

Научно-теоретический журнал
ВЕСТНИК

БГТУ им. В.Г. Шухова

ISSN 2071-7318

7

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**

№ 7, 2021 год

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

Vol. 7. 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. Online подписка: http://www.akc.ru/itm/2558104627/ Цена свободная.
Подписан в печать	12.07.2021
Выход в свет	27.07.2021

Формат 60×84/8. Усл. печ. л. 12,32. Уч.-изд. л. 13,25. Тираж 40 экз. Заказ №71

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/255810462/
Signed for printing:	12.07.2021

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).

Гридчин 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).

Леонovich 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., заведующий кафедрой архитектуры и градостроительства Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова (РФ, г. Белгород).

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

Потанов 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 хозяйств 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).

Шаповалов 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. Grabov, 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, Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov (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

Чайка Т.В.

ВЛИЯНИЕ АГЛОМЕРАТОВ НАНОПОРОШКА КАРБИДА ВОЛЬФРАМА
НА СВОЙСТВА ЦЕМЕНТНЫХ МАТЕРИАЛОВ 8

Толыпин Д.А., Толыпина Н.М.

ВЛИЯНИЕ ПОЛИДИСПЕРСНОГО БЕТОННОГО ЛОМА 3D-ПЕЧАТИ
НА СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЕ БЕТОНА 17

**Нажуев М.П., Самофалова М.С., Ельшаева Д.М., Жеребцов Ю.В., Доценко Н.А.,
Курбанов Н.С., Ефимов И.И.**

ВЛИЯНИЕ РЕЦЕПТУРНЫХ ФАКТОРОВ НА ПРОЧНОСТНЫЕ
ХАРАКТЕРИСТИКИ БАЗАЛЬТОФИБРОБЕТОНОВ 24

Загороднюк Л.Х., Махортов Д.С., Рыжих В.Д., Сумской Д.А., Дайронас М.В.
РОЛЬ ГРАНУЛОМЕТРИИ СМЕШАННЫХ ВЯЖУЩИХ В ФОРМИРОВАНИИ
ИХ МИКРОСТРУКТУРЫ И ПРОЧНОСТИ 33

Абакумов Р.Г., Аль-Сабаеи А.К.

ОЦЕНКА УРОВНЯ НАДЕЖНОСТИ ВАРИАНТОВ УСИЛЕНИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ
МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ
МОДЕЛИ ВЕРОЯТНОСТИ ИХ БЕЗОТКАЗНОЙ РАБОТЫ 44

Назарова А.Ю., Мишагина Д.А.

СИЛУЭТНАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ ЗАСТРОЙКИ ИСТОРИЧЕСКОГО ЦЕНТРА
ГОРОДА: К ВОПРОСУ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЦЕННОСТИ И МЕТОДОВ ОХРАНЫ
(ОПЫТ САНКТ-ПЕТЕРБУРГА) 51

Лукаш А.А., Панфилов А.В.

СЕЛФИ-АРХИТЕКТУРА ТЮМЕНИ 62

Чечель И.П.

СОВРЕМЕННЫЕ УСЛОВИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И КОМПОНЕНТЫ
АРХИТЕКТУРНОЙ КОНЦЕПЦИИ ОБЩЕОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ШКОЛ 73

ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ

**Новоселов А.Г., Олянина И.В., Новоселова И.Н., Васина Ю.А., Ершова Ю.И.,
Куделина Я.И., Лоик Т.А.**

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ СНИЖЕНИЯ ЦИРКУЛЯЦИИ ОКСИДА СЕРЫ
ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ БЕЛОГО ЦЕМЕНТА 89

МАШИНОСТРОЕНИЕ И МАШИНОВЕДЕНИЕ

Васильев А.А.

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ РАСЧЕТА ПОЛЯ ДАВЛЕНИЙ
ДЛЯ НЕИЗОТЕРМИЧЕСКОГО ТЕЧЕНИЯ ВЯЗКОЙ
ЖИДКОСТИ В ГИРОСТАТИЧЕСКИХ ПОДШИПНИКАХ
ПРИ ОБРАБОТКЕ КРУПНОГАБАРИТНЫХ ВАЛОВ ПАРОВЫХ ТУРБИН 99

CONSTRUCTION AND ARCHITECTURE

Chayka T.V.

THE EFFECT OF TUNGSTEN CARBIDE NANOPOWDER AGGLOMERATES
ON THE PROPERTIES OF CEMENT MATERIALS 8

Tolypin D. A., Tolypina N. M.

THE EFFECT OF POLYDISPERSE CONCRETE SCRAP OF 3D PRINTING ON THE
STRUCTURE FORMATION OF CONCRETE 17

**Nazhnev M.P., Samofalova M.S., El'shaeva D.M., Zhrebtsov Yu.V., Dotsenko N.A.,
Kurbanov N.S., Efimov I.I.**

INFLUENCE OF RECIPE FACTORS ON STRENGTHS
CHARACTERISTICS OF BASALT FIBER CONCRETE 24

Zagorodnyuk L.Kh., Makhortov D.S., Ryzhikh V.D., Sumskoy D.A., Daironas M.V.

ROLE OF GRANULOMETRY OF MIXED BINDERS IN FORMATION
OF THEIR MICROSTRUCTURE AND STRENGTH 33

Abakumov R.G., Al-Sabaei A.K.

ASSESSMENT OF THE RELIABILITY LEVEL OF STRENGTHENING OPTIONS
FOR BUILDING STEEL STRUCTURES USING THE MATHEMATICAL MODEL
OF THEIR UNINTERRUPTED OPERATION 44

Nazarova A.Y., Mishagina D.A.

SCYLINE OF THE HISTORIC CITY CENTER: ON THE ISSUE OF DETERMINING
THE VALUE AND PROTECTION (THE SAINT PETERSBURG EXPERIENCE) 51

Lukash A.A., Panfilov A.V.

SELFIE-ARCHITECTURE OF TYUMEN 62

Chechel I.P.

MODERN DESIGN CONDITIONS AND COMPONENTS
OF THE ARCHITECTURAL CONCEPT OF SECONDARY SCHOOLS 73

CHEMICAL TECHNOLOGY

Novosyolov A.G., Olianina I.V., Novoselova I.N., Vasina Y.A., Ershova Y.I.,

Kudelina J.I., Loik T.A.

RESEARCH OF THE POSSIBILITY OF REDUCING THE CIRCULATION
OF SULFUR OXIDE IN THE PRODUCTION OF WHITE CEMENT 89

MACHINE BUILDING AND ENGINEERING SCIENCE

Vasiliev A.A.

DEVELOPMENT OF A METHOD FOR CALCULATING THE PRESSURE FIELD
FOR THE NONISOTHERMAL FLOW OF A VISCOUS LIQUID IN GYROSTATIC
BEARINGS WHEN PROCESSING LARGE-SIZED STEAM TURBINE SHAFTS 99

СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

DOI: 10.34031/2071-7318-2021-6-7-8-16

Чайка Т.В.

Севастопольский государственный университет

*E-mail: tvchayika@sevsu.ru

ВЛИЯНИЕ АГЛОМЕРАТОВ НАНОПОРОШКА КАРБИДА ВОЛЬФРАМА НА СВОЙСТВА ЦЕМЕНТНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Аннотация. Объектом исследования являются агломераты нанопорошков карбида вольфрама WC , полученные из твердосплавных отходов типа ВК, а также цементные системы, модифицированные данной нанодобавкой. Рассмотрено влияние нанопорошка карбида вольфрама на изменение основных характеристик цемента (плотность, водопотребность, сроки схватывания, прочность на сжатие, прочность на изгиб). Определено оптимальное содержание добавки в цементных материалах, оцениваемое по максимальному приросту прочности на сжатие и изгиб на всех этапах твердения, равное 3 масс. %. Показано влияние добавки порошка WC на структуру цементной матрицы. За счет высокой дисперсности нанопорошка WC его частицы выступают в роли дополнительных центров кристаллизации, заполняют микропоры цементного камня и создают более плотную и прочную структуру. Результаты изучения микроструктуры цементного камня с добавками порошка WC косвенно подтверждают результаты прочностных характеристик, подчеркивая образование у цементно-песчаных образцов с модификатором более плотного закристаллизованного цементно-песчаного камня по сравнению с контрольным образцом (без добавления порошка WC). Проведенные исследования показали перспективность применения агломератов наночастиц WC в качестве модифицирующих добавок для цементных материалов, которые могут быть использованы при производстве бетонов специального назначения (гидротехнических, радиозащитных и др.). Экономический эффект применения нанодобавок WC , полученных из твердосплавных отходов производства, может быть получен не за счет сокращения затрат на стадии производства бетонной смеси, а вследствие снижения расходов на стадиях строительства и эксплуатации конструкций, зданий, сооружений на его основе.

Ключевые слова: цемент, агломерат, нанопорошок, карбид вольфрама, прочность на сжатие, прочность на изгиб, водопотребность, сроки схватывания, структура.

Введение. В настоящее время модификация цементных композитов с минеральными добавками нано и субмикронного размера является современной и достаточно эффективной процедурой для улучшения их различных эксплуатационных характеристик [1–3]. Наиболее распространены и изучены нанодобавки, которые достаточно близки по составу, типу химических связей и физико-химическим характеристикам к исходным вяжущим веществам и продуктам их гидратации, такие как наночастицы SiO_2 в различных формах (пирогенные нанопорошки; нанопорошки, осажденные из раствора Na_2SiO_3 ; коллоидный золь SiO_2 ; нано- SiO_2 в сочетании с другими компонентами и др.) [3–5], нанопорошок оксид алюминия Al_2O_3 [6–9], нанопорошок $CaCO_3$ [10], оксид титана TiO_2 [11–13] и др. В качестве наноразмерных инертных, химически не активных по отношению к цементным системам добавок в цементных композитах нашли применение углеродные наночастицы (фуллерены, нанотрубки, астралены и др.) [14–16].

Многочисленные исследования [3–18] показали, что добавление наноматериалов улучшает структуру пор, механические свойства и долговечность цементных материалов. Из-за сложного

процесса и высокой стоимости производства наноматериалов, применение нанопорошков в качестве добавок в цементные материалы значительно увеличивает стоимость строительства. Поэтому, несмотря на большую способность наноматериалов улучшать эксплуатационные свойства цементных материалов, они не нашли широкого применения в практической строительной инженерии.

