.14-15. Proekt vtorogo etazha I dostroyki pervogo k sushestvuushemu domu vo vladenii kupca E.F. i A.A. Ryabchikov na Ilyinskoy ulice.1885]. (rus)

16.Garnova N.V. Civil architecture in Ivanovo-Voznesensk industrial estates of the second half of XIX-beginning of XXth centuries [Arhitektura zhiloy zastroyki promishlennih usadeb Ivanovo-Voznesenska vtoroy polovini XIX-nachala XX vv.]. Technical esthetics and design research. Belgorod, 2020. Vol.2. No 3. Pp. 50–61. (rus)

17.GAIO. State archive of Ivanovo region. F.2.Inventory.1.Case.3590.L.2-3. General plan of merchant's A.A. Ryabchikov's widow E.A. property on Ilyinskaya street in Ivanovo-Voznesensk. 1900. [Gosudarstvenniy arhiv Ivanovskoy oblasti F.2.Op.1.D.3590.L.2-3. Obshiy plan vladenia kupecheskoy vdovi A.A.Ryabchikova i E.A. na Ilyinskoy ulice v g. Ivanovo-Voznesensk.1900]. (rus)

18.Nugmanova, G.G. Kazan industrial estates in the XIXth-beginning of XXth centuries [Promishlennye usad'bi Kazani v XIX-nachale XX vv.]. Monuments of Russian architecture and monumental art of XVI-XX centuries.Moscow, 2005. Vol. 7. Pp. 379–408. (rus)

19.Beletskaya E., Krashenninnikova N., Chernozubova L., Ern I. "Analogue" projects of civil buildings in Russian cities XVIII-XIX vv. [Obraztsy proekty v zhiloy zastroyke russkih gorodov XVIII-XIX vv.]. Moscow, 1961. 205 p. (rus)

20.GAIO. State archive of Ivanovo region. F.2.Inventory.1.Case.1940.L.22. General plan of merchant's widow E.F and A.A. Ryabchikov's property on Ilyinskaya street. 1885. [Gosudarstvenniy arhiv Ivanovskoy oblasti F.2.Op.1.D.1940.L.22 Obshiy plan vladenia kupecheskoy vdovi E.F. i A.A. Ryabchikova na Ilyinskoy ulice.1885]. (rus)

21.GAIO. State archive of Ivanovo region. F.2.Inventory.1.Case.2029.L.7. Plan of merchant's widow E.F and A.A. Ryabchikov's property on Ilyinskaya street. 1886. [Gosudarstvenniy arhiv Ivanovskoy oblasti F.2.Op.1.D.1940.L.22 Plan vladenia kupecheskoy vdovi E.F. i A.A. Ryabchikova na Ilyinskoy ulice.1886]. (rus)

Information about the authors

Savelyeva, Natalya V. PhD. E-mail: natasha_barkova@inbox.ru. Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering. 603950, Russia, Nizhniy Novgorod, Ilyinskaya st., b. 65.

Received 13.08.2021

Для цитирования:

Савельева Н.В. Историко-архитектурный анализ комплекса дореволюционной промышленной усадьбы Рябчиковых в г. Иваново // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2021. № 11. С. 89–96. DOI: 10.34031/2071-7318-2021-6-11-89-96

For citation:

Savelyeva N.V. Historical and architectural analysis of the pre-revolutionary industrial complex of ryabchikov's estate in Ivanovo. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2021. No. 11. Pp. 89–96. DOI: 10.34031/2071-7318-2021-6-11-89-96

DOI: 10.34031/2071-7318-2021-6-11-97-105

Трюхан М.Ю., Барабаш М.В.Академия архитектуры и искусств, Южный федеральный университет***E-mail: marina.bulygina.rostov@gmail.com*

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ ФУНКЦИОНАЛЬНО-ПЛАНИРОВОЧНОГО ФОРМИРОВАНИЯ ЛЕДОВЫХ СООРУЖЕНИЙ

Аннотация. Статья посвящена вопросу развития ледовых спортивных сооружений. Описаны современные тенденции развития в мире архитектуры ледовых арен и спортивных сооружений. Рассмотрены функции современных ледовых спортивных сооружений и их трансформация с начала периода возникновения первых крытых ледовых арен. Рассмотрены изменения типологии ледовых арен в связи с современными условиями городской жизни и с развитием строительных и инженерных технологий. Выявлены условия архитектурного формирования спортивных сооружений с искусственным льдом. На базе анализа отечественного и зарубежного опыта проектирования современных спортивных ледовых сооружений выявлены особенности объемно-планировочной структуры и градостроительных условий. Описаны перспективы развития ледовых спортивных сооружений с точки зрения многофункциональности и универсальности зданий. Приведены возможные меры, направленные на повышение энергоэффективности спортивных ледовых арен и комплексов. В статье затрагивается вопрос обеспечения безопасности людей в условиях их массового скопления на спортивных мероприятиях путем архитектурно-пространственной организации здания и прилегающей территории. Многофункциональность, всесезонность, а также развивающаяся тенденция наполнения спортивных ледовых сооружений общественно-развлекательными функциями позволит привлечь большое количество людей к посещению ледовых арен, а также поднять уровень заинтересованности населения в спорте.

Ключевые слова: ледовая арена, спорт, функции, ледовое спортивное сооружение, крытый стадион.

Введение. В XXI веке спорт выполняет обширный спектр функций, имеющих социально-общественное значение в России и во всем мире. К общим функциям массового (любительского) спорта относятся: личностно-направленное воспитание, обучение и развитие человека; оздоровительно-рекреативная функция; эмоционально-зрелищная функция; функция социальной интеграции и социализации личности; коммуникативная функция, а также экономическая функция [1]. Профессиональный спорт (спорт высших достижений) выполняет специфические функции, такие как выполнение классификационных норм и установление рекордов для широкого признания на соревнованиях; творческая поисковая деятельность, сопряженная с познанием человеком своих возможностей, вместе с исследованием эффективных способов максимальной реализации и их увеличения, а также повышение авторитета страны на международной арене [2–4].

С 2019 года в рамках национального проекта «Демография» стартовал федеральный проект «Спорт – норма жизни» на глобальном общероссийском уровне. Основными задачами являются повышение уровня обеспеченности населения спортивными сооружениями, в том числе учебно-спортивными базами, и создание комфортных условий для всех категорий и групп населения для занятий физической культурой и спортом.

Развитие и популяризация спортивной культуры и массового спорта связаны с ростом материального фонда, в особенности спортивных сооружений, способствующих повышению интереса к здоровому образу жизни, предоставляющих возможность гражданам всех возрастных категорий и групп населения реализовать физическую активность и всестороннее развитие личности [1]. В особенности направление развития спортивного досуга представляет собой острую необходимость для населения в условиях современной жизни крупных городов, при повсеместном распространении сидячего образа жизни во многих сферах деятельности.

Целью исследования является выявление на основе научно-обоснованных предложений особенностей функционально-планировочного формирования спортивных ледовых сооружений с учетом современных тенденций в мировой архитектурной практике.

Задачами, поставленными в процессе исследования, являются изучение и анализ опыта проектирования и строительства ледовых спортивных зданий в отечественной и зарубежной практике, выявление современных тенденций и особенностей проектирования ледовых арен.

Объектом изучения являются ледовые арены, а также близкие по типологическим характеристикам комплексы, стадионы, спортивные сооружения.

Материалы и методы. Метод исследования включает в себя графоаналитический и сравнительный анализы и обобщение международного опыта проектирования и строительства ледовых спортивных арен, комплексов и зданий соответствующей или близкой типологии. Методика выполнения работы основана на комплексном подходе и также включает в себя систематизацию по классификационным признакам, таким как объемно-планировочная структура и градостроительные условия, нормативной литературы и научных разработок, представленных как в отечественной, так и зарубежной литературе и научных периодических изданиях.

Вопросы архитектурно-планировочных, функциональных, конструктивных особенностей спортивных объектов и их проектирования в настоящее время являются весьма актуальными и рассматриваются в работах ряда авторов, как отечественных, так и зарубежных, например, Выхольского, Н.А. [5], Бархина Б.Г., Адамович В.В., Варезкина В.А. [6], Агеевой Е.Ю., Филипповой М.А. и др. Функциональные и типологические особенности проектирования ледовых спортивных зданий и сооружений рассмотрены в руководстве International Ice Hockey Federation «IIHF ice rink guide». Однако, влияние современных тенденций XXI века на функционально-планировочное формирование ледовых сооружений, а также внешних и внутренних факторов на проектирование данных спортивных зданий и сооружений остаются малоизученными.

Основная часть. Многие зимние виды спорта стали массовыми и профессиональными видами спорта только после появления крытых ледовых спортивных сооружений и арен, функционирующих круглогодично. Источники о возникновении крытых ледовых арен весьма разноречивы. Однако большинство авторов утверждает, что 7 января 1876 года в Лондоне был открыт первый в мире искусственный каток под открытым небом. Первые крытые катки, появившиеся в 1890-х годах, имели ледовое поле с естественным льдом. В стенах и крышах таких катков прорезались узкие щели для доступа холодного воздуха во избежание таяния естественного льда [7]. В 1912 году в городе Виктория, Канада, был возведен первый в мире крытый стадион с искусственным ледовым полем, рассчитанный на 4000 зрителей [7], что на тот момент было рекордным числом (рис. 1).

Подготовка ледовой площадки на первых этапах развития ледовых арен представляла собой трудоемкий и длительный процесс: вода подавалась из шланга и рабочие при помощи специализированных приспособлений вручную вырав-

нивали лед. В 1949 году американский изобретатель Фрэнк Замбони разработал ледовый комбайн для заливки или восстановления льда на катках, который получил название ресурфейсер. Изобретение способствовало значительному масшовому развитию архитектуры спортивных сооружений с ледовой площадкой. В XXI веке одной из современных тенденций является развитие новой технологии синтетического льда, покрытие которого состоит из термоплит на основе полиолефина. Применение синтетического льда является экономически более выгодным, чем использование искусственного льда. В Канаде, США и Европе большое распространение получили любительские и тренировочные арены с синтетическим льдом в связи с тем, что такие катки более просты в эксплуатации [8].

Исследование ретроспективы ледовых спортивных сооружений позволяет установить ряд тенденций в архитектуре спортивных ледовых сооружений. В первую очередь это переход от открытых и полукрытых пространств к созданию крытых ледовых сооружений с развитием новых технологий для воплощения передовых конструктивных и инженерных мыслей.

В XXI веке архитектура спортивных зданий и сооружений является индивидуальной, специфичной, уникальные здания ледовых арен, дворцов спорта представляют собой значимые объекты в структуре города и для градостроительства в целом [9]. Уникальность спортивной архитектуры требует высокой подготовки и квалификации от архитекторов, вовлеченных в процесс проектирования этих объектов.

Функциональное назначение сооружения любого типа, а также вместимость объекта, устройство внутреннего пространства, требуемое оборудование, набор мебели, благоустройство оказывает влияние на его объемно-планировочные и архитектурно-пространственные характерные особенности.

В XXI веке отмечается изменение типологии ледовых зданий и сооружений. Это связано с современной тенденцией повышения экономического эффекта и рентабельности спортивных сооружений. Ледовые арены и дворцы спорта являются крупными значимыми объектами, в функциональном наполнении которых отмечается значительное расширение ряда функций. Многофункциональные спортивные сооружения сочетают в себе как профессиональный, так и любительский, включая массовый и детский спорт. Такие здания становятся полноценными общественными, оздоровительными, культурными центрами [10–12]. Ледовые арены и дворцы спорта приобретают универсальность: спортивные площадки используются для проведения

[illegible]

Рис. 1. Ретроспективный анализ ледовых спортивных сооружений

Возникает ряд новых спортивно-оздоровительных и досуговых групп помещений и объектов, например, фитнес-центры, бассейны, сауны, спортклубы, а также возможно размещение боулингов, бильярдных [12]. Кафе и рестораны, ориентированные как на спортивное питание, так и на массового потребителя, стали неотъемлемой частью ледовых спортивных комплексов. Конференц-залы, пресс-центры и телевизионные студии необходимы для полноценного функционирования спортивного ледового сооружения, так как одним из главных направлений спортивной культуры является телевизионные трансляции матчей и мероприятий. В XXI веке Ледовый дворец или Ледовая арена используется круглогодично, является объектом массового городского притяжения, является одним из важнейших общественных зданий в структуре города. Архитектура таких зданий не может оставаться традиционно аскетичной в виде традиционных «ледовых коробок» [9]. Современные ледовые арены в настоящее время становятся объектом футуристического интереса. Динамика форм, интересные композиции, наращивание функций, создание большого количества рекреационных и развлекательных пространств [13], реализация самых передовых технологий: строительных, инженерных, информационных и т.д.; создание пар-

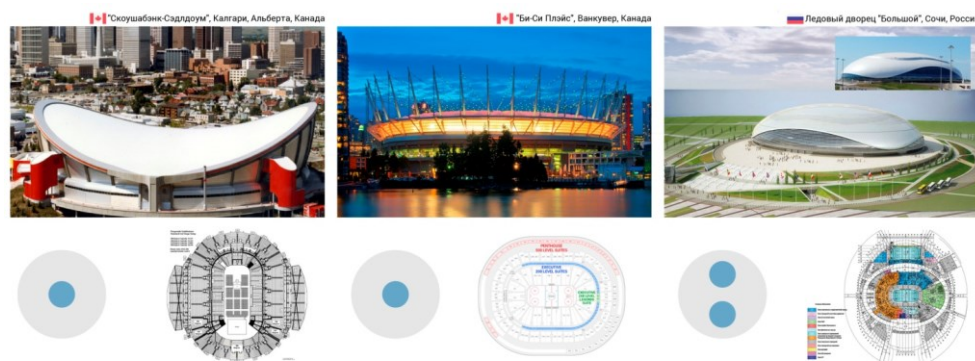
ковых зон вблизи объекта – путь к успеху в проектировании современных ледовых спортивных центров.