В связи с вышеизложенным, предложено использование в качестве добавки в цементную матрицу нанопорошка карбида вольфрама, полученного из твердосплавных отходов по технологии [19]. Даная технология является уникальной, сочетая механические, химические, электрохимические, биологические реакции и являясь экологически безопасной, характеризуется простотой оборудования и возможностью получения нанопорошков в промышленных объемах. Анализ научно-технической литературы и патентный поиск показал отсутствие информации по применению карбида вольфрама в качестве добавки в цементные материалы. Проведенные предварительные исследования [20–21] показали значительное увеличение эксплуатационных свойств

бетона (прочность, водопоглощение, коррозионная стойкость, радиозащитные свойства) путем добавления в исходный состав нанопорошков карбид вольфрама WC, полученных из твердосплавных отходов и изделий производства.

Материалы и методы. Для исследований влияния модифицирующих добавок на физико-механические свойства цементного и цементно-песчаного камня использовали следующие исходные материалы: портландцемент ОАО «Верхнебейканский цементный завод» ЦЕМ II/A-П 42,5Н СС ГОСТ 22266-2013; мелкий заполнитель – песок морской серый, фракция 1,0–1,7 мм, соответствующий требованиям ГОСТ 8736–2014. В качестве модификатора цементной

и цементно-песчаной матрицы использовали порошок карбида вольфрама полученный по технологии [19] из твердосплавных отходов и изделий производства типа ВК (карбид вольфрама WC - кобальт Co). Установленная площадь поверхности порошка составляет 1,18 м²/г. Насыпная плотность 3,0375 г/см³. Степень чистоты порошка WC 99,0 %.

Микроструктура частиц порошка карбида вольфрама, полученного из твердосплавного лома исследована с помощью сканирующего электронного микроскопа (TESCAN MIRA 3 LMU). (TESCAN, Чехия) и представлена на электронных микроснимках (рис. 1).

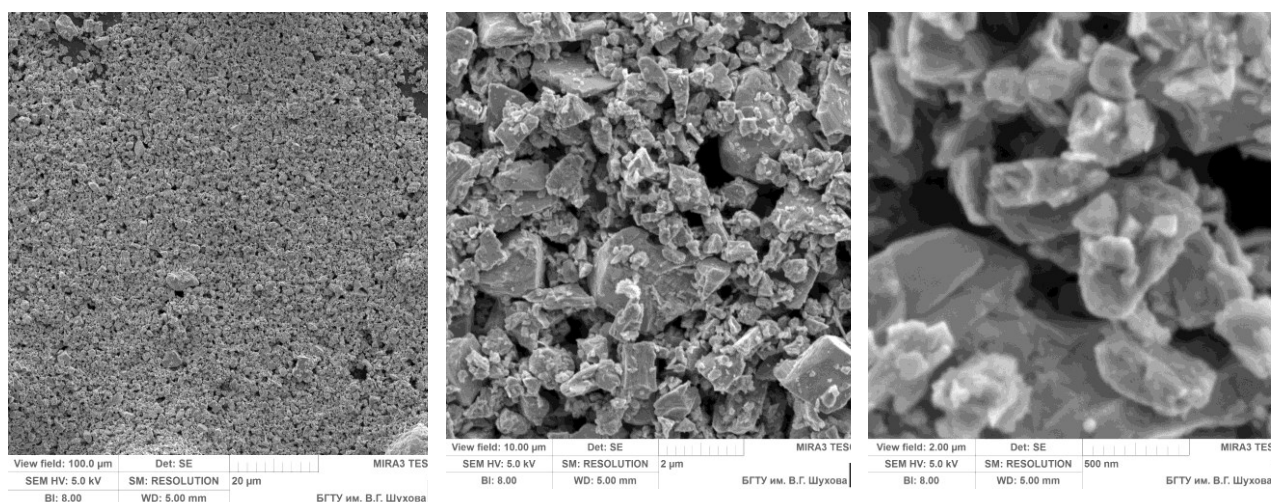


Рис. 1. Микрофотографии модификатора карбида вольфрама WC при разном увеличении

Как видно из представленных снимков, порошок WC представляет собой смесь нанообъектов различной формы (наночастицы, нанопластины) и их агломератов, большая часть частиц имеет размер менее 100 нм. Морфология частиц неоднородная. Форма частиц преимущественно

неправильная оскольчатая, в основном угловатая с наличием криволинейных поверхностей.

Распределение частиц по размерам представлено на рис 2. Измеренный средний размер частиц менее 100 нм, размер агломератов 200–700 нм.

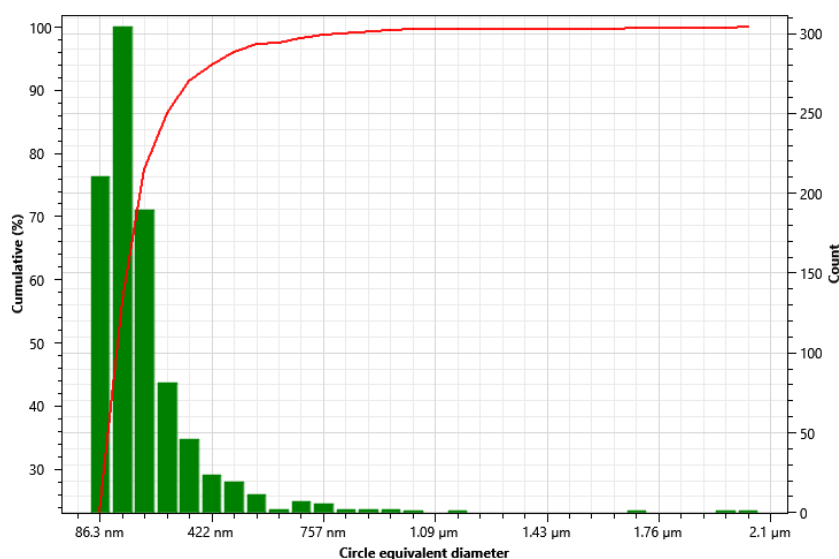


Рис. 2. График распределения размеров порошка карбида вольфрама

Микроструктура цементно-песчаных образцов исследовалась на сканирующем электронном микроскопе PHENOM proX фирмы: Phenom–World B.V. (Нидерланды) с интегрированной системой энергодисперсионного анализа. Максимальное увеличение 150000, разрешение 10 нм, ускоряющее напряжение 5, 10, 15 кВ.

Элементный анализ исследуемых порошков получен с применением программы Element Identification компании Phenom, позволяющий использовать электронный микроскоп Phenom Pro X для анализа образцов методом энергодисперсионной спектроскопии. Для анализа размера, форма и морфологии частиц использовали программное обеспечение Particle Metric, позволяющее анализировать изображения частиц.

Для равномерного распределения порошка WC во всем объеме сухой цементно-песчаной смеси смешивание производилось в сухом состоянии в турбулентном смесителе С 2.0 (г. Санкт-Петербург, ООО «ВИБРОТЕХНИК»), обеспечивающем высокую эффективность смешивания масс частиц материала.

Определение нормальной густоты и сроков схватывания цементного теста проводилось по

стандартной методике на приборе Вика в соответствии с ГОСТ 310.3-81 «Цементы. Методы определения нормальной густоты, сроков схватывания и равномерности изменения объема».

Прочность на сжатие и изгиб цементно-песчаного раствора определяли на образцах-баллонах размером 0,04×0,04×0,16 м по ГОСТ 310.4-81.

Исследования физико-механических характеристик проводилось с использованием универсальной испытательной машины ТРМ – 500 «Тоchline» (ООО «Завод испытательных приборов» (ЗИП), г. Иваново, Россия, наибольшая предельная нагрузка 50 кН) и испытательной машины ИП-500-1 (предельные нагрузки: наибольшая 500кН, наименьшая 5 кН (ЗИМ ТОЧ-МАШПРИБОР, г. Армавир, Россия).

Анализ результатов исследования. С целью определения влияния добавок порошка карбида вольфрама на физико-механические свойства цементной матрицы определены следующие показатели: густота, плотность, сроки схватывания цемента (табл. 1), прочность цементно-песчаных образцов на сжатие (рис. 3) и на изгиб (рис. 4) в различные сроки твердения (3, 7, 14 и 28 сутки).

Таблица 1

Нормальная густота, сроки схватывания, средняя плотность, прочность на сжатие цементных образцов с добавлением нанопорошка карбида вольфрама

Добавка, масс. %	Нормальная густота, %	Средняя плотность на 28 сутки, кг/м ³	Сроки схватывания	
			Начало, мин	Конец, мин
0	26,75	2135,9	216	284
1	26,25	2189,9	213	282
2	25,75	2218,1	208	278
3	25,7	2258,3	207	260
4	25,5	2273,8	196	259
5	25,4	2298,4	189	241

Анализируя результаты исследования (табл. 1) видно, что нормальная густота уменьшается с увеличением добавки порошка WC, при концентрации добавки 5 масс. % водопотребность снизилась более чем на 5 %. Это связано с химической инертностью карбида вольфрама по отношению к воде, не проявляя гидравлическую активность, частицы порошка не обволакивают поверхность новых фаз и не мешают образованию контактов срастания между кристаллогидратами. Так же роль частиц порошка карбида вольфрама сводится к заполнению межзерновых пустот между частицами цемента, благодаря чему цементная смесь с частицами WC, в отличие от контрольного состава, становится более компактной, увеличивая плотность образца и уменьшая пористость в смеси, и как следствие снижает потребность в воде.

Сроки схватывания у цементных образцов модифицированных порошком WC при концентрации модификатора 1...5 масс. % сокращаются: начало схватывания уменьшается на 12,5 %, конец схватывания – на 15,1 %. Литературные источники [2, 22] свидетельствуют, что химически не активные частицы по отношению к цементным системам, выполняют роль центров кристаллизации гидратов в цементе длительное время, вследствие чего происходит ускорение начальной стадии химического твердения цементных систем с частицами карбида вольфрама, то есть сокращаются сроки схватывания и как следствие увеличивается ранняя прочность цемента.

Результаты исследования изменения прочности на сжатие и на изгиб контрольных це-

ментно-песчаных образцов и модифицированных порошком карбида вольфрама при разных

концентрациях в различные сроки твердения представлены на рисунке 3 и 4.