Архитектурно-планировочная и пространственная организация здания, а также его размеры и форма характеризуются системой взаимосвязей элементов, определяющих функционально-технологические процессы, протекающие в объекте [14, 15]. В спортивных сооружениях, особенно это относится к крытым спортивным объектам, в отношении архитектурно-планировочного устройства зданий можно выделить три основные группы помещений: 1) помещения для зрителей; 2) помещения для спортсменов; 3) вспомогательные помещения [14, 15]. Взаиморасположение этих групп относительно друг друга и зонирование пространства играет важную роль в организации архитектурного решения здания.

Функциональность объекта, удобство и эффективность его эксплуатации как для зрителей и спортсменов, так и для обслуживающего персонала и администрации, определяется грамотно спроектированными взаимосвязями отдельных зон и входящих в их состав помещений.

В отношении объемно-планировочного решения ледовых спортивных сооружений можно выделить 2 основных схемы на основе анализа мирового опыта проектирования: «компактная» и «павильонная» (рис. 2).

а)



б)



Рис. 2. Анализ объемно-планировочной структуры ледовых сооружений:

а) «компактная» объемно-планировочная структура, б) «павильонная» объемно-планировочная структура

Анализ мирового опыта проектирования и реализации спортивных ледовых сооружений (рис. 3) позволяет выделить следующие тенденции, относящиеся к градостроительным условиям выбора расположения объекта: близость к другим спортивным сооружениям (формирование спортивного кластера); близость к знаковым историческим объектам города; близость к точкам сосредоточения транспортных магистралей

различного уровня; близость к рекреационным зонам; расположение на территориях, обладающих резервами для дальнейшего развития. Данные условия в разной степени влияют на каждый из существующих вариантов размещения ледовых спортивных сооружений: расположение в структуре города; на периферии города; за пределами города.



Рис. 3. Градостроительные условия расположения ледовых сооружений:
а) расположение в структуре города, б) расположение на периферии города,
в) расположение за пределами города

При проектировании ледовых спортивных объектов важную роль играют энергоэффективные и энергосберегающие технологии, особенно в городах с теплым климатом, где для обеспечения правильного технологического процесса требуются в несколько раз больше энергии [16]. Возможные меры экономии энергии, которые могут быть применены: внедрение систем автоматического учета, контроля и использования электроэнергии; энергоэффективное освещение; рекуперация тепла; сбор и использование дождевой воды; отдельные системы водоснабжения (техническая и питьевая).

Современные многофункциональные ледовые спортивные арены и сооружения являются объектами массового скопления людей [17]. В связи с чем безопасность, стойкость к нагрузкам и разрушениям объекта выходят на передний план. В XXI веке становится актуальным такое понятие, как «пассивный дизайн» - стратегия, способная сорвать попытки преступников овладеть зданием [18]. Для решения этой задачи могут быть применены механические средства, такие как бетонные барьеры, тумбы, препятствующие въезду в зону безопасности, но также безопасность должна достигаться и с помощью объемно-пространственной планировки здания и прилегающего участка. Нужно учитывать, что при больших площадях наружных поверхностей и стен здания выбор ограждений и их связь с окружающей средой является важной задачей

[19, 20]. Ограждающие конструкции многослойного фасада могут создавать несколько отделенных друг от друга зон, что послужит препятствием в случае угрозы взрывной волны. Конструкции должны быть просматриваемыми, оптимально использовать колонны круглого сечения, в планировке – прибегать к плавным и скругленным поворотам [17]. Осуществление принципа естественного наблюдения возможно при помощи архитектурных средств, таких как естественное и искусственное освещение, акцентированные и высоко поднятые входы и выходы из здания, а также спокойный ландшафт, удобный для обзора территории.

Выводы. Научная новизна заключается в проведении ретроспективного анализа, который позволил выявить основные тенденции развития архитектуры ледовых сооружений, в частности переход от открытых сооружений к крытым с включением дополнительных функций. Изучена типология ледовых современных спортивных арен и их классификация; что позволило выявить две основные схемы объемно-планировочного решения ледовых спортивных сооружений, компактную и павильонную. А также проведен анализ градостроительных условий расположения ледовых сооружений, в результате чего выявлено что они могут быть расположены в структуре города, на периферии или за его пределами. Также сформулирован следующий ряд современных особенностей архитектуры ледовых сооружений:

1. Ледовые спортивные сооружения сочетают в себе индивидуальность и уникальность внешнего образа, достигаемую применением необычных оригинальных конструкций, материалов, форм, покрытий, и расширенный ряд функций во внутреннем наполнении здания. Становление ледовой арены общественным центром с рядом образовательных, культурных, досуговых функций является основополагающей для развития архитектуры ледового спорта.

2. Использование энергосберегающих и энергоэффективных технологий уверенно закрепляется на передовой спортивной индустрии, так как позволяет достичь оптимальных показателей производительности спортивных сооружений.

3. обеспечение безопасности спортивной арены как объекта массового скопления людей в настоящий момент вносит значительный вклад в архитектурно-планировочное решение здания для создания естественного наблюдения и приведения в действие стратегии «пассивного дизайна».

Новый подход к проектированию спортивных ледовых сооружений, который включает в себя всепогодность, многофункциональность, максимальное насыщение здания досугово-развлекательно-оздоровительными функциями, может позволить эффективно реализовывать деятельность спортивных сообществ, укреплять и поддерживать массовый спорт, совершенствовать новые спортивные и оздоровительные программы, поднять уровень заинтересованности физической культурой среди населения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Шумейко В.И., Евтушенко А.И., Кудлаева А.А., Ким О.В. Перспективы развития стадиона как многофункционального спортивного объекта // ИВД. 2017. №2 (45). С. 93. [Электронный ресурс]. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/perspektivy-razvitiya-stadiona-kak-mnogofunktsionalnogo-sportivnogo-obekta> (дата обращения: 05.04.2021).

2. Denis Bocquet. Green school // Speech. 2014. № 14. Рр. 54–70.

3. Новый поворот: здания, которые меняют этот мир. Prada-трансформер в Сеуле. ОМА // Speech: archspeech интернет-издание об архитектуре, градостроительстве и дизайне. [Электронный ресурс]. URL: archspeech.com/article/novyy-povorot-zdaniya-kotorye-menyayut-etot-mir (дата обращения: 05.04.2021).

4. Земов Д.В. Новейшие тенденции формирования облика общественных пространств // Ар-

хитектон: известия вузов. 2004. №7. [Электронный ресурс]. URL: archvuz.ru/2004_2/19/ (дата обращения: 05.04.2021).

5. Выхольский Н.А., Иевлева О.Т. Архитектурно-планировочная модернизация спортивных клубов по месту жительства в Ростовской области // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2010. №3. С. 27–34. [Электронный ресурс]. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/arhitekturno-planirovchnaya-modernizatsiya-sportivnyh-klubov-po-mestu-zhitelstva-v-rostovskoy-oblasti> (дата обращения: 10.04.2021).

6. Бархин Б.Г., Адамович В.В., Варезкин В.А. Архитектурное проектирование общественных зданий и сооружений. М.: Стройиздат, 1984. 543 с.

7. Жестянников Л.В., Загайнов М.В. Ледовые арены. Учебное пособие. 2011 г. С. 21–30.

8. Кофанов В. Синтетический лед не уступает натуральному! // Строительство и эксплуатация спортивных сооружений. 2010. № 4 (51). С. 30–34.

9. Коршунова Н.Н., Моргунова Т.В. Актуальные проблемы развития архитектуры многофункциональных спортивных сооружений в крупных городах РФ // Инновации и инвестиции. 2014. №12. С. 118–119. [Электронный ресурс]. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/aktualnye-problemy-razvitiya-arhitektury-mnogofunktsionalnyh-sportivnyh-sooruzheniy-v-krupnyh-gorodah-rf> (дата обращения: 11.04.2021).

10. Пименова Е.В., Шумейко В.И. Трансформация в архитектуре уникальных общественных зданий // ИВД. 2016. №4 (43). С. 196. [Электронный ресурс]. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/transformatsiya-v-arhitekture-unikalnyh-obshchestvennyh-zdaniy> (дата обращения: 11.04.2021).

11. Housing Finance: Key Concepts and Terms. United Nations, New York and Geneva, 2008. 224 p.

12. Иглин А.В. Спорт и экономика // Вестник МФЮА. 2018. №3. С. 77–87. [Электронный ресурс]. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sport-i-ekonomika> (дата обращения: 11.04.2021).

13. Бобровский Е. А. Развитие спортивной инфраструктуры для активизации массового спорта // КНЖ. 2018. №1 (22). С. 101–104. [Электронный ресурс]. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/razvitie-sportivnoy-infrastruktury-dlya-aktivizatsii-massovogo-sporta> (дата обращения: 12.04.2021).

14. Бурлаков И.Р., Неминуций Г.П. Спортивные сооружения и комплексы. Учебное пособие. Ростов-на-Дону, 1997. С. 28–31.

15. Bowdoin College Science Facility // International Architecture Yearbook. The Images Publishing Group Pty Ltd Images House. 1999. № 5. Pp. 60–61.

16. Зубкова Я.О., Фахрутдинова И.А. Способы сокращения энергопотребления в архитектуре современных спортивных центров // Известия КазГАСУ. 2018. №2 (44). С. 67–77. [Электронный ресурс]. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sposoby-sokrascheniya-energopotrebleniya-v-arhitekture-sovremennyh-sportivnyh-tsentrov> (дата обращения: 12.04.2021).

17. Списивцев С.А. О мерах антитеррористической безопасности как факторе минимизации риска террористических угроз в условиях современной геополитической реальности // Проблемы современного педагогического образования. 2018. №60-2. С.327–330. [Электронный ре-

сурс]. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/o-merah-antiterroristicheskoy-bezopasnosti-kak-faktore-minimizatsii-riska-terroristicheskikh-ugroz-v-usloviyah-sovremennoy> (дата обращения: 12.04.2021).

18. Таганова А.А., Бурцев А.О. Современные методы выявления лиц, вынашивающих преступные замыслы // Прикладная юридическая психология. 2018. №2. С. 34–38. [Электронный ресурс]. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sovremennyye-metody-vyyavleniya-lits-vynashivayuschih-prestupnyye-zamysly> (дата обращения: 15.04.2021).

19. Моргун В.Н. Размышления об эффективности стеновых материалов // ИВД. 2008. №4. С. 6–10. [Электронный ресурс]. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/razmyshleniya-ob-effektivnosti-stenovykh-materialov> (дата обращения: 15.04.2021).

20. Simonds J.O. Landscape architecture. New York, 1961. 221 p.

Информация об авторах

Трюхан Марина Юрьевна, магистрант кафедры архитектурного и средового проектирования. E-mail: marina.bulygina.rostov@gmail.com. Академия архитектуры и искусств ФГАОУ ВПО «Южный федеральный университет». Россия, 344006, г. Ростов-на-Дону, ул. Большая Садовая, 105/42.

Барабаш Мария Витальевна, кандидат архитектуры, доцент кафедры архитектурного и средового проектирования. E-mail: mary.mazurik@yandex.ru. Академия архитектуры и искусств ФГАОУ ВПО «Южный федеральный университет». Россия, 344006, г. Ростов-на-Дону, ул. Большая Садовая, 105/42.

Поступила 28.04.2021

© Трюхан М.Ю., Барабаш М.В., 2021

***Tryukhan M.Yu., Barabash M.V.**

Academy of Architecture and Arts of Southern Federal University

**E-mail: marina.bulygina.rostov@gmail.com*

MODERN TRENDS OF FUNCTIONAL-PLANNING FORMATION OF ICE FACILITIES

Abstract. The article is devoted to the development of ice sports facilities. The current trends in the development of the architecture of ice arenas and sports facilities in the world are described. The functions of modern ice sports facilities and their transformation from the beginning of the appearance of the first indoor ice arenas are considered. Changes in the typology of ice arenas are considered in connection with the modern conditions of urban life and with the development of construction and engineering technologies. The conditions for the architectural formation of sports facilities with artificial ice are presented. The analysis of domestic and foreign experience in the design of modern sports ice facilities reveals the features of the space-planning structure of urban planning conditions. The prospects for the development of ice sports facilities from the point of view of the multifunctionality and universality of buildings are described. Possible measures aimed at improving the energy efficiency of sports ice arenas and complexes are presented. The article touches upon the issue of ensuring the safety of people in the conditions of their mass congestion at sports events through the architectural and spatial organization of the building and the adjacent territory. Multifunctionality, all-season nature, as well as the growing trend of filling sports ice facilities with public entertainment functions will attract a large number of people to visit ice arenas, as well as raise the level of public interest in sports.