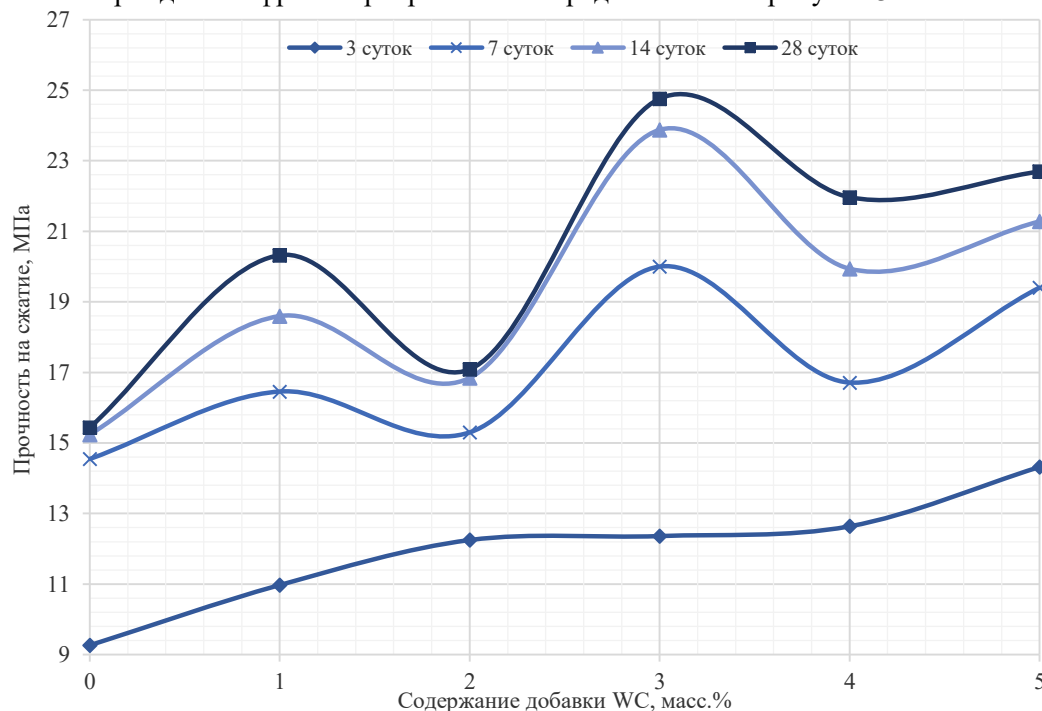


Рис. 3. Изменения прочности на сжатие цементно-песчаных образцов в зависимости от количества добавки порошка WC в различные сроки твердения

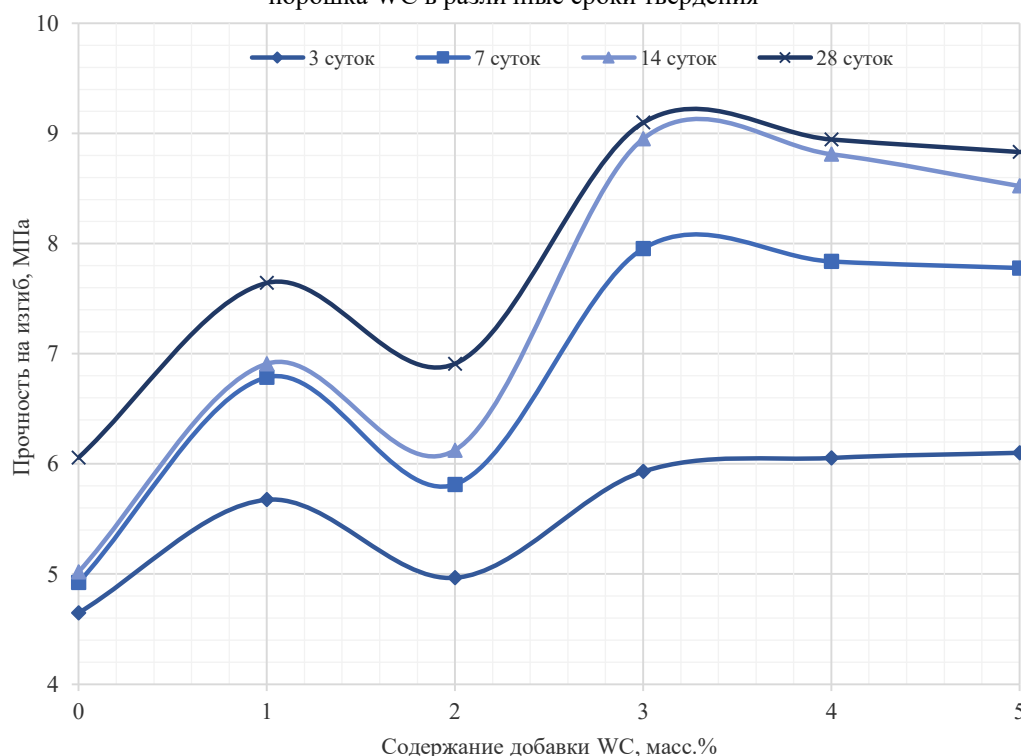


Рис. 4. Изменения прочности на изгиб цементно-песчаных образцов в зависимости от количества добавки порошка WC в различные сроки твердения

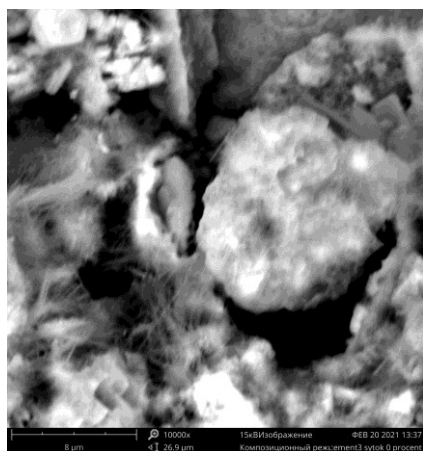
Зависимость прочностных характеристик образцов от содержания наномодификатора имеет не линейный характер при увеличении концентрации добавки на всех сроках твердения. При этом определена однозначная тенденция повышения прочностных характеристик при введении в цементно-песчаную смесь порошка карбида вольфрама.

Максимальный прирост прочности модифицированного образца в возрасте 28 суток составляет: при изгибе более 50 %, а при сжатии более 60 %. Ввод наночастиц порошка приводит не только к увеличению конечной прочности, но и к увеличению скорости набора прочности образцами с нанодобавками. Оптимальной дозировкой принято считать 3,0 % добавки, так как именно

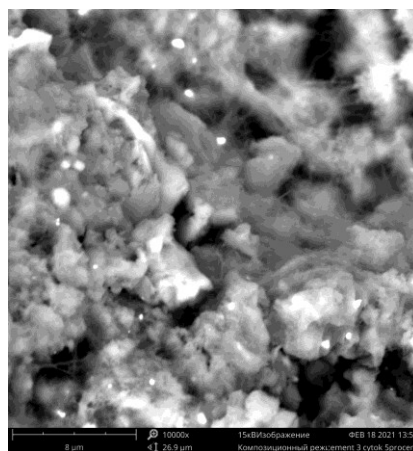
данное количество обеспечивает максимальную прочность на сжатие и изгиб на всех этапах твердения.

Электронно-микроскопическое исследование микроструктуры поверхности скола кон-

трольного образца (без добавления нанопорошка) и модифицированных образцов с добавлением нанопорошков WC при увеличении $\times 10\,000$ раз производилось на 3, 7, 14, 28 суток твердения (рис. 5–8).

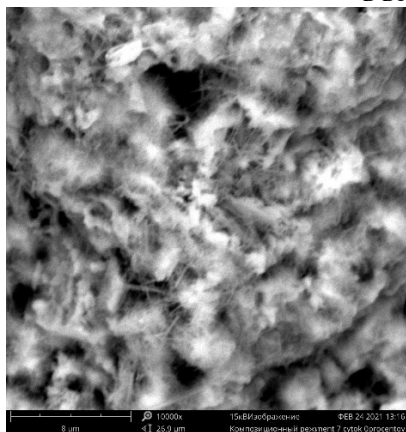


a)

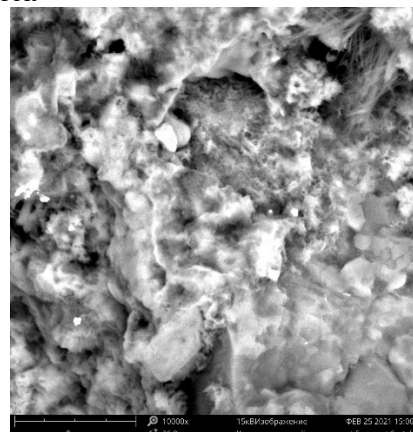


b)

Рис. 5. Микроструктура контрольного цементно-песчаного камня (a) и модифицированного порошком WC (b) в возрасте 3 суток

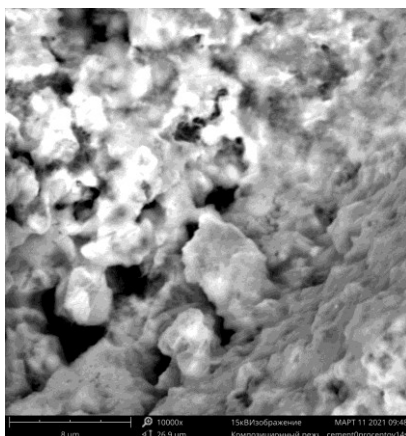


a)

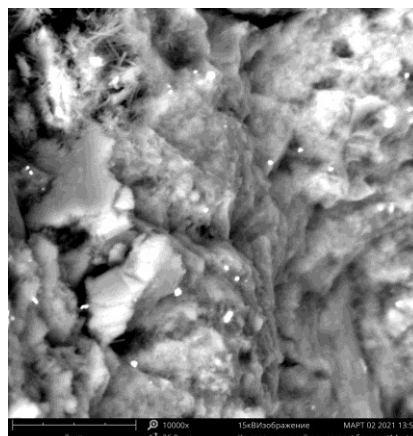


b)

Рис. 6. Микроструктура контрольного цементно-песчаного камня (a) и модифицированного порошком WC (b) в возрасте 7 суток



a)



b)

Рис. 7. Микроструктура контрольного цементно-песчаного камня (a) и модифицированного порошком WC (b) в возрасте 14 суток

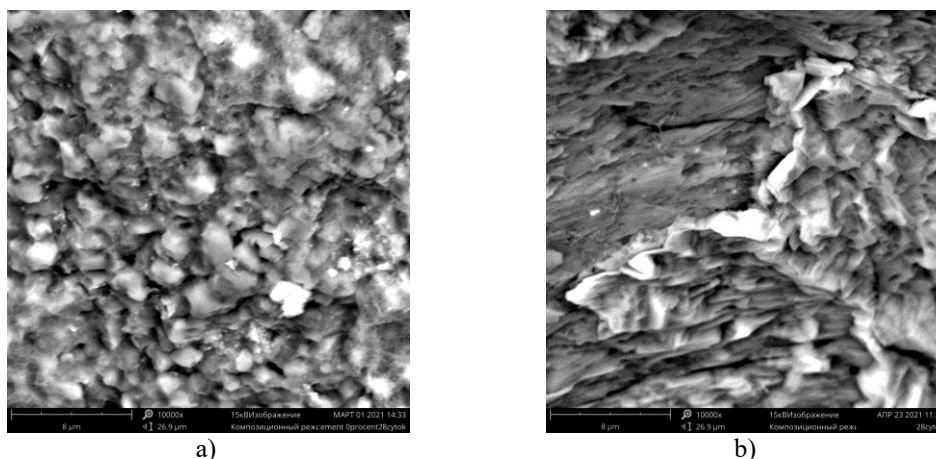


Рис. 8. Микроструктура контрольного цементно-песчаного камня (а) и модифицированного порошком WC (б) в возрасте 28 суток

Как видно из представленных фотографий (рис. 5–8) структура цементного камня претерпевает заметные изменения. Сравнение контрольного образца и модифицированного порошком карбида вольфрама показало, что структура цементного камня более плотная во все рассматриваемые сроки твердения. Морфология частиц карбида вольфрама значительно отличается от морфологии цементной матрицы. За счет высокой удельной поверхности исследуемые нанодобавки позволяют его частицам заполнять микропоры (уменьшая объём крупных пор) цементного камня и создавать за счет этого более плотную, и как следствие более прочную структуру.