Keywords: ice arena, sports, functions, ice sports facility, indoor stadium.

REFERENCES

1. Shumeyko V.I., Evtushenko A.I., Kudlaeva A.A., Kim O.V. Prospects for the development of the stadium as a multifunctional sports facility. [Per-

spektivy razvitiya stadiona kak mnogofunkcional'nogo sportivnogo ob'ekta]. Inzenernyj vestnik Dona. 2017. No. 2 (45). P. 93. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/perspektivy-razvitiya-stadiona>

kak-mnogofunktsionalnogo-sportivnogo-obekta (rus) (date of treatment: 05.04.2021).

2. Denis Bocquet. Green school. Speech. 2014. No. 14. Pp. 54–70.

3. A new twist: buildings that change this world. Prada transformable in Seoul. OMA. [Novyj povorot: zdaniya, kotorye menyayut etot mir. Prada-transformer v Seule. OMA] Speech: archspeech internet-izdanie ob arkhitekture, gradostroitel'stve i dizayne URL: archspeech.com/article/novyj-povorot-zdaniya-kotorye-menyayut-etot-mir (rus) (date of treatment: 05.04.2021).

4. Zemov D.V. The latest trends in shaping the appearance of public spaces. [Novejshie tendencii formirovaniya oblika obshchestvennykh prostranstv]. Arkhitekton: izvestiya vuzov. 2004. No. 7. URL: archvuz.ru/2004_2/19/ (rus) (date of treatment: 05.04.2021).

5. Vikholsky N.A., Ievleva O.T. Architectural and planning modernization of local (residential) sports clubs in Rostov region. [Arhitekturno-planirovochnaya modernizatsiya sportivnykh klubov po mestu zhitel'stva v Rostovskoy oblasti]. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. 2010. No. 3 Pp. 27–34. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/arhitekturno-planirovochnaya-modernizatsiya-sportivnykh-klubov-po-mestu-zhitelstva-v-rostovskoy-oblasti> (rus) (date of treatment: 10.04.2021).

6. Barhin B.G., Adamovich V.V., Varezkhin V.A. Architectural design of public buildings and structures. [Arhitekturnoe proektirovanie obshchestvennykh zdaniy i sooruzhenij]. M.: Strojizdat. 1984. 543 p. (rus)

7. Zhestyannikov L.V., Zagajnov M.V. Ice arenas. [Ledovye areny]. Textbook. 2011. Pp. 21–30.

8. Kofanov V. Synthetic ice is as good as natural ice! [Sinteticheskiy led ne ustupaet natural'nomu!]. Sport Build. 2010. No. 4 (51). Pp. 30–34. (rus)

9. Korshunova N.N., Morgunova T.V. Actual problems of development of the architecture of multifunctional sports facilities in the major cities of the Russian Federation. [Aktual'nye problemy razvitiya arhitektury mnogofunktsional'nykh sportivnykh sooruzhenij v krupnykh gorodakh RF]. Innovation & Investment. 2014. No. 12. Pp. 118–119. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/aktualnye-problemy-razvitiya-arhitektury-mnogofunktsionalnykh-sportivnykh-sooruzheniy-v-krupnykh-gorodakh-rf> (rus) (date of treatment: 11.04.2021).

10. Pimenova E.V., Shumeyko V.I. The transformation of the unique architecture of public buildings. [Transformatsiya v arkhitekture unikal'nykh obshchestvennykh zdaniy]. Inzenerniy vestnik Dona.

2016. No. 4. P. 196. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/transformatsiya-v-arhitekture-unikalnykh-obshchestvennykh-zdaniy> (rus) (date of treatment: 11.04.2021).

11. Housing Finance: Key Concepts and Terms. United Nations, New York and Geneva, 2008. 224p.

12. Eglin A.V. Sport and economics. [Sport i ekonomika]. HERALD of the Moscow university of finances and law MFUA. 2018. No. 3. Pp. 77–87. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sport-i-ekonomika> (rus) (date of treatment: 11.04.2021).

13. Bobrovskiy E. A. Sports infrastructure development to mass sports activations. [Razvitie sportivnoy infrastruktury dlya aktivizatsii massovogo sporta]. Karelian Scientific Journal. 2018. No. 1 (22). Pp. 101–104. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/razvitie-sportivnoy-infrastruktury-dlya-aktivizatsii-massovogo-sporta> (rus) (date of treatment: 12.04.2021).

14. Burlakov I.R., Neminushchy G.P. Sports facilities and complexes. [Sportivnye sooruzheniya i komplekсы]. Textbook. Rostov-on-Don, 1997. Pp. 28–31. (rus)

15. Bowdoin College Science Facility. International Architecture Yearbook. The Images Publishing Group Pty Ltd Images House. 1999. № 5. Pp. 60–61.

16. Zubkova Y.O., Fakhrutdinova I.A. Ways to reduce energy consumption in the architecture of modern sports centers. [Sposoby sokrashcheniya energopotrebleniya v arkhitekture sovremennykh sportivnykh centrov]. News of the Kazan State University of Architecture and Engineering. 2018. No. 2 (44). Pp. 67–77. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sposoby-sokrascheniya-energopotrebleniya-v-arhitekture-sovremennykh-sportivnykh-tsentrov> (rus) (date of treatment: 12.04.2021).

17. Spisivcev S.A. Anti-terrorist security measures as a factor in minimizing the risk of terrorist threats in the context of modern geopolitical reality. [O merah antiterroristicheskoy bezopasnosti kak faktore minimizatsii riska terroristicheskikh ugroz v usloviyakh sovremennoy geopoliticheskoy real'nosti]. Problems of modern pedagogical education. 2018. No. 60-2. Pp. 327–330. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/o-merah-antiterroristicheskoy-bezopasnosti-kak-faktore-minimizatsii-riska-terroristicheskikh-ugroz-v-usloviyakh-sovremennoy> (rus) (date of treatment: 12.04.2021).

18. Taganova A.A., Burcev A.O. [Sovremennye metody vyyavleniya lic, vynashivayushchih prestupnye zamysly]. Prikladnaya yuridicheskaya psihologiya. 2018. No. 2. Pp. 34–38. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sovremennye-metody-vyyavleniya-lits-vynashivayushchih-prestupnye-zamysly> (rus) (date of treatment: 15.04.2021).

19. Morgun V.N. Reflections on the effectiveness of wall materials. [Razmyshleniya ob effektivnosti stenovykh materialov]. Inzenernyj vestnik Dona. 2008. №4. Pp. 6–10. URL: [https://cyberleninka.ru/article/n/razmyshleniya-ob-effektivnosti-](https://cyberleninka.ru/article/n/razmyshleniya-ob-effektivnosti-stenovykh-materialov)

[stenovykh-materialov](https://cyberleninka.ru/article/n/razmyshleniya-ob-effektivnosti-stenovykh-materialov) (rus) (date of treatment: 15.04.2021).

20. Simonds J.O. Landscape architecture. New York, 1961. 221 p.

Information about the authors

Tryukhan, Marina Yu. Master student. E-mail: marina.bulygina.rostov@gmail.com. Academy of Architecture and Arts of Southern Federal University. Russia, 344006, Rostov-on-Don, Bol'shaya Sadovaya st., 105/42.

Barabash, Maria V. PhD, Assistant professor. E-mail: mary.mazurik@yandex.ru. Academy of Architecture and Arts of Southern Federal University. Russia, 344006, Rostov-on-Don, Bol'shaya Sadovaya st., 105/42.

Received 28.04.2021

Для цитирования:

Трюхан М.Ю., Барабаш М.В. Современные тенденции функционально-планировочного формирования ледовых сооружений // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2021. № 11. С. 97–105. DOI: 10.34031/2071-7318-2021-6-11-97-105

For citation:

Tryukhan M.Yu., Barabash M.V. Modern trends of functional-planning formation of ice facilities. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2021. No. 11. Pp. 97–105. DOI: 10.34031/2071-7318-2021-6-11-97-105

ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ

DOI: 10.34031/2071-7318-2021-6-11-106-113

¹Строкин К.Б., ¹Новиков Д.Г., ^{2,*}Коновалова В.С., ²Касьяненко Н.С.¹Сахалинский государственный университет²Ивановский государственный политехнический университет

*E-mail: kotprotiv@yandex.ru

ИЗМЕНЕНИЕ СТРУКТУРНО-ФАЗОВОГО СОСТАВА ЦЕМЕНТНОГО БЕТОНА ПРИ МИКРОБИОЛОГИЧЕСКОЙ КОРРОЗИИ

Аннотация. В статье рассмотрено изменение структурно-фазового состава цементного камня из портландцемента марки ЦЕМ I 42,5Н в процессе бактериальной и грибковой коррозии в течение 6 месяцев при увлажнении. На рентгенограммах цементного камня зафиксированы пики, характеризующие негидратированные компоненты портландцемента алит, белит, трехкальциевый алюминат, четырехкальциевый алюмоферрит и гипс. Методом рентгенофазового анализа установлено, что при микробиологической коррозии происходит снижение содержания всех фаз цементного камня. Грибки *Aspergillus niger* van Tieghem сильнее влияют на структурно-фазовый состав цементного камня. Грибковые микроорганизмы разрушают кристаллические фазы и поглощают рентгеноаморфные фазы – гидросиликаты кальция C-S-H (I) и C-S-H (II), тоберморит. При воздействии на цементный камень бактерий *Bacillus subtilis* происходит увеличение содержания фазы кальцита, который является продуктом коррозии, в то время как действие черной плесени *Aspergillus niger* van Tieghem уменьшает интенсивность пиков CaCO_3 . Снижение содержания низкоосновных гидросиликатов кальция и эттрингита, а также других кристаллических фаз, привело к уменьшению прочности на сжатие цементного камня. За 6 месяцев микробиологической коррозии цементного бетона в условиях постоянного смачивания прочность на сжатие снижается примерно на 35 %.

Ключевые слова: микробиологическая коррозия, коррозия бетона, бактериальная коррозия, грибковая коррозия, рентгенографический анализ, прочность бетона.

Введение. Цемент и бетон могут подвергаться биологическому разложению различными микроорганизмами. Уменьшение гидроксида кальция в порах цементного камня нарушает баланс между продуктами отверждения и растворенным гидроксидом кальция, что приводит к растворению и гидролизу продуктов отверждения и выщелачиванию новых порций $\text{Ca}(\text{OH})_2$ [1, 2]. При этом происходит разрушение цементного камня за счет выщелачивания из него гидроксида кальция [3–5]. Компоненты цемента, такие как карбонат кальция, силикаты и алюминаты, медленно вступают в реакцию с водой и продуктами бактериального метаболизма [6, 7].

Микробное воздействие на цементные и бетонные конструкции увеличивает пористость, облегчая проникновение воды и развитие коррозионных процессов [8, 9]. Известно, что осаждение и растворение кальцита (CaCO_3) вызывается местными микроорганизмами [10–12]. Полезным аспектом взаимодействия микробов с цементирующими материалами является образование чешуек оксида (гидроксида) кальция, которые, действуя в качестве пассивного слоя, могут избирательно закупоривать поры [13, 14].

Реакция биогенной кислоты и других продуктов жизнедеятельности микроорганизмов с цементирующими материалами в бетоне приво-

дит к разрушению конструкции. Скорость разрушения бетона и цементного камня в значительной степени зависит от растворимости продуктов реакции выделяемых микроорганизмами органических кислот и составных частей бетона. Чем больше продуктов реакции растворяется и уносится агрессивным раствором, тем быстрее разрушаются бетон и цементный камень. Микроорганизмы растворяют цементную матрицу с выщелачиванием структурных элементов и накоплением их в биопленке и связанной с ней микросреде. Прокорродировавшие внутренние слои состоят из гипса и влаги [13, 15]. Эттрингит, образующийся в результате бактериального воздействия во внутренних областях цементного камня, может вызывать внутренние напряжения, приводящие к растрескиванию и образованию локальных ям и трещин, что еще больше облегчает проникновение агрессивных веществ в бетон [16, 17]. Скорость микробиологической коррозии цементного бетона может достигать 4–5 мм/год [13, 18].

Структурно-фазовый состав цементного камня напрямую связан с физико-механическими характеристиками бетона. При жидкостной коррозии цементного бетона в агрессивных средах снижается содержание фазы гидросиликата кальция, которая является носителем механической прочности [19, 20].

Рентгенофазовый анализ цементного камня дает представление о протекающих в бетоне изменениях на любом сроке коррозии и помогает прогнозировать долговечность и определять срок службы бетонного изделия. В связи с этим была поставлена цель исследовать влияние микроорганизмов на структурно-фазовый состав цементного бетона. Для этого проведен рентгенофазовый анализ цементного камня при бактериальной и грибковой коррозии.