Результаты изучения микроструктуры цементного камня с добавками порошка WC косвенно подтверждают результаты прочностных характеристик, подчеркивая образование у цементно-песчаных образцов с модификатором более плотного, закристаллизованного цементно-песчаного камня.

Выводы. На основании проведенного исследования можно сделать следующие выводы:

- установлено, что при добавление 1...5 масс. % агломератов нанопорошка WC снижается нормальная плотность на 1,8...4,67 %, сокращаются сроки начала схватывания на 1,4...12,5 %, конец схватывания на 0,7...15,4 % соответственно;

- выявлено повышение темпа роста прочности цементных материалов модифицированных агломератом нанопорошком WC, увеличение прочности материала на сжатие и на изгиб на 28 сроки твердения по сравнению с контрольным образцом;

- определена оптимальная концентрация добавки, составляющая 3 масс. % от массы цемента, при котором наблюдается максимальная прочность на сжатие и изгиб цементных образцов на всех этапах твердения;

- выявлено, что структура цементного камня более плотная во все рассматриваемые сроки твердения.

Для решения проблемы агломерации наночастиц в дальнейшем планируется рассмотреть метод диспергации порошка в среде при помощи ультразвука, при этом предполагается увеличение прочностных характеристик цементных материалов в результате равномерного рассеяния частиц в цементной матрице.

Источник финансирования. Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ, проект № 18-43-920001.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Коровкин М.О., Гринцов Д.М., Ерошкина Н.А. Рациональное применение инертных минеральных добавок в технологии бетона // Инженерный вестник Дона. 2017. №3(46). С. ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2017/4361
2. Гуриченко Н.С., Батыновский Э.И. Кинетика твердения и свойства цементного камня с ускоряющими твердение бетона добавками // Автомобильные дороги и мосты. 2014. №2(14). С. 90–98.
3. Mendes T., Hotza Dachamir, Repette Wellington. Nanoparticles in cement based materials: A review // Reviews on advanced materials science. 2015.Vol. 40. Pp. 89–96.
4. Potapov V., Efimenko Yu., Fediuk R., Gorev D. Effect of hydrothermal nanosilica on the performances of cement concrete // Construction and Building Materials. 2021. 269 (10). 121307.
5. Chernishov E.M., Artamonova O.V., Slavcheva G.S. Nanomodification of cement-based composites in the technological life cycle // Nanotechnologies in construction. 2020. 12 (3). Pp. 130–139
6. Shaban Ali, Amiruddin Ismail, Yusoff Md., Izzi Nur, Norhidayah Hassan, Ibrahim Ahmad Nazrul Hakimi. Characterization of the performance

of aluminum oxide nanoparticles modified asphalt binder // Jurnal Teknologi. 2016. 78 (4). Pp. 91–96.

7. Szymanowski J., Sadowski L. The Development of Nanoalumina-Based Cement Mortars for Overlay Applications in Concrete Floors // Materials. 2019. 12 (21). 3465.

8. Yaoyu Wang, Jiye Li, Lihan Jiang, Lihua Zhao Enhanced. Mechanical and Microstructural Properties of Portland Cement Composites Modified with Submicron Metakaolin // Advances in Civil Engineering. 2020. Vol. 2020. Pp. 13.

9. Mohan Kantharia, Pankaj Mishra, Trivedi M.K. Strength of Cement Mortar Using Nano Oxides: An Experimental Study // International Journal of Engineering and Advanced Technology (IJEAT) 2019. Vol.8, Issue 3. Pp. 294–299.

10. Liu Changjiang, He Xin, Deng Xiaowei, Zheng Zhoulian, Liu Jian, Hui David. Application of nanomaterials in ultra-high performance concrete: A review // Nanotechnology Reviews. 2020. Vol. 9(1). Pp. 1427–1444.

11. Pietrzak A., Adamus J., Langier B. Application of Titanium Dioxide in Cement and Concrete Technology // Key Engineering Materials. 2016. Vol. 687. Pp. 243–249.

12. Szymanowski J., Sadowski L. The influence of the addition of tetragonal crystalline titanium oxide nanoparticles on the adhesive and functional properties of layered cementitious composites // Composite Structures. 2019. Vol. 233. 111636.

13. Тюкавкина В.В., Цырятьева А.В. Структура цементного камня, модифицированного нанодисперсной титаносодержащей добавкой // Труды Ферсмановской научной сессии ГИ КНЦ РАН. 2019. 16. С. 597–601.

14. Sazonova N., Badenikov A., Skripnikova N., Ivanova E. Influence of nano-dispersive modified additive on cement activity // AIP Conference Proceedings. 2016. 1698(1) 070012.

15. Wang Song, Zhang Shupin, Wang Yaping, Sun Xiao ning, Sun Kangning. Reduced Graphene Oxide/Carbon Nanotubes Reinforced Calcium Phosphate Cement // Ceramics International. 2017. 43(16). Pp. 13083–13088.

16. Chernishov E., Artamonova O.V., Slavcheva G. Nano-Modification of Building Composite Structures // Strength of Materials. 2020 10.5772

17. Cruz-Moreno Dulce, Fajardo San Miguel Gerardo, Flores Vivian Ismael, Orozco-Cruz R., Ramos-Rivera C. Multifunctional surfaces of portland cement-based materials developed with functionalized silicon-based nanoparticles // Applied Surface Science. 2020. 531. 147355.

18. Bakhtin A., Lyubomirskiy N., Bakhtina T., Nikolaenko V. Investigation of the various binders' effect on the lime binder carbonate hardening process for its use in additive technologies // Materials Science Forum. 2020. Vol. 1011 MSF. Pp. 123–129

19. Патент UA91420 U. Спосіб одержання нанорозмірних, мікронних і субмікронних порошків металів та карбідів металів з виробів і відходів твердих сплавів. Опубл. 10.07.2014. 4 с.

20. Gavrish V., Chayka T., Baranov G., Gavrish O. Investigation of the influence of nanomodifying additives on the strength properties of concrete // Materials Today: Proceedings. 2021. 38. Pp. 1433–1436.

21. Gavrish V., Cherkashina N., Chayka T. Investigations of the influence of tungsten carbide and tungsten oxide nanopowders on the radiation protection properties of cement matrix-based composite materials // Journal of Physics: Conference Series. 2020. 1652(1), 012008.

22. Яглов В.Н., Бурак Г.А., Меженцев А.А. Наночастицы в бетоне // Строительная наука и техника. 2012. № 1. С. 21–30.

Информация об авторах

Чайка Татьяна Валерьевна, заведующий лабораторией научно-образовательного центра «Перспективные технологии и материалы». E-mail: tvchayika@sevsu.ru. Севастопольский государственный университет. Россия, 299053, Севастополь, ул. Университетская, 33.

Поступила 23.04.2021 г.

© Чайка Т.В., 2021

Chayka T.V.

Sevastopol State University

E-mail: tvchayika@sevsu.ru

THE EFFECT OF TUNGSTEN CARBIDE NANOPOWDER AGGLOMERATES ON THE PROPERTIES OF CEMENT MATERIALS

Abstract. The object of the research is cement samples modified by agglomerates of tungsten carbide nanopowders obtained from carbide waste. The paper considers the influence of tungsten carbide nanopowder

on the change in the main cement characteristics (density, water demand, setting time, kinetics of strength gain, compressive strength, bending strength). The optimum additive content in cement materials is 3%. This parameter is estimated by the maximum growth of compressive and flexural strength at all stages of hardening. The effect of WC powder additive on the structure of the cement matrix has been shown. Due to the high dispersibility of WC nanopowder, its particles act as additional crystallization centers, fill in the micropores of the cement stone and create a denser and stronger structure. The results of studying the microstructure of the cement stone with additions of WC powder indirectly confirm the results of strength characteristics. The cement-sand samples with the modifier are found to have a denser crystallized cement-sand stone compared to the control sample (without WC powder addition). The conducted researches have shown perspective of application of WC nanoparticles agglomerates as modifying additives for cement materials, which can be used in production of special purpose concrete (hydraulic, radioprotective, etc.). The economic effect of the use of WC nanoadditives obtained from hard-alloy production wastes can be obtained due to a reduction in costs at the stages of construction and operation of structures, buildings, structures based on it.

Keywords: cement, agglomerates, nanopowder, tungsten carbide, compressive strength, flexural strength, water demand, setting time, structure.

REFERENCES

1. Korovkin M.O., Grincov D.M., Eroshkina N.A. Rational use of inert mineral additives in concrete technology [Racional'noe primeneniye inertnykh mineral'nykh dobavok v tekhnologii betona]. Engineering Journal of Don. 2017. No. 3 (46). ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2017/4361 (rus)
2. Gurinenko H.S., Batyanovskij E.I. Hardening kinetics and properties of cement stone with additives enhancing concrete hardening [Kinetika tverdeniya i svoystva cementnogo kamnya s uskorayayushchimi tverdenie betona dobavkami]. Roads and bridges. 2014. No. 2(14). Pp. 90–98. (rus)
3. Mendes T., Hotza Dachamir, Repette Wellington. Nanoparticles in cement based materials: A review. Reviews on advanced materials science. 2015. Vol. 40. Pp. 89–96.
4. Potapov V., Efimenko Yu., Fediuk R., Gorev D. Effect of hydrothermal nanosilica on the performances of cement concrete. Construction and Building Materials. 2021. Vol.269. Iss.10. 121307.
5. Chernishov E.M., Artamonova O.V., Slavcheva G.S. Nanomodification of cement-based composites in the technological life cycle. Nanotechnologies in construction. 2020. Vol. 12 Iss.3. Pp. 130–139
6. Shaban Ali, Amiruddin Ismail, Yusoff Md., Izzi Nur, Norhidayah Hassan, Ibrahim Ahmad Nazrul Hakimi. Characterization of the performance of aluminum oxide nanoparticles modified asphalt binder. Jurnal Teknologi. 2016. Vol. 78. Iss.4. Pp. 91–96.
7. Szymanowski J., Sadowski L. The Development of Nanoalumina-Based Cement Mortars for Overlay Applications in Concrete Floors. Materials. 2019. Vol.12. Iss. 21. 3465.
8. Yaoyu Wang, Jiye Li, Lihan Jiang, Lihua Zhao Enhanced. Mechanical and Microstructural Properties of Portland Cement Composites Modified with Submicron Metakaolin. Advances in Civil Engineering. 2020. Vol. 2020. Pp. 13.
9. Mohan Kantharia, Pankaj Mishra, Trivedi M.K. Strength of Cement Mortar Using Nano Oxides: An Experimental Study. International Journal of Engineering and Advanced Technology (IJEAT) 2019. Vol.8. Iss. 3. Pp. 294–299.
10. Liu Changjiang, He Xin, Deng Xiaowei, Zheng Zhoulian, Liu Jian, Hui David. Application of nanomaterials in ultra-high performance concrete: A review. Nanotechnology Reviews. 2020. Vol. 9(1). Pp. 1427–1444.
11. Pietrzak A., Adamus J., Langier B. Application of Titanium Dioxide in Cement and Concrete Technology. Key Engineering Materials. 2016. Vol. 687. Pp. 243–249.
12. Szymanowski J., Sadowski L. The influence of the addition of tetragonal crystalline titanium oxide nanoparticles on the adhesive and functional properties of layered cementitious composites. Composite Structures. 2019. Vol. 233. 111636.
13. Tyukavkina V.V., Tsyryatyeva A.V. The structure of the cement stone modified by nanodispersed titanium-bearing additive [Struktura cementnogo kamnya, modifitsirovannogo nanodispersnoy titanosoderzhashchej dobavkoj]. Proceedings of the Fersman Scientific Session of the KSC RAS. 2019. No.16. Pp. 597–601. (rus)
14. Sazonova N., Badenikov A., Skripnikova N., Ivanova E. Influence of nano-dispersive modified additive on cement activity. AIP Conference Proceedings. 2016. Vol. 1698. Iss. 1. 070012.
15. Wang Song, Zhang Shupin, Wang Yaping, Sun Xiao ning, Sun Kangning. Reduced Graphene Oxide/Carbon Nanotubes Reinforced Calcium Phosphate Cement. Ceramics International. 2017. Vol. 43. Iss 16. Pp. 13083–13088.
16. Chernishov E., Artamonova O.V., Slavcheva G. Nano-Modification of Building Composite Structures. Strength of Materials. 2020 10.5772
17. Cruz-Moreno Dulce, Fajardo San Miguel Gerardo, Flores Vivian Ismael, Orozco-Cruz R., Ramos-Rivera C. Multifunctional surfaces of portland

cement-based materials developed with functionalized silicon-based nanoparticles. *Applied Surface Science*. 2020. Vol. 531. 147355.

18. Bakhtin A., Lyubomirskiy N., Bakhtina T., Nikolaenko V. Investigation of the various binders' effect on the lime binder carbonate hardening process for its use in additive technologies. *Materials Science Forum*. 2020. Vol. 1011 MSF. Pp.123–129

19. Patent UA91420 U. Method for the production of nanoscale, micron and submicron powders of metals and metal carbides from products and waste of hard alloys. Published 10.07.2014. 4 p.

20. Gavrish V., Chayka T., Baranov G., Gavrish O. Investigation of the influence of nanomodifying

additives on the strength properties of concrete. *Materials Today: Proceedings*. 2021. Vol. 38. Pp. 1433–1436.

21. Gavrish V., Cherkashina N., Chayka T. Investigations of the influence of tungsten carbide and tungsten oxide nanopowders on the radiation protection properties of cement matrix-based composite materials. *J. of Physics: Conference Series*. 2020. Vol. 1652(1), 012008.

22. Yaglov V.N., Burak G.A., Mezhenchev A.A. Nanoparticles in concrete [Nanochasticy v betone]. *Building science and technology*. 2012. No.1. Pp. 21–30. (rus)

Information about the authors

Chayka, Tatyana V. Head of the laboratory, Scientific and educational center "Advanced technologies and materials". E-mail: tvchayika@sevsu.ru. Sevastopol State University. Russia, 299053, Sevastopol, st. Universitetskaya, 33.

Received 23.04.2021

Для цитирования:

Чайка Т.В. Влияние агломератов нанопорошка карбида вольфрама на свойства цементных материалов // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2021. № 7. С. 8–16. DOI: 10.34031/2071-7318-2021-6-7-8-16

For citation:

Chayka T.V. The effect of tungsten carbide nanopowder agglomerates on the properties of cement materials. *Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov*. 2021. No. 7. Pp. 8–16. DOI: 10.34031/2071-7318-2021-6-7-8-16

DOI: 10.34031/2071-7318-2021-6-7-17-23

Толыпин Д.А., *Толыпина Н.М.*Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова***E-mail: tolypina.n@yandex.ru*

ВЛИЯНИЕ ПОЛИДИСПЕРСНОГО БЕТОННОГО ЛОМА 3D-ПЕЧАТИ НА СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЕ БЕТОНА

Аннотация. В статье рассмотрено влияние полидисперсного бетонного лома 3D-печати на структурообразование бетона при его повторном применении. Установлено, что благоприятное влияние на прочность обусловлено наличием на поверхности вторичного мелкого заполнителя тонких слоев в виде гидратных фаз, усиливающих адгезию к формирующейся цементной матрице. При этом немаловажную многофункциональную роль играет тонкодисперсная фракция, состоящая из цементной матрицы с незначительным количеством пылевидного клинкера и кварца: увеличивает объем вяжущей части; выполняет функцию центров кристаллизации гидратных фаз; способствует формированию компактной и однородной структуры за счет заполнения пор; повышает прочность за счет гидратации минералов алита и белита.

Показано, что минимизация пустотности тонкодисперсной части бетонного лома во многом обусловлена полимодальным зерновым составом, что способствует оптимизации структуры мелкозернистого бетона и повышению прочности.

Установлены особенности микроструктуры образцов мелкозернистого бетона. Искусственный конгломерат на основе бетонного лома характеризуется компактной структурой благодаря высокой адгезии мелкого заполнителя к цементной матрице бетона, заполнению пор гидратными фазами и тонкодисперсными частицами в отличие от образцов мелкозернистого бетона контрольного состава, структура которых характеризуется слабой контактной зоной между заполнителем и цементной матрицей и пористой структурой.

Ключевые слова: бетонный лом, структура, гранулометрия, наполнитель, мелкозернистый бетон.

Введение. Бетонный лом изделий и конструкций 3D-аддитивного производства представляет собой мелкозернистый бетон, твердевший в воздушных условиях, что обуславливает наличие в цементной матрице значительного количества негидратированных клинкерных частиц, способных после измельчения гидратироваться с образованием новой структуры твердения. После кратковременного помола в вибрационной мельнице бетонный лом содержит частично очищенный и измельченный кварцевый песок, тонкодисперсную цементную матрицу с примесью пылевидного кварца и клинкера [1–2]. Полифракционный гранулометрический состав многокомпонентной смеси способствует образованию полидисперсной структуры, в которой более мелкие частицы располагаются в пустотах крупных частиц, при этом обеспечивается минимизация пустотности пылевидной фракции, что положительно влияет на прочность образцов мелкозернистого бетона [3–7]. На практике пористая структура бетона устраняется увеличением расхода цемента либо вводом тонкодисперсных наполнителей, что обеспечивает заполнение пор новообразованиями или тонкодисперсными частицами наполнителя [8–11]. Однако выполнение данных требований приводит к удорожанию бетонов, так как стоимость дисперсных наполни-

телей может в несколько раз превышать стоимость вяжущего, поэтому поиск дешевых наполнителей является актуальной задачей [12–20]. При повторном использовании бетонного лома эта проблема решается за счет того, что при кратковременном помоле образуется тонкодисперсный наполнитель, количество которого достигает 28–30 %, состоящий в основном из измельченного цементного камня и небольшой доли кварцевой муки и клинкерных частиц, что увеличивает объем тонкодисперсной части и тем самым обеспечивает надежное формирование плотной цементной матрицы вокруг всех частиц заполнителя. В системе, состоящей из крупных и мелких частиц, при разрыве поверхности происходит взаимодействие фронта растущей трещины с преградами в виде наполнителей оптимальной крупности, что также благоприятно влияет на прочностные характеристики искусственного конгломерата.

Исследованию особенностей формирования микроструктуры мелкозернистого бетона на основе бетонного лома 3D-печати посвящается данная работа.

Методы и материалы. Мелкозернистый бетон (Ц:П=1:4) на основе кварцевого песка фракции 0,16–1,25 мм заформовывали в лабораторных условиях по методу 3D-печати. После твердения

в воздушно-сухих условиях 10-12 мес и дробления на лабораторной щековой дробилке измельчали в лабораторной вибрационной мельнице. Тонкая фракция <0,16 мм отделялась путем просеивания смеси через стандартное сито 016 для определения зернового состава песка. Различная удельная поверхность тонкой фракции бетонного лома ($S_{уд < 0,16} = 420 \text{ м}^2/\text{кг}$ и $S_{уд < 0,16} = 510 \text{ м}^2/\text{кг}$) получена в результате различной продолжительности помола бетонного лома в вибрационной мельнице (10 и 20 мин). Кинетику твердения мелкозернистого бетона исследуемого и контрольного состава изучали на образцах $3 \times 3 \times 3 \text{ см}$, в качестве вяжущего использовали ЦЕМ I 42,5 Н. Фазовый состав определяли при помощи рентгеноструктурного анализа. Для исследования микрострук-

туры образцов мелкозернистого бетона использовали растровый электронный микроскоп «TESCAN MIRA 3 LMU» Центра высоких технологий БГТУ им. В.Г. Шухова.