Материалы и методы. Исследования проводились на образцах, изготовленных из портландцемента марки ЦЕМ I 42,5Н с водоцементным соотношением В/Ц = 0,3 и отвержденных в течение 28 суток на воздухе. Химический состав портландцемента марки ЦЕМ I 42,5Н, установленный сертификатом качества, указан в таблице 1, минералогический состав представлен в таблице 2.

Таблица 1

Химический состав портландцемента марки ЦЕМ I 42,5Н, %

SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	R ₂ O	CaO _{св}	Другие примеси
21,55	5,55	4,7	62,93	0,76	2,37	0,54	0,45	1,15

Таблица 2

Содержание основных минералов в портландцементе марки ЦЕМ I 42,5Н, %

C ₃ S	C ₂ S	C ₃ A	C ₄ AF	ТЭА
68,1	11,0	8,7	11,9	0,3

Для заражения бетона использовались следующие штаммы микроорганизмов: бактерии *Bacillus subtilis*, имеющие название «сенная палочка», микромицеты *Aspergillus niger* van Tieghem, называемые «черная плесень». Поверхность цементного камня равномерно опрыскивалась водной суспензией спор микроорганизмов, затем образцы подсушивались в боксе при температуре 25 °С и относительной влажности воздуха 70-90 % до высыхания капель. Чашки Петри с зараженными микроорганизмами образцами помещались в эксикатор, на дно которого была налита дистиллированная вода, и выдерживались при температуре 29±2 °С и относительной влажности воздуха более 90 % в течение 28 суток. Каждые 7 суток крышки эксикаторов приоткрывались на 3 минуты для доступа воздуха.

После заражения микроорганизмами цементные образцы подвергались воздействию капиллярной влаги в течение 6 месяцев. Для этого образцы помещались в емкость на синтепоновую подкладку, часть которой для поддержания влажности на постоянном уровне была опущена в сосуд с водой.

Рентгенографический анализ фазового состава цементного камня проводился после высушивания и измельчения образца до порошкообразного состояния. Рентгенограммы снимались на порошковом рентгеновском дифрактометре D8 Advance при длине волны рентгеновского излучения $\lambda = 1,5405$ Å. Сущность качественного рентгенографического анализа сводится к сопоставлению экспериментально определенных значений межплоскостных расстояний, линий и их интенсивности с эталонными рентгенограммами. Идентификация фаз после получения рентгенограммы начинается с нахождения углов дифракции 2θ и соответствующих им межплоскостных

расстояний, а также относительной интенсивности каждой линии. По найденному для каждого пика значению угла θ при известной длине волны λ применяемого рентгеновского излучения определяются величины межплоскостного расстояния d по уравнению Вульфа – Брегга:

$$d = \frac{\lambda}{2 \sin \theta}. \quad (1)$$

Высота самого интенсивного рефлекса принимается за 100 %, высоты всех остальных пиков (в %) рассчитываются методом пропорции.

Прочность на сжатие (R_c) определяется при испытании образцов статической нагрузкой по методике, установленной ГОСТ 10180-2012 «Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам». Нагружение образцов проводится непрерывно с постоянной скоростью нарастания нагрузки до их разрушения. При этом время нагружения исследуемого образца до его разрушения было не менее 30 с. Максимальное усилие, достигнутое в процессе испытания, принимается за разрушающую нагрузку. Прочность бетона на сжатие для каждого образца вычисляется по формуле:

$$R_c = \alpha \frac{F}{A}, \quad (2)$$

где: α – масштабный коэффициент для приведения прочности бетона к прочности бетона в образцах базовых размера и формы, принимаемый равным 0,95 по ГОСТ 10180-2012; F – разрушающая нагрузка, Н; A – площадь рабочего сечения бетонного образца, мм².

Основная часть. На рентгенограммах цементного камня (рис. 1) видно, что при микробиологической коррозии происходит уменьшение интенсивности пиков. Это свидетельствует

об уменьшении содержания фазовых составляющих цементного камня вследствие разложения их компонентов микроорганизмами. Узкие пики

высокой интенсивности соответствуют кристаллической структуре исследуемых образцов цементного камня.

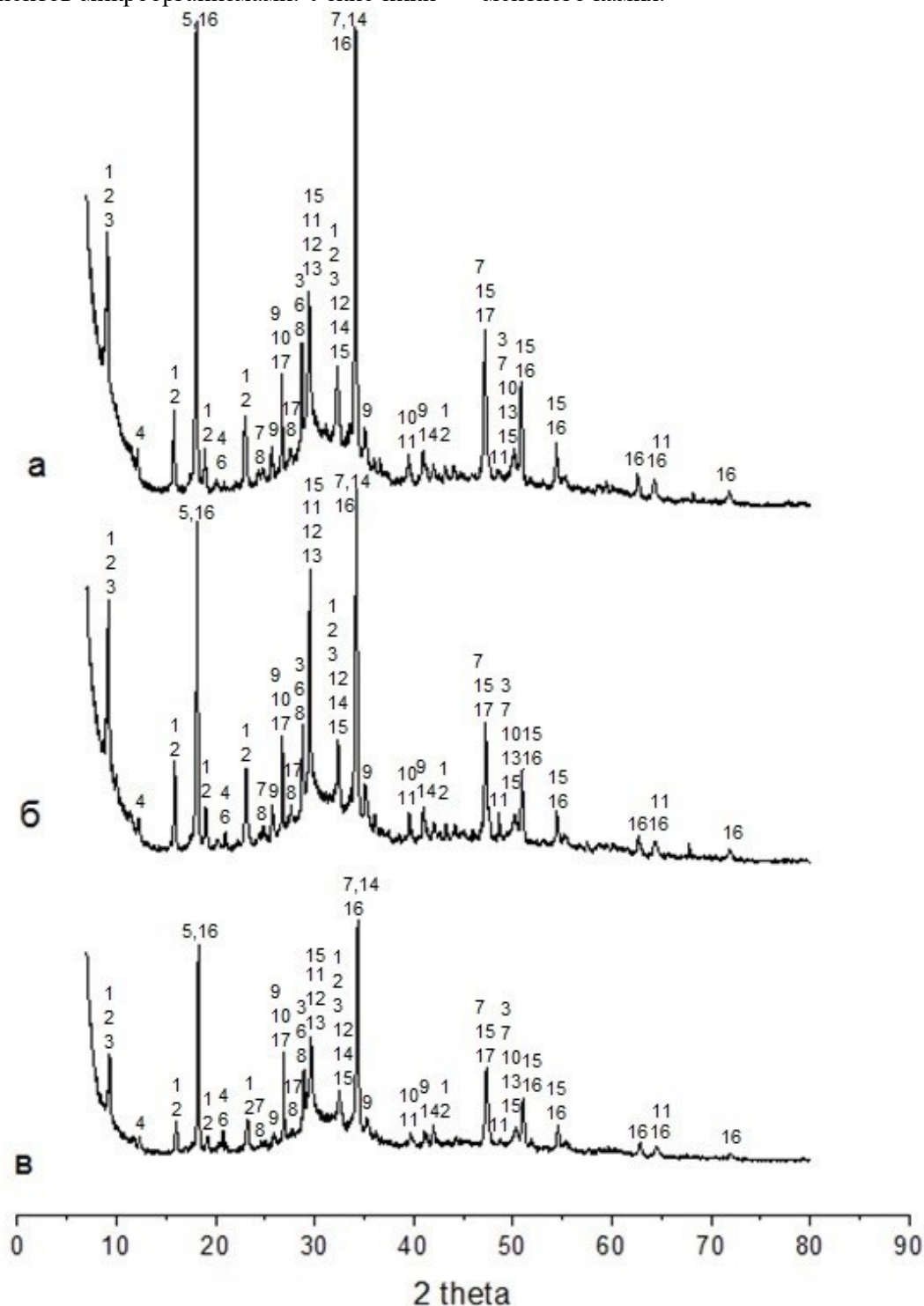


Рис. 1. Рентгенограммы образцов цементного камня после 6 месяцев микробиологической коррозии: а – не зараженный микроорганизмами; б – зараженный бактериями *Bacillus subtilis*; в – зараженный грибами *Aspergillus niger* van Tieghem; 1 – таумасит; 2 – эттрингит; 3 – C-S-H (II); 4 – жисмондин; 5 – гиббсит; 6 – гипс; 7 – браунмиллерит; 8 – ксонотлит; 9 – силлиманит; 10 – β -кварц; 11 – кальцит; 12 – алит; 13 – тоберморит; 14 – белит; 15 – C-S-H (I); 16 – портландит; 17 – кианит

Однако в структуре цементного камня присутствует и рентгеноаморфная фаза. На рентгенограммах зафиксированы два крупных диффузионных гало в интервалах 2θ до 10° и $29-36^\circ$, ко-

торые характеризуют наличие рентгеноаморфных веществ, вероятно гидросиликатов кальция и тоберморитового геля. Под действием грибковых микроорганизмов площади диффузионных гало уменьшаются, значит, рентгеноаморфных фаз в

цементном камне становится меньше, что, вероятно, вызвано поглощением их грибами. Среднее снижение интенсивности линий, характеризующих совместное присутствие тоберморита и тоберморитоподобного гидросиликата кальция C-S-H (I), составило 7 % в случае бактериальной коррозии и 34 % – в случае грибковой.

В результате микробиологической коррозии на рентгенограмме происходит небольшой сдвиг рефлексов по значениям углов 2θ , что связано с изменением аморфно-кристаллической структуры цементного камня. Однако, для одних и тех же фаз пики остаются выраженными.

При бактериальной коррозии цементного камня на рентгенограмме происходит значительное усиление пика при $2\theta = 29,53^\circ$ (рис. 1-б), который соответствует увеличению содержания фазы кальцита CaCO_3 , образующегося при воздействии на цементный камень выделяемой бактериями углекислоты [21]. Интенсивность других пиков, идентифицирующих кальцит, также увеличена в этом случае коррозии. В среднем усиление пиков кальцита на рентгенограмме цементного камня после воздействия бактерий *Bacillus subtilis* составило около 30 %. При грибковой коррозии цементного камня интенсивность пиков кальцита на рентгенограмме снизилась на 12 %, что говорит о разрушении этой фазы микромицетами *Aspergillus niger* van Tieghem.

Снижение интенсивности пиков портландита Ca(OH)_2 на рентгенограммах обусловлено выщелачиванием под воздействием на цементный камень влаги и микроорганизмов [21, 22]. Вымывание портландита из цементного камня в результате коррозионных процессов приводит к дестабилизации высокоосновных гидратных фаз цементного камня и их разрушению, что отражено уменьшением интенсивности линий на рентгенограммах.

На рентгенограммах цементных образцов обнаружены негидратированные фазы цементного клинкера – алит C_3S и белит C_2S . Установлено совместное присутствие в цементном камне алита с продуктами его гидратации – низкоосновными C-S-H (I) и высокоосновными C-S-H (II) гидросиликатами кальция. Негидратированный браунмиллерит C_4AF представлен совместно с гидросиликатами кальция.

Этtringит и таумасит в цементном камне зачастую находятся в кристаллической смеси и на рентгенограммах представлены совместными пиками.

На рентгенограммах имеются два пика невысокой интенсивности при угле 2θ равном $20,758^\circ$ и $28,963^\circ$, относящиеся к двухводному гипсу

$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, что говорит о малом количестве этой фазы в цементном камне. В области $2\theta = 20,758^\circ$ также расположен пик, характеризующий присутствие жисмондина, а в области $2\theta = 28,963^\circ$ – пик, соответствующий гидросиликату кальция C-S-H (II).

Зафиксированы пики, относящиеся к гиббситу Al(OH)_3 и гидросиликатам алюминия – силлиманиту и кианиту.

Установлено присутствие в структурно-фазовом составе цементного камня небольшого количества β -кварца совместно с гидросиликатами кальция или алюминия.

Пики малой интенсивности (3–5 %) на рентгенограммах образцов соответствуют продуктам гидратации минерала портландцемента трехкальциевого алюмината C_3A – восьми, тринадцати и девятнадцативодным гидроалюминатам кальция, а также высокосульфатной форме гидросульфогеррита кальция.

Между характеристиками структуры и параметрами прочности цементного камня существует взаимосвязь. Поскольку увеличения рентгеноаморфной фазы в цементном камне на рентгенограммах не зафиксировано, а уменьшение количества портландита не связано с образованием новых фаз, изменение прочностных характеристик обуславливается снижением содержания кристаллических составляющих. Низкоосновные гидросиликаты кальция C-S-H (I) и этtringит, образующийся на ранних стадиях твердения цементного камня, обеспечивают механическую прочность бетона. Снижение содержания этих фаз в цементном камне в результате воздействия микроорганизмов соответствует уменьшению прочности на сжатие цементных образцов (рис. 2). За 6 месяцев при бактериальной коррозии потеря прочности образцов составила 32 %, при воздействии грибов – 37 %.