Основная часть. Путем кратковременного помола бетонного лома 3D-печати в вибрационной лабораторной мельнице получали смесь, состоящую из частично очищенного кварцевого песка, тонкодисперсной цементной матрицы и клинкерной части, благодаря значительной разнице в размолоспособности составляющих компонентов. В качестве критерия степени измельчения использовали удельную поверхность фракции менее 0,16 мм, содержащей преимущественно тонкодисперсный цементный камень с небольшим количеством кварцевой пыли и клинкерных минералов (алита и белита) (рис. 1).

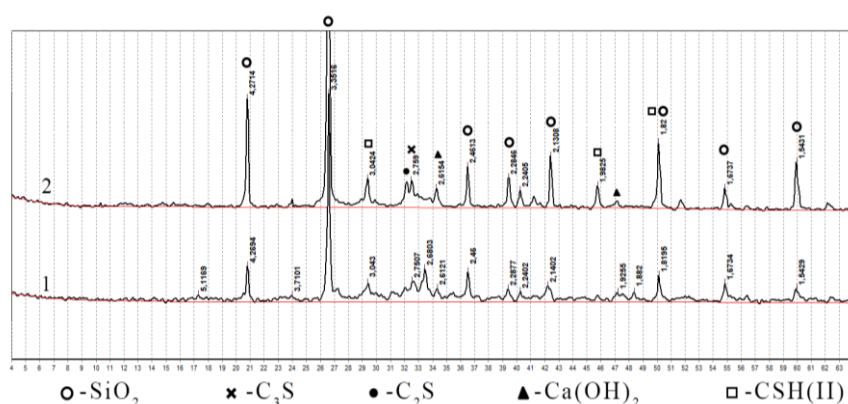


Рис. 1. Рентгенограмма пылевидной фракции бетонного лома:

1— $S_{уд < 0,16} = 420 \text{ м}^2/\text{кг}$; 2— $S_{уд < 0,16} = 510 \text{ м}^2/\text{кг}$

К факторам, способствующим более интенсивному формированию ранней и нормированной прочности бетона на бетонном ломе (табл. 1) по сравнению с контрольным составом, следует отнести: повышение адгезии формирующейся цементной матрицы ко вторичному мелкому заполнителю из-за наличия на его поверхности

тонких слоев в виде гидратных фаз и полифункциональное действие частиц тонкодисперсной части, заключающееся в увеличении объема вяжущего компонента, создании дополнительных центров кристаллизации, снижения пористости, гидратации алита и белита.

Таблица 1

Кинетика набора прочности при сжатии образцов мелкозернистого бетона

№	Бетонный лом, %	ЦЕМ I 42,5 Н, %	Кв. песок, %	В/Ц	В/Т	Предел прочности при сжатии, МПа			
						2 сут	7 сут	14 сут	28 сут
Контрольный состав 1:4									
1	0	80	20	0,58	0,12	6,03	11,39	15,71	17,10
Бетонный лом ($S_{уд \cdot общ}=135 \text{ м}^2/\text{кг}$, $S_{уд < 0,16}=420 \text{ м}^2/\text{кг}$)									
2	100	0	0	-	0,15	1,98	6,36	7,14	8,17
3	90	10	0	1,35	0,14	11,71	22,68	24,46	25,52
4	80	20	0	0,69	0,13	12,35	28,57	30,57	35,23
Бетонный лом ($S_{уд \cdot общ}=150 \text{ м}^2/\text{кг}$, $S_{уд < 0,16}=510 \text{ м}^2/\text{кг}$)									
5	100	0	0	-	0,16	2,11	6,57	7,62	8,67
6	90	10	0	1,43	0,14	13,58	24,59	26,31	28,60
7	80	20	0	0,71	0,14	15,68	29,84	33,10	36,28

Тонкодисперсные частицы цементного камня являются более предпочтительными подложками для синтеза зародышей гидратных фаз,

чем частицы исходного вяжущего, так как эпитаксиальные контакты наиболее энергично достраиваются к близкой по химической природе

кристаллической решетке гидратных фаз наполнителя из цементного камня, при этом значительно снижается энергия образования центров кристаллизации в соответствии с положением Гиббса–Фольмера. Однако, высокодисперсные частицы цементной матрицы являются не только эффективными центрами для образования центров кристаллизации, но и одновременно осуществляют заполнение пор, что способствует обеспечению компактности и однородности структуры для получения низкой пористости и высокой плотности бетона. В таких случаях важную роль играет сочетание оптимальной гранулометрии наполнителей.

Гранулометрия тонкодисперсной части бетонного лома характеризуется полимодальным распределением частиц с тремя, четко выраженными экстремумами на графике дифференциального распределения частиц: в интервале 2–3 мкм (9,3 %), 10–20 мкм (21,1 %) и 60–80 мкм (8,6 %) (рис. 2). Это обусловлено неоднородностью состава тонкодисперсной части и различной размо- лоспособностью компонентов, в соответствии с которой их можно расположить в ряд по убыванию: кварц – клинкер – цементный камень. При этом гранулометрическая кривая портландце- мента характеризуется одномодальным распре- делением частиц, с максимальным содержанием частиц в диапазоне 15–30 мкм.

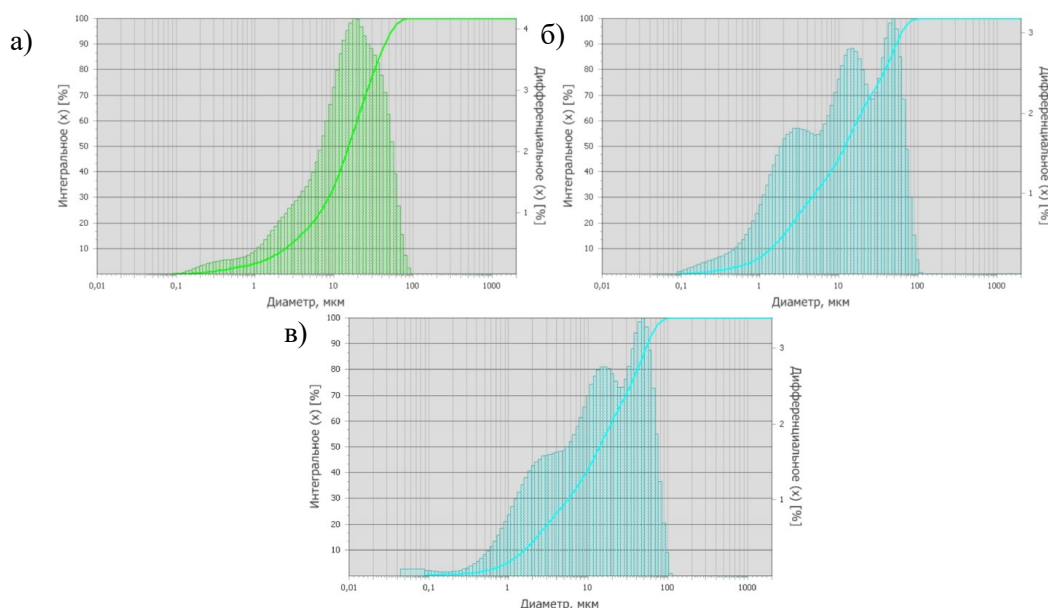


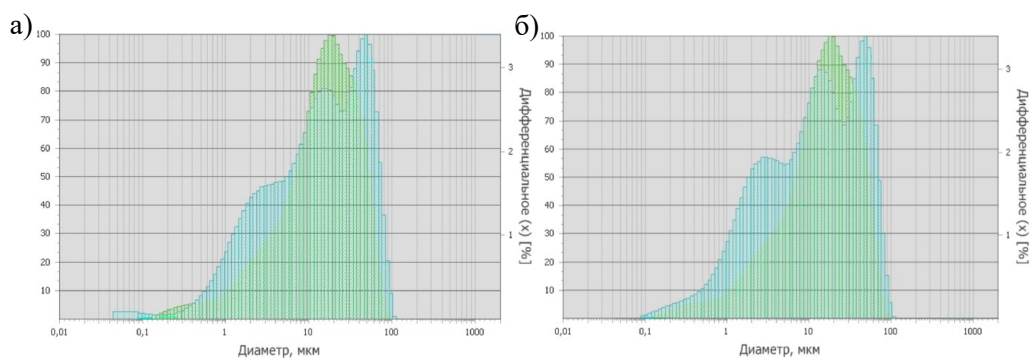
Рис. 2. Гранулометрия вяжущего ЦЕМ I 42,5 Н и тонкодисперсной фракции бетонного лома:
а) ЦЕМ I 42,5 Н; б) фракция <0,16 мм ($S_{уд}=510 \text{ м}^2/\text{кг}$); в) фракция <0,16 мм ($S_{уд}=420 \text{ м}^2/\text{кг}$)

Анализ гранулометрических кривых, характеризующих содержание и соотношение различных фракций, показывает, что гранулометрия тонкодисперсной фракции бетонного лома выходит за пределы зернового состава частиц бетонного лома как в диапазон меньшего, так и большего размера частиц. В смешанном вяжущем (ЦЕМ I 42,5 Н + фракция <0,16 мм) за счет наличия тонкодисперсного порошка увеличивается количество мелких фракций (рис. 3): 0,1–1 мкм на 5,2 %, 1–10 мкм на 9,6 %. Увеличение количества частиц больших размеров 60...100 мкм на 7,8 % при избытке пылевидной фракции с высокой дисперсностью благоприятно влияет на снятие деструктивных напряжений, основанных на электростатическом взаимодействии и механическом защемлении, вызывающих образование трещин и нарушения микрооднородности структуры.

Анализ микроструктуры образцов, приведенных на рис. 4, подтверждает преимущества мелкозернистого бетона на бетонном ломе перед

бетоном контрольного состава. Повышенные прочностные свойства образцов мелкозернистого бетона на бетонном ломе (с мелким заполнителем и тонкодисперсным наполнителем) обусловлены мелкозернистой структурой искусственного конгломерата, заполнение пор в цементной матрице происходит не только растущими гидратными новообразованиями, но и тонкодисперсными частицами наполнителя, что способствует повышению плотности.

На поверхности контакта между кварцевым песком бетонного лома со сросшейся пленкой гидросиликатов кальция и новой формирующейся цементной матрицей мелкозернистого бетона не наблюдается раздела между структурными элементами, что свидетельствует об их высокой адгезии (рис. 4, б), в отличие от мелкозернистого бетона контрольного состава, где граница контакта между поверхностью кварцевого песка и матрицей четко прослеживается (рис. 4, а).