Большие потери прочности цементным камнем при грибковой коррозии связаны с интенсивным поглощением микромицетами гидросиликата кальция C-S-H (I). При бактериальной коррозии происходит нейтрализация выделяемой бактериями углекислотой гидроксида кальция сначала из поровой жидкости, а затем из структуры цементного камня. В результате этого образуется CaCO_3 , который имеет низкую растворимость и оседает в порах, закрывая их, однако это не приводит к улучшению прочностных характеристик цементного камня, поскольку вода с выработываемой бактериями углекислотой вновь и вновь поступает в цементный камень и растворяет в нем гидроксид кальция. Вследствие этого происходит изменение структуры цементного камня и потеря им прочности.

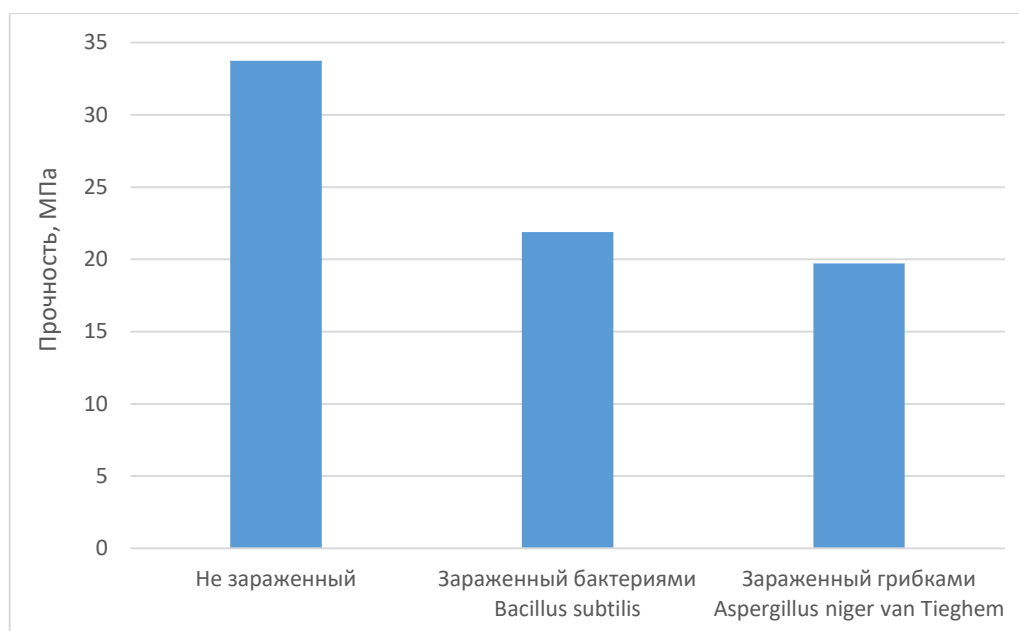


Рис. 2. Изменение предела прочности на сжатие образцов из цементного камня в результате микробиологической коррозии

Выводы.

1. Рентгенограммы исследуемых образцов цементного камня содержат большое количество ярко выраженных узких пиков и свидетельствуют о высоко кристаллической структуре фаз с присутствием в цементном камне рентгено-аморфной фазы гидросиликатов кальция и тоберморитового геля.

2. При грибковой коррозии происходит интенсивное уменьшение количества как кристаллических, так и рентгеноаморфных фаз в цементном камне.

3. При бактериальной коррозии увеличивается количество кальцита CaCO_3 вследствие воздействия на цементный камень углекислоты, которая образуется в процессе жизнедеятельности бактерий.

4. Микроорганизмы изменяют структурно-фазовый состав цементного бетона и способствуют ухудшению его прочностных характеристик. Снижение содержания гидросиликатов кальция и этtringита, а также других кристаллических фаз в цементном камне, приводит к уменьшению прочности на сжатие примерно на 35 % за 6 месяцев микробиологической коррозии.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Агзамов Ф.А., Махмутов А.Н., Токунова Э.Ф. Исследование коррозионной стойкости тампонажного камня в магниезиальных агрессивных средах // Георесурсы. 2019. Т. 21. № 3. С. 73–78. <https://doi.org/10.18599/grs.2019.3.73-78>

2. Москвин В.М. Коррозия бетона. М.: Гос. изд-во лит. по строительству и архитектуре, 1952. 344 с.

3. Bentz D.P., Garboczi E.J. Modelling the leaching of calcium hydroxide from cement paste: effects on pore space percolation and diffusivity // Materials and Structures. 1992. Vol. 25. Pp. 523–533. <https://doi.org/10.1007/BF02472448>

4. Duong V., Sahamitmongkol R., Tangtermsirikul S. Effect of leaching on carbonation resistance and steel corrosion of cement-based materials // Construction and Building Materials. 2013. Vol. 40. Pp. 1066–1075. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2012.11.042>

5. Oroza A.H., Bouza D.G. Deterioration of Structures Affected by Concrete Leaching // Proceedings of the International Conference of Sustainable Production and Use of Cement and Concrete. RILEM Bookseries, vol 22. Springer, Cham, 2020. Pp. 319–327. https://doi.org/10.1007/978-3-030-22034-1_36

6. Баженов Ю.М. Технология бетона. М.: Изд-во АСВ, 2011. 524 с.

7. Strokova V.V., Zhernovsky I.V., Nelyubova V.V., Rykunova M.D. Structural Transformations of Cement Stone in Conditions of Development of the Biocenosis of a Poultry Enterprise // Materials Science Forum. 2019. 945. Pp. 269–275. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.945.269>

8. Чеснокова Т.В., Логинова С.А., Киселев В.А. Анализ воздействия биологической коррозии различной длительности на бетон // Современные наукоемкие технологии. Региональное приложение. 2018. № 2 (54). С. 98–101.

9. Munyao O.M., Thiong'o J.K., Muthengia J.W., Mutitu D.K., Mwirichia R., Muriithi G., Marangu J.M. Study on the effect of Thiobacillus inter-

medius bacteria on the physico-mechanical properties of mortars of ordinary portland cement // *Heliyon*. 2020. Vol. 6. Issue 1. E03232. <http://dx.doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e03232>

10. Ричардсон А., Ковентри К., Пэсли Дж. Микробиологическое осаждение кальцита: применение для залечивания трещин // *Цемент и его применение*. 2016. № 4. С. 118–122.

11. Ерофеев В.Т., Аль Дулайми Салман Давуд Салман, Фомичев В.Т. Химические аспекты процесса устранения трещин бетона с помощью бактерий // Интернет-журнал «Транспортные сооружения». 2018. Т. 5. № 3. 12 с. <http://dx.doi.org/10.15862/13SATS318>

12. Nguyen N.T.H., Nguyen N.Q., Son Nguyen K.S. Developing the solution of microbially induced CaCO_3 precipitation coating for cement concrete // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2018. Vol. 431. Issue 6. Pp. 062006. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/431/6/062006>

13. Natarajan K.A. Biofouling and Microbially influenced corrosion // *Biotechnology of Metals. Principles, Recovery Methods, and Environmental Concerns*. Elsevier, 2018. Pp. 355–393. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-804022-5.00012-8>

14. Rong H., Qian C. Characterization of microbe cementitious materials // *Chinese Science Bulletin*. 2012. Vol. 57. Pp. 1333–1338. <https://doi.org/10.1007/s11434-012-5047-9>

15. Tazaki K., Mori T., Nonaka T. Microbial jarosite and gypsum from corrosion of Portland cement concrete // *Canadian Mineralogist*. 1992. Vol. 30. Pp. 431–444.

16. Василенко М.И., Гончарова Е.Н. Микробиологические особенности процесса повреждения бетонных поверхностей // *Фундаментальные исследования*. 2013. № 4–4. С. 886–891.

17. Рахимбаев Ш.М., Толыпина Н.М. Обоснование выбора типа вяжущего для агрессивных сред органического происхождения на основе теории гетерогенных физико-химических процессов // *Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова*. 2016. Т. 1. № 9. С. 159–163.

18. Wei S., Jiang Z., Liu H., Zhou D., Sanchez-Silva M. Microbially induced deterioration of concrete – a review // *Brazilian Journal of Microbiology*. 2013. Vol. 44. No. 4. Pp. 1001–1007. <https://doi.org/10.1590/S1517-83822014005000006>

19. Бутт Ю.М. Технология вяжущих веществ. М.: Высшая школа, 1965. 620 с.

20. Rumyantseva V.E., Konovalova V.S., Narmaniya B.E. Changes in the structural and phase composition and strength characteristics of concrete during liquid corrosion in chloride-containing media // *Journal of Physics: Conference Series*. 2021. Vol. 1926. P. 012057. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1926/1/012057>

21. Строкин К.Б., Новиков Д.Г., Коновалова В.С., Логинова С.А., Нармания Б.Е. Определение ресурса безопасной эксплуатации конструкций из железобетона в условиях микробиологической коррозии // *Современные проблемы гражданской защиты*. 2020. № 4. С. 62–69.

22. Strokin K., Novikov D., Konovalova V. Forecasting the durability of reinforced concrete under conditions of microbiological corrosion // *E3S Web of Conferences*. 2021. Vol. 274. 04003. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202127404003>

Информация об авторах

Строкин Константин Борисович, доктор экономических наук, доцент, профессор кафедры строительства, директор Технического нефтегазового института. E-mail: strokin07@rambler.ru. Сахалинский государственный университет. Россия, 693000, Южно-Сахалинск, проспект Коммунистический, д. 33.

Новиков Денис Геннадьевич, сотрудник научно-исследовательской лаборатории. E-mail: denis.g.novikov@gmail.com. Сахалинский государственный университет. Россия, 693000, Южно-Сахалинск, проспект Коммунистический, д. 33.

Коновалова Виктория Сергеевна, кандидат технических наук, доцент кафедры естественных наук и техносферной безопасности. E-mail: kotprotiv@yandex.ru. Ивановский государственный политехнический университет. Россия, 153000, Иваново, Шереметевский пр-т, д. 21.

Касьяненко Наталья Сергеевна, кандидат технических наук, доцент кафедры естественных наук и техносферной безопасности. E-mail: kasiyanenko@gmail.com. Ивановский государственный политехнический университет. Россия, 153000, Иваново, Шереметевский пр-т, д. 21.

Поступила 22.07.2021 г.

© Строкин К.Б., Новиков Д.Г., Коновалова В.С., Касьяненко Н.С., 2021

¹Strokin K.B., ¹Novikov D.G., ^{2,*}Konovalova V.S., ²Kasiyanenko N.S.¹Sakhalin State University²Ivanovo State Polytechnic University

*E-mail: kotprotiv@yandex.ru

CHANGES IN THE STRUCTURAL AND PHASE COMPOSITION OF CEMENT CONCRETE DURING MICROBIOLOGICAL CORROSION

Abstract. The article considers the change in the structural and phase composition of cement stone made of Portland cement of the CEM I 42.5 N brand in the process of bacterial and fungal corrosion during 6 months when humidified. The X-ray images of cement stone show peaks that characterize the non-hydrated components of Portland cement alite, belite, tricalcium aluminate, four-calcium aluminoferrite and gypsum. By the method of X-ray phase analysis, it is found that during microbiological corrosion, the content of all phases of cement stone decreases. The aspergillus niger van Tieghem fungi have a stronger effect on the structural and phase composition of cement stone. Fungal microorganisms destroy the crystalline phases and absorb amorphous phases – calcium hydrosilicates C-S-H (I) and C-S-H (II) and tobermorite. When bacteria Bacillus subtilis affects the cement stone, the content of the calcite phase increases, which is a product of corrosion, while the action of black mold reduces the intensity of CaCO₃ peaks. A decrease in the content of low-base calcium hydrosilicates and ettringite, as well as other crystalline phases, leads to a decrease in the compressive strength of the cement stone. During 6 months of microbiological corrosion of cement concrete under conditions of constant wetting, the compressive strength decreases by about 35 %.

Keywords: microbiological corrosion, concrete corrosion, bacterial corrosion, fungal corrosion, X-ray analysis, concrete strength.

REFERENCES

1. Agzamov F.A., Makhmutov A.N., Tokunova E.F. Study of corrosion stability of a cement stone in magnesia aggressive environment [Issledovanie korrozionnoj stojkosti tamponazhnogo kamnya v magnezial'nyh agressivnyh sredah]. Georesources. 2019. Vol. 21. No. 3. Pp. 73–78. <https://doi.org/10.18599/grs.2019.3.73-78> (rus)
2. Moskvina V.M. Corrosion of concrete [Korroziya betona]. Moscow: State Publishing house of literature on construction and architecture, 1952. 344 p. (rus)
3. Bentz D.P., Garboczi E.J. Modelling the leaching of calcium hydroxide from cement paste: effects on pore space percolation and diffusivity. Materials and Structures. 1992. Vol. 25. Pp. 523–533. <https://doi.org/10.1007/BF02472448>
4. Duong V., Sahamitmongkol R., Tangtermsirikul S. Effect of leaching on carbonation resistance and steel corrosion of cement-based materials. Construction and Building Materials. 2013. Vol. 40. Pp. 1066–1075. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2012.11.042>
5. Oroza A.H., Bouza D.G. Deterioration of Structures Affected by Concrete Leaching. Proceedings of the International Conference of Sustainable Production and Use of Cement and Concrete. RILEM Bookseries, vol 22. Springer, Cham, 2020. Pp. 319–327. https://doi.org/10.1007/978-3-030-22034-1_36
6. Bazhenov Yu.M. Technology of concrete [Tekhnologiya betona]. Moscow: Publishing house «ASV», 2011. 524 p. (rus)
7. Strokova V.V., Zhernovsky I.V., Nelyubova V.V., Rykunova M.D. Structural Transformations of Cement Stone in Conditions of Development of the Biocenosis of a Poultry Enterprise. Materials Science Forum. 2019. 945. Pp. 269–275. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.945.269>
8. Chesnokova T.V., Loginova S.A., Kiselev V.A. Analysis of the impact of biological corrosion of different duration on concrete [Analiz vozdejstviya biologicheskoy korrozii razlichnoj dlitel'nosti na beton]. Modern High Technologies. Regional Application. 2018. No. 2 (54). Pp. 98–101. (rus)
9. Munyao O.M., Thiong'o J.K., Muthengia J.W., Mutitu D.K., Mwirichia R., Muriithi G., Marangu J.M. Study on the effect of Thiobacillus intermedius bacteria on the physico-mechanical properties of mortars of ordinary portland cement. Heliyon. 2020. Vol. 6. Issue 1. E03232. <http://dx.doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e03232>
10. Richardson A., Coventry K., Pasley J. Micro-induced calcite precipitation – crack sealing application [Mikrobiologicheskoe osazhdenie kal'tita: primeneniye dlya zalechivaniya treshchin]. Cement and its Applications. 2016. No. 4. Pp. 118–122. (rus)
11. Erofeev V.T., Al-Dulaimi Salman Dawood Salman, Fomichev V.T. Chemical aspects of the process of concrete cracks elimination with the help of bacteria [Himicheskie aspekty processa ustraneniya treshchin betona s pomoshch'yu bakterij]. Russian journal of transport engineering. 2018. Vol. 5. No. 3. 12 p. <http://dx.doi.org/10.15862/13SATS318> (rus)
12. Nguyen N.T.H., Nguyen N.Q., Son Nguyen K.S. Developing the solution of microbially induced

CaCO₃ precipitation coating for cement concrete. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2018. Vol. 431. Issue 6. Pp. 062006. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/431/6/062006>

13. Natarajan K.A. Biofouling and Microbially influenced corrosion. Biotechnology of Metals. Principles, Recovery Methods, and Environmental Concerns. Elsevier, 2018. Pp. 355–393. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-804022-5.00012-8>

14. Rong H., Qian C. Characterization of microbe cementitious materials. Chinese Science Bulletin. 2012. Vol. 57. Pp. 1333–1338. <https://doi.org/10.1007/s11434-012-5047-9>

15. Tazaki K., Mori T., Nonaka T. Microbial jarosite and gypsum from corrosion of Portland cement concrete. Canadian Mineralogist. 1992. Vol. 30. Pp. 431–444.

16. Vasilenko M.I., Goncharova E.N. Microbiological characteristics of damage to concrete surfaces [Mikrobiologicheskie osobennosti processa povrezhdeniya betonnykh poverkhnostey]. Fundamental research. 2013. No. 4–4. Pp. 886–891. (rus)

17. Rahimbaev S., Tolypina N. Reasons for the choice of type of the organic origin knitting for hostile environment on the basis of the theory of heterogeneous physical and chemical processes [Obosnovanie vybora tipa vyazhushchego dlya agressivnykh sred organicheskogo proiskhozhdeniya na osnove teorii geterogennykh fiziko-himicheskikh processov]. Bulletin of Belgorod State Technological University

named after. V.G. Shukhov. 2016. No. 9. Pp. 159–163. (rus)

18. Wei S., Jiang Z., Liu H., Zhou D., Sanchez-Silva M. Microbially induced deterioration of concrete – a review. Brazilian Journal of Microbiology. 2013. Vol. 44. No. 4. Pp. 1001–1007. <https://doi.org/10.1590/S1517-83822014005000006>

19. Butt Yu. M. Technology of binders [Tekhnologiya vyazhushchih veshchestv]. Moscow: Higher school, 1965. 620 p. (rus)

20. Rumyantseva V.E., Konovalova V.S., Narmaniya B.E. Changes in the structural and phase composition and strength characteristics of concrete during liquid corrosion in chloride-containing media. Journal of Physics: Conference Series. 2021. Vol. 1926. P. 012057. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1926/1/012057>

21. Strokin K.B., Novikov D.G., Konovalova V.S., Loginova S.A., Narmaniya B.E. Determination of safe service life of structures made of reinforced concrete at microbially induced corrosion [Opredelenie resursa bezopasnoy ekspluatatsii konstruktivnykh iz zhelezobetona v usloviyakh mikrobiologicheskoy korrozii]. Modern problems of civil protection. 2020. No. 4 (37). Pp. 62–69. (rus)

22. Strokin K., Novikov D., Konovalova V. Forecasting the durability of reinforced concrete under conditions of microbiological corrosion. E3S Web of Conferences. 2021. Vol. 274. 04003. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202127404003>

Information about the authors

Strokin, Konstantin B. DSc, Assistant professor. E-mail: strokin07@rambler.ru. Sakhalin State University. Russia, 693000, Yuzhno-Sakhalinsk, Kommunistichesky ave., 33.

Novikov, Denis G. Research laboratory employee. E-mail: denis.g.novikov@gmail.com. Sakhalin State University. Russia, 693000, Yuzhno-Sakhalinsk, Kommunistichesky ave., 33.

Konovalova, Viktoriya S. PhD, Assistant professor. E-mail: kotprotiv@yandex.ru. Ivanovo State Polytechnic University. Russia, 153000, Ivanovo, Sheremetevskiy ave., 21.

Kasiyanenko, Nataliya S. PhD, assistant professor of the department of natural sciences and technosphere safety. E-mail: kasiyanenko@gmail.com. Ivanovo State Polytechnic University. Russia, 153000, Ivanovo, Sheremetevskiy ave., 21.

Received 22.07.2021

Для цитирования:

Строкин К.Б., Новиков Д.Г., Коновалова В.С., Касьяненко Н.С. Изменение структурно-фазового состава цементного бетона при микробиологической коррозии // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2021. № 11. С. 106–113. DOI: 10.34031/2071-7318-2021-6-11-106-113

For citation:

Strokin K.B., Novikov D.G., Konovalova V.S., Kasiyanenko N.S. Changes in the structural and phase composition of cement concrete during microbiological corrosion. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2021. No. 11. Pp. 106–113. DOI: 10.34031/2071-7318-2021-6-11-106-113

МАШИНОСТРОЕНИЕ И МАШИНОВЕДЕНИЕ

DOI: 10.34031/2071-7318-2021-6-11-114-121

¹*Issabekov Zh.N., ²Moroz K.A., ¹Kerimzhanova M.F.¹Satbayev University²Don State Technical University

*E-mail: zh.issabekov@satbayev.university

STUDY OF THE DYNAMICS OF THE EXOSKELETON ACTUATING UNIT

Abstract. A person has more than 300 degrees of mobility, but it is practically impossible to recreate such a kinematic scheme. In this article, a kinematic scheme of the exoskeleton is proposed that is most necessary for human movement. A 3D model of the exoskeleton actuating unit with an electrohydraulic drive has been developed in the CAD system and the values of masses, coordinates of mass centers, inertia tensors of the links of the exoskeleton actuating unit have been calculated. A launch file has been developed in the MATLAB environment for modeling the dynamics of the exoskeleton actuating unit. The control laws in the degrees of mobility of the actuating unit of the exoskeleton are selected. As a result of the theoretical study, the ranges of changes in the generalized coordinates for the joints under study are determined. The dependences of the power and the moment in the joints 9, 10 on time are obtained. The conducted studies have shown that lifting the leg will require more energy and this makes it necessary to develop power plants, explore various types of drives and ways to control them energy-efficiently. The obtained data can serve in the development of a medical exoskeleton.

Keywords: exoskeleton, Denavit-Hartenberg parameters, kinematic structure synthesis, exoskeleton dynamics equation, mathematical modeling.

Introduction. An important stage in the creation of robotic systems is the description of the mathematical modeling of their dynamics. In [1–6], many methods are given for describing the mathematical model, the dynamics of various robots. The author of the work [7] noted that there is a significant lag in the development of medical exoskeletons in the CIS.

The development of robotic systems includes a large number of subtasks from various fields of science and technology [4]. The optimal approach to constructing a mathematical model of the dynamics of the executive mechanism of an active exoskeleton is the use of modified coordinate systems proposed by Denavit-Hartenberg and the Dalember principle, which allow us to determine the movement of the active exoskeleton taking into account the external forces and moments of the exoskeleton actuating unit (AU) applied to it, as well as the forces and moments imposed on the exoskeleton AU, external kinematic connections and calculate the resulting forces and moments of reactions of these connections.

Materials and methods. The kinematic scheme of the active exoskeleton with the assigned Denavit-Hartenberg CS and its 3D model are presented (Figures 1 and 2). The modified Denavit-Hartenberg system coordinates [8, 9, 10] were obtained from a real human prototype. Links from 0 to 5 are a dummy rack. This fictitious chain consists of weightless links and characterizes the position and orientation of the exoskeleton body in the absolute coordinate system. It has 8 degrees of mobility, all rotational kinematic pairs.

The proposed kinematic scheme can be represented by a directed reachability graph, where the vertices of the graph denote the links of the actuator, and the arcs—the joints connecting them [7]. The kinematic scheme of the exoskeleton and its 3D model are shown in Fig. 1 and 2 respectively.

In mathematical description of the kinematic structures of the AU of the robot is represented as a tree of directed graphs, we use the following definitions [7, 8, 9]:

$f(i)$ is the number of the link, is a link-father of link i ;

$s(i,k)$ is the number of the link, which is the k -th link-son for level i ;

$dg+(i)$ – polystere the outcome of the link i , determines the number of links-the sons of link i ;

$ns(i)$ – determines how the account link in the son is the link i to link your father;

$\sigma_i = \{0,1\}$ – the coefficient that determines the type of joint of the link i (1 – rotational, 0 – translational);

$\sigma_i = \text{diag}\{\sigma_1, \dots, \sigma_N\}$ is a diagonal matrix that defines the types of articulation of the links of the tree AU.

For a mathematical description of a tree structure, they need to determine the order of the links relative to each other. It is defined by the reachability matrix D – a square matrix, each element of which $d_{ij} = 1$ if the link i -th vertex of the directed graph describing the kinematic structure AU is reachable from the link j , and $d_{ij} = 0$ if the link i -th is not reachable from the link j [9].

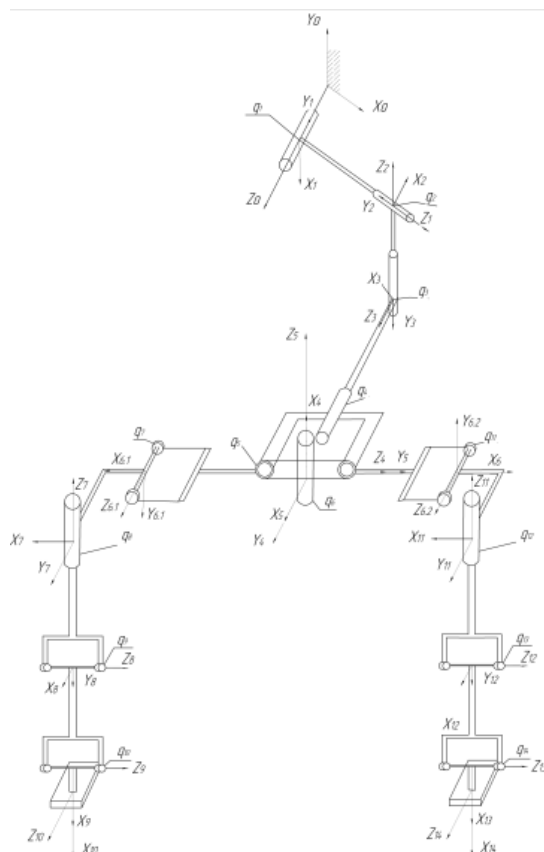


Fig. 1. Kinematic scheme of the exoskeleton AU

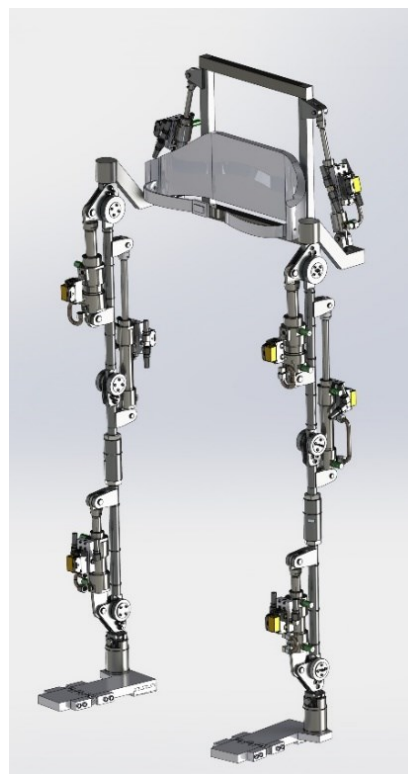


Fig. 2. 3D model of the general view of the exoskeleton AU

The values of the modified Denavit – Hartenberg parameters for the main and auxiliary coordinate systems of the exoskeleton actuating unit are presented in Tables 1 and 2.