■ – тонкодисперсный бетонный лом; ■ – ЦЕМ I 42,5 Н; ■ – ЦЕМ I 42,5 Н + бетонный лом

Рис. 3. Гранулометрия вяжущего ЦЕМ I 42,5 Н с тонкодисперсным наполнителем

из бетонного лома: а) ЦЕМ I 42,5 Н + фракция <0,16 мм ($S_{уд}=420 \text{ м}^2/\text{кг}$);

б) ЦЕМ I 42,5 Н + фракция <0,16 мм ($S_{уд}=510 \text{ м}^2/\text{кг}$)

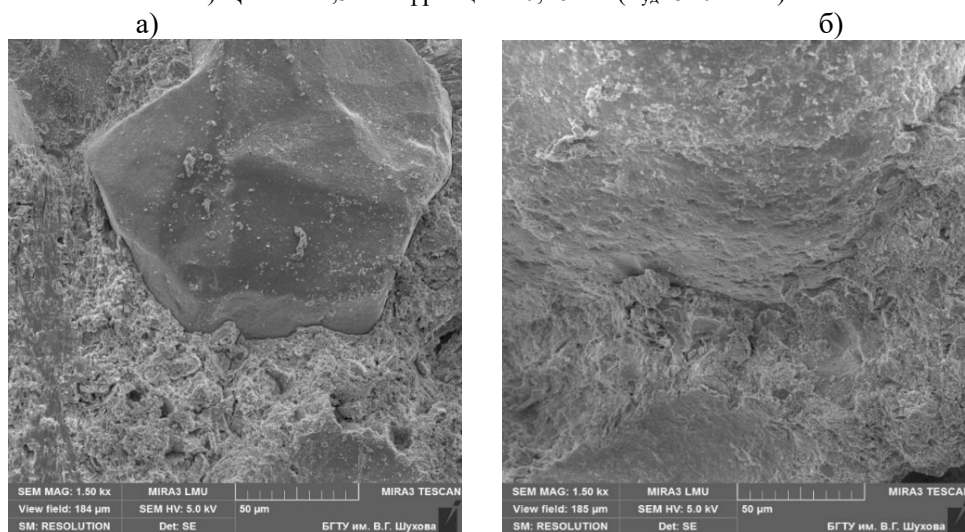


Рис. 4. Микроструктура образцов мелкозернистого бетона:

а) контрольный состав (ПЦ-20 %, кв. песок-80 %); б) ПЦ-20 %, бет. лом.-80 %

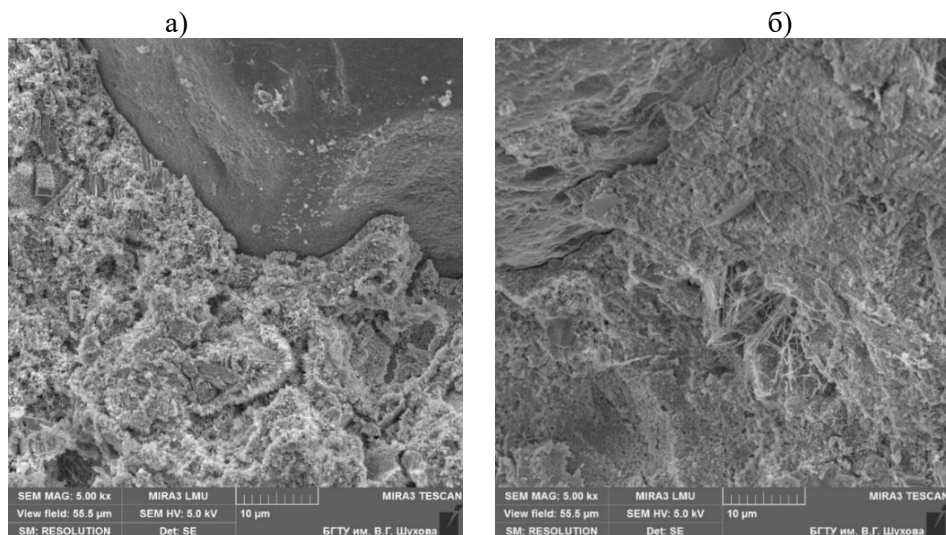


Рис. 5. Микроструктура образцов мелкозернистого бетона:

а) контрольный состав (ПЦ-20 %, кв. песок-80 %); б) ПЦ-20 %, бет. лом.-80 %

Микрофотографии поверхности мелкозернистого бетона на бетонном ломе при большем увеличении показывают (см. рис. 5, б), что

наблюдается омоноличивание цементной матрицы с густым зарастанием пор гидратными новообразованиями.

Структура затвердевшего конгломерата представлена плотным массивом (рис. 5, б), покрытым субмикроскопическими новообразованиями. Формируются частицы новообразований нано- и микроразмерного уровня, структура гидросиликатного геля равномерная по объему образцов мелкозернистого бетона, что свидетельствует об активном процессе гидратации вяжущего. Частички измельченного бетонного лома покрыты плотными слоями гидросиликатов кальция. При этом происходит обжатие частиц наполнителя и заполнителя многокомпонентной матрицы, что обуславливает высокие прочностные свойства искусственного конгломерата.

Выводы. Установлено, что повышенная прочность мелкозернистого бетона на бетонном ломе 3D-печати обусловлена повышенной адгезией формирующейся цементной матрицы ко вторичному мелкому заполнителю и влиянием тонкодисперсного компонента на увеличение объема вяжущей части, создание центров кристаллизации гидратных фаз, обеспечение компактной и однородной структуры за счет заполнения пор, гидратацией алита и белита.

Минимизация пустотности тонкодисперсной части бетонного лома за счет компактного распределения более мелких частиц в пустотах крупных частиц во многом обусловлена полимодальным зерновым составом, что способствует оптимизации структуры мелкозернистого бетона и повышению прочности.

Установлены особенности микроструктуры образцов мелкозернистого бетона. При введении в бетонный лом портландцемента образуется компактная структура искусственного конгломерата, с заполнением пор растущими гидратными фазами и тонкодисперсными частицами наполнителя, тем самым обеспечивается омоноличивание структурных элементов многокомпонентной цементной матрицы. У образцов мелкозернистого бетона контрольного состава структура характеризуется слабой контактной зоной между заполнителем и цементной матрицей из-за недостаточного количества вяжущего для обмазки кварцевого песка гидросиликатным гелем, что приводит к снижению прочности при сжатии практически в два раза, по сравнению с исследуемыми образцами на бетонном ломе.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Lesovik V.S., Tolypina N.M., Glagolev E.C., Tolypin D.A. Reuse of 3D additive manufacturing concrete scrap in construction // Lecture Notes in Civil Engineering. 2021. Vol. 151. Pp. 1–6.
2. Лесовик В.С., Муртазаев С-А.Ю., Сайдулов М.С. Строительные композиты на основе отсеков дробления бетонного лома и горных пород // Грозный: ФГУП «Издательско-полиграфический комплекс «Грозненский рабочий». 2012. 92 с.
3. Ahmed A.A.A.: Theoretical aspects of using fragments of destroyed buildings and structures of Iraq // IOP Conference Series Materials Science and Engineering. 2020. Vol. 945. 012039.
4. Муртазаев С-А.Ю., Исмаилова З.Х. Использование местных техногенных отходов в мелкозернистых бетонах // Строительные материалы. 2008. № 3. С. 57–58.
5. Лесовик В.С. Геоника (геомиметика). Примеры реализации в строительном материаловедении. Белгород: Изд-во БГТУ. 2016. 287 с.
6. Красникова Н.М., Кириллова Е.В., Хозин В. Г. Вторичное использование бетонного лома в качестве сырьевых компонентов цементных бетонов // Строительные материалы. 2020. № 1–2. С. 56–65.
7. Олейник П.П., Олейник С.П. Организация системы переработки строительных отходов. М.: МГСУ. 2009. 251 с.
8. Рахимбаев Ш.М., Толыпина Н.М., Хахалева Е.Н. Стойкость материалов гидратационного твердения на заполнителе из бетонного лома // Вестник Белгородского государственного университета им. В.Г.Шухова. 2017. №7. С. 6–9.
9. Lesovik R.V., Tolypina N.M., Alani A.A., Al-bo-ali-W.S.J.: Composite Binder on the Basis of Concrete Scrap // Lecture Notes in Civil Engineering. 2020. 95. Pp. 307–312.
10. Лесовик Р.В., Ахмед А.А.А., Аласханов А.Х. Вяжущее из пылевидной фракции фрагментов разрушенных зданий и сооружений Ирака // Региональная архитектура и строительство. 2020. 1. № 42. С. 69–76.
11. Rakhimbayev S.M, Tolypina N.M., Khakhaleva E.N., Tolypin D.A. Improving the Cement Systems Corrosion Resistance Based on Clogging Theory. Materials Science Forum. 2020. Vol. 974. Pp. 26–30.
12. Rakhimbayev S.M, Tolypina N.M., Khakhaleva E.N., Tolypin D.A. Comparative resistance of concrete with aggregates and fillers of different composition. Materials Science Forum. 2021. Vol. 1017. Pp. 133–142.
13. Kenai S., Debieb F. Caracterisation de la durabilité des betons recycles a base de gros et fins granulés de briques et de betoncincasses. Mater. And Struct. 2011. 44(4). С. 815–824.
14. Bochenek A., Prokopski G. Badania Wplywu Stosunku Wodno-Cementowego na Mikro-mechanizm Pecania Betonu Zwyklego. Arch. Inz. Lad. 1988. 2, Pp. 261–270.
15. Struble L.J., Stutzman P.E., Fuller E.R.: Microstructural Aspects of The Fracture of Hardened

Cement Paste. J. Amer. Ceram. Soc. 1989. 12, Pp. 2295–2299.

16. Carlo P., Flora F., Christian M. Recycled materials in concrete // Developments in the Formulation and Reinforcement of Concrete (Second Edition). 2019. Vol. 31. No.8. Pp. 19–54.

17. Younis A., Ebead U., Judd S. Life cycle cost analysis of structural concrete using seawater, recycled concrete aggregate, and GFRP reinforcement //

Construction and Building Materials. 2018. Vol. 175. Pp. 152–160.

18. Lesovik V.S., Tolstoy A.D., Alani A.A. Realization of the similarity law in the building material science // Oriental journal of chemistry. 2019. Vol. 35. No. 3. Pp. 1067–1072.