Table 1

Values of Denavit – Hartenberg parameters of the main coordinate systems of the exoskeleton actuating unit

$N\acute{o}$ CS	θ, rad	d, m	a, m	α, rad	$f(i)$	$ns(i)$
1	0	0	0	0	0	1
2	0	0	0	0	1	1
3	0	0	0	0	2	1
4	0	0	0	0	3	1
5	0	0	0	0	4	1
6	$-\pi/2$	0	0,238	$-\pi/2$	5	1
7	0	0,198	0,167	$\pi/2$	6	1
8	$\pi/2$	-0,107	0	$-\pi/2$	7	1
9	$\pi/2$	0	0,476	0	8	1
10	0	0	0,674	$\pi/2$	9	1
11	π	0,198	-0,094	$\pi/2$	6	2
12	$\pi/2$	-0,107	0	$-\pi/2$	11	1
13	$\pi/2$	0	0,476	0	12	1
14	0	0	0,674	$\pi/2$	13	1

Values of Denavit – Hartenberg parameters of the auxiliary coordinate systems of the exoskeleton actuating unit

N_{CS}	θ, rad	d, m	a, m	α, rad	$f(i)$	$ns(i)$
6.2	π	0	0.476	0	6	2

1. Let us express the efforts developed by the drives in terms of generalized coordinates and their derivatives [11]. By grouping the factors at $\dot{q}$ and $\ddot{q}$, an equation for the dynamics of the robots AU with tree – like CS determined by the reachability matrix of D links, a block vector 0z and a diagonal matrix σ is obtained:

$$\begin{aligned}
A(q) \cdot {}^0z^d &= (\sigma \cdot {}^0f_g - H(q) \cdot {}^0n_g = \tau, \\
A(q) &= \sigma \cdot ({}^0z^d)^T \cdot (-(\Lambda({}^0c_{fD}))^T \cdot m^d \cdot (D \cdot {}^0z^d \cdot (E - \sigma) + \Lambda^T({}^0c_{fD}) \cdot {}^0z^d \cdot \sigma) + \\
&+ D^T \cdot {}^0J_C^d \cdot D \cdot {}^0Z^d \cdot \sigma) + (E - \sigma) \cdot ({}^0z^d)^T \cdot D^T \cdot m^d \cdot (D \cdot {}^0z^d \cdot (E - \sigma) + \Lambda^T({}^0c_{fD}) \cdot {}^0z^d \cdot \sigma); \\
B(q, i) &= \left(\frac{\partial}{\partial q_i} \left[\sigma \cdot ({}^0z^d)^T \cdot (-(\Lambda({}^0c_{fD}))^T \cdot m^d \cdot (D \cdot {}^0z^d \cdot (E - \sigma) + \Lambda^T({}^0c_{fD}) \cdot {}^0z^d \cdot \sigma) + \right. \right. \\
&\quad \left. \left. + D^T \cdot {}^0J_C^d \cdot D \cdot {}^0Z^d \cdot \sigma) + (E - \sigma) \cdot ({}^0z^d)^T \cdot D^T \cdot m^d \cdot (D \cdot {}^0z^d \cdot (E - \sigma) + \Lambda^T({}^0c_{fD}) \cdot {}^0z^d \cdot \sigma) \right] \right. \\
&\quad \left. + \Lambda^T \left(\Lambda^T({}^0c_{fD}) \cdot \sigma \cdot i \right. \right. \\
&\quad \left. \left. + 2 \cdot D \cdot \Lambda^T \left({}^0z^d \cdot (E - \sigma) \cdot i \right. \right. \right. E) \Big] + \\
&+ D^T \cdot {}^0J_C^d \cdot D \cdot \sigma \cdot i \\
&\quad \left. + (E - \sigma) \cdot ({}^0z^d)^T \cdot D^T \cdot m^d \cdot \left[\Lambda^T({}^0c_{fD}) \cdot \Lambda^T({}^0z^d \cdot \sigma \cdot i \right. \right. E) + \right. \\
&\quad \left. \left. + 2 \cdot D \cdot \Lambda^T \left({}^0z^d \cdot (E - \sigma) \cdot i \right. \right. \right. E) + \right. \\
&\quad \left. \left. + \Lambda^T \left(\Lambda^T({}^0c_{fD}) \cdot \sigma \cdot i \right. \right. \right. \\
C(q) &= \sigma \cdot ({}^0z^d)^T \cdot ((D^T - E) \cdot \Lambda({}^0s^d) \cdot D^T + D^T \cdot \Lambda({}^0t^d)) + (E - \sigma) \cdot ({}^0z^d)^T \cdot D^T; \\
H(q) &= \sigma \cdot ({}^0z^d)^T \cdot D^T.
\end{aligned}$$

In the process, the movement of the active exoskeleton of its foot interacts with the supporting surface. Then the equation of the dynamics of the exoskeleton AU, taking into account the influence of external forces and moments, as well as the imposed

external kinematic connections, can be written in the following form:

$$\begin{pmatrix} A(q) & -J_{vR}^T(q) \\ J_f(q) & 0 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} \ddot{q} \\ {}^0R_f \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} B(q, \dot{q}) \\ P(q) \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} L(q) \cdot F_e \\ 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \tau \\ 0 \end{pmatrix}, \quad (2)$$

where q – the vector of generalized coordinates of the AU;

τ – a column vector of moments developed by AU drives.

The values of the remaining block vectors and matrices of equation (2) are determined in accordance with [9, 11].

Determine the following parameters of the links:

- mass;
- coordinates of the centers of mass of the links in the connected main CS of these links;
- tensors of inertia of the links relative to the CS, the axes of which are parallel to the axes of the

main connected CS of these links, and the origin of coordinates is in the AU of the links;

- coordinates of the points of application of external forces to the links of the actuating unit in the connected main CS of these links;

- coordinates of the points of application of reaction forces to the links of the mechanism in the connected main CS of these links.

The mass-inertial parameters of the exoskeleton AU were obtained from the results of 3D modeling in the SolidWorks system.

Mass-inertial parameters of the AU links of the exoskeleton:

Table 3

Mass-inertial parameters of links 9, 10

	Link 9	Link 10
Mass, [kg]	7.60822700	8.36217328
Coordinates of mass centers, [m]	0.06150354	-0.00434194
	0.05504941	-0.03884998
	0.12844091	-0.00029488
Tensors of inertia, $[kg \cdot m^2]$	0.07701307	0.71946350
	0.08658967	0.05400681
	0.01058238	0.76869996
	-0.00017268	-0.14927912
	0.00349863	-0.00021547
	-0.00093428	-0.00020624

In order to determine the laws of change of generalized coordinates in the degrees of mobility of the executive mechanism of the exoskeleton equipped with drives, the characteristic typical movements of the human operator performed by changing the generalized coordinate ($\varphi(i)$) (angle) were considered in time in the corresponding joint in the previously defined range according to the harmonic law of the form [12, 13]:

$$\varphi(t) = \varphi_1 \cdot \sin(\omega \cdot t) + \varphi_2 \quad (3)$$

φ_1 - the amplitude of the angle change in the joint, [degree]; φ_2 – the initial value of the angle in the joint [deg]; (t) – the rate of change of the angle in the joint [deg/c].

Write down the laws and ranges of change of generalized coordinates for joints equipped with drives:

1) $q_9(t) = q_{13}(t) = -45^\circ \cdot \sin(90 \cdot t)$ – femoral joint;

2) $q_{10}(t) = q_{14}(t) = 45^\circ \cdot \sin(90 \cdot t)$ – knee joint.

Main part. The dependence of the power in the joint on time was built, taking into account the reaction of the support in the MATLAB bundled software. The desire to reduce power consumption forces designers to develop power units, explore various types of drives and ways of energy efficient control of them [3, 9].

The proposed method for calculating the energy parameters of the exoskeleton, used in [14, 15, 16] by the method of CS synthesis of the exoskeleton AU, allows for the entire process of product development.

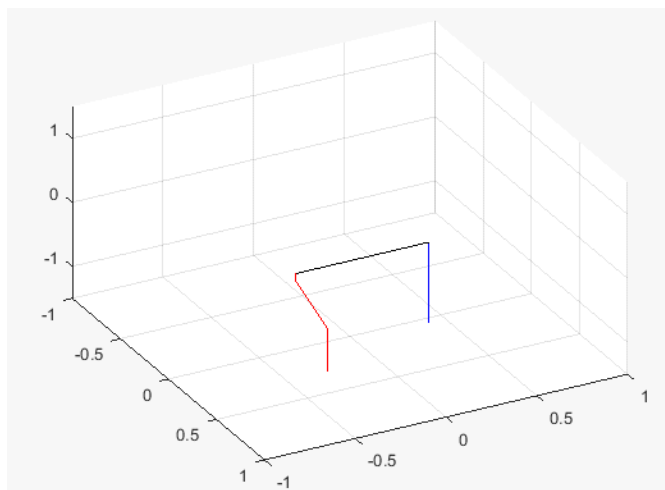
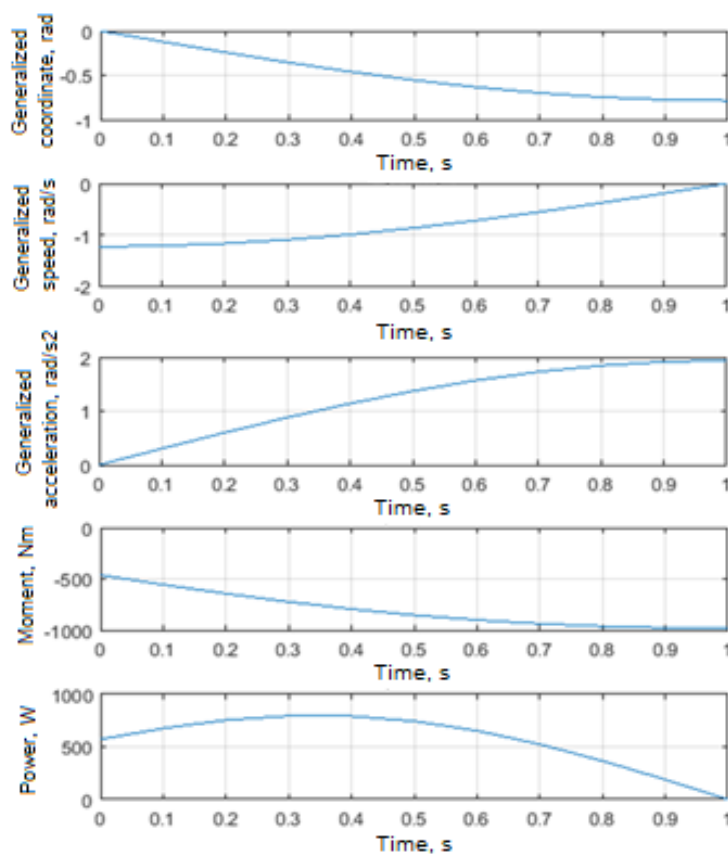
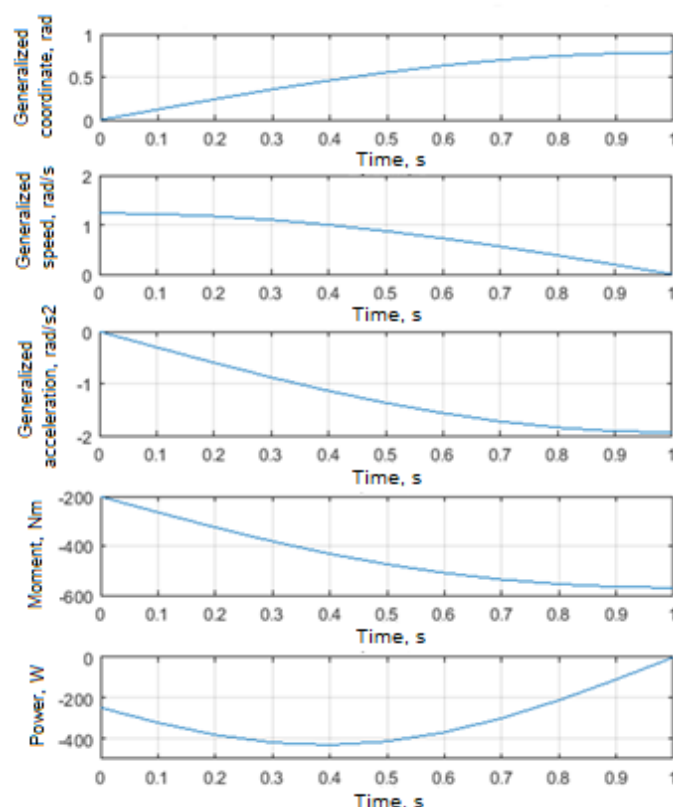


Fig. 3. The position of the exoskeleton under the study

Conclusions. One of the critical parameters of the exoskeleton is the power consumption, which, in turn, determines the degree of its autonomy. The desire to reduce power consumption leads developers to design compact power plants, explore different types of drives and ways to manage them energy-efficiently. There is an obvious need to use methods that allow us to quickly determine the energy parameters of the AU as a function of many factors. The proposed method of calculation of power parameters

of the exoskeleton used in conjunction with described in [17, 18] method of synthesis of the kinematic scheme AU exoskeleton allows for the entire process of product development, starting from the stage conceptual design, when possible operational changes to the decisions, with a minimum of effort to predict the energy characteristics of actuators, to track the impact of changes in AU, and to evaluate different design options. The results can be used in the development of medical exoskeletons for the rehabilitation of the lower extremities of patients.

Fig. 4. Graphs for the 9th joint

Fig. 5. Graphs of the 10th joint

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Wu J., Gao J., Song R., Li R., Li Y., Jiang L. The design and control of a 3dof lower limb rehabilitation robot. *Mechatronics*. 2016. Vol. 33. Pp. 13–22.
2. Huamanchahua D., Taza-Aquino Y., Figueroa-Bados J., Alanya-Villanueva J., Vargas-Martinez A., Ramirez-Mendoza R.A. Mechatronic Exoskeletons for Lower-Limb Rehabilitation: An Innovative Review. 2021 IEEE International IOT, Electronics and Mechatronics Conference (IEMTRONICS). 2021. Pp. 1–8. doi: 10.1109/IEMTRONICS52119.2021.9422513.
3. Prado G.V., Yli-Peltola R., Sanchez M.B.C., Design and analysis of a lower limb exoskeleton for rehabilitation. *Interdisciplinary Applications of Kinematics*. 2019. Pp. 103–114.
4. Elias D.A., Cerna D., Chicoma C., Mio R. Characteristics of a lower limb exoskeleton for gait and stair climbing therapies. *Interdisciplinary Applications of Kinematics*. 2019. Pp. 81–92.
5. Tanyildizi A.K., Yakut O., Tasar B. Mathematical modeling and control of lower extremity exoskeleton. *Biomedical Research*. 2018. 29 (9). Pp. 1947–1952.
6. D'iaz I., Gil J.J., Sanchez E. Lower-limb robotic rehabilitation: literature review and challenges. *Journal of Robotics*. 2011. Vol. 2011. 11. <https://doi.org/10.1155/2011/759764>.
7. Issabekov Zh.N. Design of the kinematic

scheme of the tree-like executive mechanism of the exoskeleton. Bauman Moscow State Technical University. *Youth Scientific and Technical Bulletin*. 2016. 11. Pp. 5–10. (rus).

8. Koval'chuk A.K. Method of mathematical description of the kinematics and dynamics of tree-like actuators of walking robots. *Estestvennye i tekhnicheskie nauki*. 2014. No. 5 (73). Pp. 87–90. (rus).

9. Koval'chuk A.K. Method for the synthesis of tree-like actuators of walking robots. *Estestvennye i tekhnicheskie nauki*. 2014. No. 3 (71). Pp. 127–130 (rus).

10. Kovalchuk A.K. Designing drives of a medical robot actuator. *Life Science Journal*. 2014. № 11 (11s). P. 337–340.

11. Kovalchuk A.K. Fundamentals of the theory of executive mechanisms of walking robots. Moscow: Rudomino Publishing House. 2010. 170 p. (rus).

12. Lavrovsky E.K., Pishchnaya E.V., Komarov P. A. On the problem of organizing the walking of the exoskeleton of the lower extremities using control in knee joints. *Russian Journal of Biomechanics*. 2015. No. 2. Pp. 158–176 (rus).

13. Lavrovskiy E.K., Pis'mennaya E.V. On the lower limb exoskeleton regular locomotion under input control deficit. *Rossiyskiy zhurnal biomekhaniki [Russian Journal of Biomechanics]*. 2014. Vol. 18. No. 2. Pp. 208–225 (rus).

14. Kovalchuk A.K. Calculation of the power of robot drives taking into account the dynamics of its

executive mechanism. *Estestvennye i tekhnicheskie nauki*, 2014. No. 1 (69). Pp. 128–131 (rus).

15. Kovalchuk A.K., Yarots V.V. Design of the executive mechanism and calculation of the power of special-purpose robot drives. *Estestvennye i tekhnicheskie nauki*. 2016. No. 10. Pp. 101–106.

16. Kovalchuk A.K., Vereykin A.A., Karginov L.A., Tsepikova A.A. Design and calculation of the power of drives of a medical robot taking into account the dynamics of its executive mechanism. *Technique and technology: new prospects for development*. 2014. No. XII. Pp. 28–41.

17. Jackson R.W., Dembia C.L., Delp S.L., Collins S.H., Muscle–tendon mechanics explain unexpected effects of exoskeleton assistance on metabolic rate during walking. *J. Exp. Biol.* 2017. Vol. 220. No. 11. Pp. 2082–2095.

18. Song S., Collins S.H. Optimizing Exoskeleton Assistance for Faster Self-Selected Walking. *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*. 2021. Vol. 29. Pp. 786–795. doi: 10.1109/TNSRE.2021.3074154.

Информация об авторах

Issabekov, Zhanibek N. PhD. E-mail: zh.issabekov@satbayev.university. Satbayev University. Republic of Kazakhstan, 050013, Almaty, 22a Satpaev str.

Moroz, Kaleriya. A. Candidate of Technical Sciences, Associate Professor. E-mail: leramoroz@mail.ru. Don State Technical University. Russian Federation, 344000, Rostov-on-Don, Gagarin square 1.

Kerimzhanova, Manshuk F. PhD, Professor. E-mail: cfsstm@mail.ru. Satbayev University. Republic of Kazakhstan, 050013, Almaty, 22a Satpaev str.

Поступила 03.09.2021 г.

© Issabekov Zh.N., Moroz K.A., Kerimzhanova M.F., 2021

^{1,*}Исабеков Ж.Н., ²Мороз К.А., ¹Керимжанова М.Ф.

¹Сатпаев Университет

²Донской государственный технический университет

*E-mail: zh.issabekov@satbayev.university.

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ ИСПОЛНИТЕЛЬНОГО МЕХАНИЗМА ЭКЗОСКЕЛЕТА

Аннотация. Человек имеет больше 300 степеней подвижности, но воссоздать такую кинематическую схему практически невозможно. В данной статье предложена кинематическая схема экзоскелета самыми необходимыми для движения человека. В системе CAD разработана 3D модель исполнительного механизма экзоскелета с электрогидравлическим приводом и произведен расчет значений масс, координат центров масс, тензоров инерции звеньев исполнительного механизма экзоскелета. Разработан пусковой файл в среде MATLAB для моделирования динамики исполнительного механизма экзоскелета. Выбраны законы управления в степенях подвижности исполнительного механизма экзоскелета. В результате проведенного теоретического исследования определены диапазоны изменения обобщенных координат для исследуемых сочленений. Получены зависимости мощности, момента в сочленениях 9, 10 от времени. Проведенные исследования показали, что подъема ноги потребует больше энергии и это заставляет разработать силовые установки, исследовать различные виды приводов и способы энергоэффективного управления ими. Полученные данные могут служить в разработке экзоскелета медицинского назначения.

Ключевые слова: экзоскелет, параметры Денавита-Хартенберга, синтез кинематической структуры, уравнение динамики экзоскелета, математическое моделирование.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Wu J., Gao J., Song R., Li R., Li Y., Jiang L. The design and control of a 3dof lower limb rehabilitation robot // *Mechatronics*. 2016. Vol. 33. Pp. 13–22.

2. Huamanchahua D., Taza-Aquino Y., Figueroa-Bados J., Alanya-Villanueva J., Vargas-Martinez A., Ramirez-Mendoza R.A. Mecha-

tronics for Lower-Limb Rehabilitation: An Innovative Review // 2021 IEEE International IoT, Electronics and Mechatronics Conference (IEMTRONICS). 2021. Pp. 1–8. doi: 10.1109/IEMTRONICS52119.2021.9422513.

3. Prado G.V., Yli-Peltola R., Sanchez M.B.C., Design and analysis of a lower limb exoskeleton for rehabilitation // *Interdisciplinary Applications of*

Kinematics. 2019. Pp. 103–114.

4. Elias D.A., Cerna D., Chicoma C., Mio R. Characteristics of a lower limb exoskeleton for gait and stair climbing therapies" // Interdisciplinary Applications of Kinematics. 2019. Pp. 81–92.

5. Tanyildizi A.K., Yakut O., Tasar B. Mathematical modeling and control of lower extremity exoskeleton // Biomedical Research. 2018. 29 (9). Pp. 1947–1952.

6. D'iaz I., Gil J.J., Sanchez E. Lower-limb robotic rehabilitation: literature review and challenges // Journal of Robotics. 2011. Vol. 2011. 11. <https://doi.org/10.1155/2011/759764>.

7. Исабеков Ж.Н. Проектирование кинематической схемы древовидного исполнительного механизма экзоскелета в МГТУ им. Н.Э. Баумана // Молодежный научно-технический вестник. 2016. №11. С. 5–10.

8. Ковальчук А.К. Метод математического описания кинематики и динамики древовидных исполнительных механизмов шагающих роботов // Естественные и технические науки. 2014. № 5 (73). С. 87–90.

9. Ковальчук А.К. Способ синтеза древовидных исполнительных механизмов шагающих роботов // Естественные и технические науки, 2014. № 3 (71). С. 127–130.

10. Kovalchuk A.K. Designing drives of a medical robot actuator // Life Science Journal. 2014. № 11 (11s). Pp. 337–340.

11. Ковальчук А.К. Основы теории исполнительных механизмов шагающих роботов. Москва: Рудомино, 2010. 170 с.

12. Лавровский Е.К., Пищная Е.В., Комаров

П.А. К проблеме организации ходьбы экзоскелета нижних конечностей с использованием контроля в коленных суставах // Российский журнал биомеханики. 2015. № 2. С. 158–176.

13. Лавровский Э.К., Писменная Е.В. О регулярной ходьбе экзоскелетона нижних конечностей при дефиците управляющих воздействий // Российский журнал биомеханики. 2014. Т. 18, № 2. С. 208–225.

14. Ковальчук А.К. Расчет мощности приводов робота с учетом динамики его исполнительного механизма // Естественные и технические науки. 2014. № 1 (69). С. 128–131.

15. Ковальчук А.К., Яроц В.В. Проектирование исполнительного механизма и расчет мощности приводов робота специального назначения // Естественные и технические науки. 2016. № 10. С. 101–106.

16. Ковальчук А.К., Вережкин А.А., Каргин Л.А., Цепкова А.А. Проектирование и расчет мощности приводов медицинского робота с учетом динамики его исполнительного механизма // Техника и технология: новые перспективы развития. 2014. № XII. С. 28–41.

17. Jackson R.W., Dembia C.L., Delp S.L., Collins S.H., Muscle–tendon mechanics explain unexpected effects of exoskeleton assistance on metabolic rate during walking // J. Exp. Biol. 2017. Vol. 220. No. 11. Pp. 2082–2095.

18. Song S., Collins S.H. Optimizing Exoskeleton Assistance for Faster Self-Selected Walking // IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering. 2021. Vol. 29. Pp. 786–795. doi: 10.1109/TNSRE.2021.3074154.

Information about the authors

Исабеков Жанибек Назарбекулы. PhD докторант. E-mail: zh.issabekov@satbayev.university. Сатпаев Университет. Республика Казахстан, 050013, г. Алматы, ул. Сатпаева, 22а.

Мороз Калерия Александровна. Кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой "Приборостроение и биомедицинская инженерия". E-mail: leramoroz@mail.ru. Донской государственный технический университет. Российская Федерация, 344000, Ростов-на-Дону, площадь Гагарина 1.

Керимжанова Маншук Фазыловна. PhD, профессор кафедры "Машиностроение, стандартизация, сертификация и метрология". E-mail: cfsstm@mail.ru. Сатпаев Университет. Республика Казахстан, 050013, г. Алматы, ул. Сатпаева, 22а.

Received 03.09.2021

Для цитирования:

Исабеков Ж.Н., Мороз К.А., Керимжанова М.Ф. Исследование динамики исполнительного механизма экзоскелета // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2021. № 11. С. 114–121. DOI: 10.34031/2071-7318-2021-6-11-114-0121

For citation:

Issabekov Zh.N., Moroz K.A., Kerimzhanova M.F. Study of the dynamics of the exoskeleton actuating unit. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2021. No. 11. Pp. 114–121. DOI: 10.34031/2071-7318-2021-6-11-114-121