19. Bel J., Park S., Park J. Mechanical properties of polymer concrete made with recycled PET and recycled concrete aggregates // Construction and Building Materials. 2008. Vol. 9. Pp. 2281–2291.

Информация об авторах

Толыпин Даниил Александрович, студент. E-mail: tolypin.daniil@yandex.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Толыпина Наталья Максимовна, доктор технических наук, профессор кафедры строительного материаловедения, изделий и конструкций. E-mail: tolypina.n@yandex.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Поступила 13.04.2021 г.

© Толыпин Д.А., Толыпина Н.М., 2021

Tolypin D.A., *Tolypina N.M.

Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov

**E-mail: tolypina.n@yandex.ru*

THE EFFECT OF POLYDISPERSE CONCRETE SCRAP OF 3D PRINTING ON THE STRUCTURE FORMATION OF CONCRETE

Abstract. The article considers the influence of polydisperse concrete scrap of 3D printing on the structure formation of concrete during its repeated application. It is established that the favorable effect on the strength is due to the presence of thin layers on the surface of the secondary fine aggregate in the form of hydrate phases that enhance adhesion to the forming cement matrix. At the same time, an important multifunctional role is played by a fine fraction consisting of a cement matrix with a small amount of pulverized clinker and quartz. It increases the volume of the binder part; performs the function of the centers of crystallization of hydrate phases; promotes the formation of a compact and homogeneous structure by filling the pores; increases the strength due to the hydration of the minerals alite and belite. It is shown that the minimization of the voidness of the fine-grained part of the concrete scrap is largely due to the polymodal grain composition, which contributes to the optimization of the structure of fine-grained concrete and increases the strength. The features of the microstructure of fine-grained concrete samples are established. Artificial conglomerate based on concrete scrap is characterized by a compact structure, due to the high adhesion of the fine aggregate to the cement matrix of concrete, filling the pores with hydrate phases and fine particles, in contrast to the samples of fine-grained concrete of the control composition, which structure is characterized by a weak contact zone between the aggregate and the cement matrix.

Keywords: concrete scrap, structure, granulometry, filler, fine-grained concrete.

REFERENCES

1. Lesovik V.S., Tolypina N.M., Glagolev E.C., Tolypin D.A. Reuse of 3D additive manufacturing concrete scrap in construction. Lecture Notes in Civil Engineering. 2021. Vol.151. Pp. 1–6.

2. Lesovik V.S., Murtazaev S-A.Yu., Saidumov M.S. Construction composites based on screenings of crushing concrete scrap and rocks [Stroitel'nye kompozity na osnove otsevvov drobleniya betonnoy loma i gornyh porod]. Grozny: FSUE "Publishing and printing complex "Grozny worker", 2012. 92 p. (rus)

3. Ahmed A.A.A. Theoretical aspects of using fragments of destroyed buildings and structures of Iraq. Materials Science and Engineering. 2020. Vol. 945. 012039.

4. Murtazaev S-A.Yu., Ismailova Z.Kh. The use of local technogenic waste in fine-grained concrete [Ispol'zovanie mestnykh tekhnogennykh othodov v melkozernistykh betonah]. Construction Materials. 2008. No. 3. Pp. 57–58. (rus)

5. Lesovik V.S. Geonics (geomimetics). Examples of implementation in construction materials science: monograph [Geonika (geomimetika). Primery

realizacii v stroitel'nom materialovedenii: monografiya]. Belgorod: BSTU Publishing House, 2016. 287 p. (rus)

6. Krasnikova N.M., Kirillova E.V., Khozin V.G. Secondary use of concrete scrap as raw components of cement concretes [Vtorichnoe ispol'zovanie betonnoho loma v kachestve syr'evykh komponentov cementnykh betonov]. Construction materials. 2020. No. 1-2. Pp. 56–65. (rus)

7. Oleynik P.P., Oleynik S.P. Organization of the system for processing construction waste [Organizatsiya sistemy pererabotki stroitel'nykh othodov]. M.: MGSU, 2009. 251 p. (rus)

8. Rakhimbayev Sh.M., Tolypina N.M., Khakhaleva E.N. Resistance of hydration hardening materials on concrete scrap aggregate [Ctojnost' materialov gidratatsionnogo tverdeniya na zapolnitele iz betonnoho loma]. Bulletin of the Belgorod State University named after V. G. Shukhov. 2017. No. 7. Pp. 6–9. (rus)

9. Lesovik R.V., Tolypina N.M., Alani A.A., Al-bo-ali-W.S.J. Composite Binder on the Basis of Concrete Scrap. Lecture Notes in Civil Engineering. 2020. Vol. 95. Pp. 307–312.

10. Lesovik R.V., Ahmed A.A.A., Alaskhanov A.Kh. Astringent from the pulverized fraction of fragments of destroyed buildings and structures in Iraq. Regional architecture and construction [Vyazhushchee iz pylevidnoj frakcii fragmentov razrushennykh zdaniy i sooruzhenij Iraka]. 2020. No. 42. Pp. 69–76. (rus)

11. Rakhimbayev S.M., Tolypina N.M., Khakhaleva E.N., Tolypin D.A. Improving the Cement Systems Corrosion Resistance Based on Clogging Theory. Materials Science Forum. 2020. Vol. 974. Pp. 26–30.

12. Rakhimbayev S.M., Tolypina N.M., Khakhaleva E.N., Tolypin D.A. Comparative resistance of concrete with aggregates and fillers of different composition. Materials Science Forum. 2021. Vol. 1017. Pp. 133–142.

13. Kenai S., Debieb F. Caracterisation de la durabilité des betons recycles a base de gros et fins granulés de briques et de betoncincasses. Mater. And Struct. 2011. No. 44. Pp. 815–824.

14. Bochenek A., Prokopski G. Badania Wplywu Stosunku Wodno-Cementowego na Mikro-mechanism Pecania Betonu Zwyklego. Arch. Inz. Lad. 1988. Vol. 2. Pp. 261–270.

15. Struble L.J., Stutzman P.E., Fuller E.R. Microstructural Aspects of The Fracture of Hardened Cement Paste. J. Amer. Ceram. Soc. 1989. Vol. 12, Pp. 2295–2299.

16. Carlo P., Flora F., Christian M. Recycled materials in concrete. Developments in the Formulation and Reinforcement of Concrete (Second Edition). 2019. Vol.31. No. 8. Pp. 19–54.

17. Younis A., Ebead U., Judd S. Life cycle cost analysis of structural concrete using seawater, recycled concrete aggregate, and GFRP reinforcement. Construction and Building Materials. 2018. Vol. 175. Pp. 152–160.

18. Lesovik V.S., Tolstoy A.D., Alani A.A. Realization of the similarity law in the building material science. Oriental journal of chemistry. 2019. Vol. 35. No. Pp. 1067–1072.

19. Bel J., Park S., Park J. Mechanical properties of polymer concrete made with recycled PET and recycled concrete aggregates. Construction and Building Materials. 2008. Vol. 9. Pp. 2281–2291.

Information about the authors

Tolypin, Daniil A. Student. E-mail: tolypin.daniil@yandex.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Tolypina, Natalia M. Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Building Materials Science, Products and Structures. E-mail: tolypina.n@yandex.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Received 13.04.2021

Для цитирования:

Толыпин Д.А., Толыпина Н.М. Влияние полидисперсного бетонного лома 3D-печати на структурообразование бетона // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2021. № 7. С. 17–23. DOI: 10.34031/2071-7318-2021-6-7-17-23

For citation:

Tolypin D.A., Tolypina N.M. The effect of polydisperse concrete scrap of 3D printing on the structure formation of concrete. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2021. No. 7. Pp. 17–23. DOI: 10.34031/2071-7318-2021-6-7-17-23

DOI: 10.34031/2071-7318-2021-6-7-24-32

**Нажуев М.П., *Самофалова М.С., Ельшаева Д.М.,
Жеребцов Ю.В., Доценко Н.А., Курбанов Н.С., Ефимов И.И.**
Донской государственный технический университет
*E-mail: mary.ss17@yandex.ru

ВЛИЯНИЕ РЕЦЕПТУРНЫХ ФАКТОРОВ НА ПРОЧНОСТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ БАЗАЛЬТОФИБРОБЕТОНОВ

Аннотация. На сегодняшний день дисперсно-армированные бетоны являются перспективным конструкционным строительным материалом. Целью данного исследования является изучение основных прочностных характеристик базальтофибробетона за счет варьирования рецептурных факторов, а именно: изменения процентного соотношения фракций крупного заполнителя и процента фибрового армирования. Всего было изготовлено и испытано 18 серий базовых образцов стандартного размера: 27 кубов с размерами $100 \times 100 \times 100$ мм для испытаний на сжатие; 27 призм с размерами $100 \times 100 \times 400$ мм для испытаний на растяжение при изгибе. Также были проведены расчеты прочностных характеристик в зависимости от рецептурных факторов, расчеты производились методом математического планирования эксперимента – полнофакторный эксперимент (ПФЭ 2^2). По результатам исследования методом наименьших квадратов были получены базовые уравнения регрессии, которые представлены в виде полиномов 2-ой степени. На основании полученных результатов сделан вывод о том, что наиболее эффективным будет применение базальтовой фибры в количестве 4,5 % от массы бетонной смеси и применение крупного заполнителя с содержанием фракции 5–10 мм в количестве 40 %, а фракции 10–20 мм в количестве 60 %. Практический потенциал полученных результатов будет заключаться в разработанных технологических рекомендациях в плане технологии и рецептуры фиброармированных бетонов для получения изделий и конструкций повышенного качества.

Ключевые слова: прочность, базальтовая фибра, рецептурные факторы, фибра, процент фибрового армирования, фибробетон.

Введение. На сегодняшний день дисперсно-армированные бетоны достаточно широко распространены в различных видах строительства. Фибробетоны в сравнении с традиционными бетонами имеют ряд преимуществ, а именно: более высокую ударную прочность, прочность на растяжение, по таким показателям как водонепроницаемость, истираемость, морозостойкость, жаропрочность, трещиностойкость они также превосходят традиционные бетоны [1–3].

Основываясь на опыте зарубежной и отечественной строительной практики применение фибробетона наиболее эффективно при изготовлении конструкций и изделий, имеющих криволинейную поверхность, при изготовлении изгибаемых и ударостойких конструкций, а также в тонкостенных плоских конструкциях.

Существуют различные виды фибр, на современном рынке их номенклатура довольно обширна, начиная от менее распространенных и дорогостоящих – углерода, вольфрама, карбида, нитрида кремния, до широко распространенных – полимерных, стальных, базальтовых и стеклянных [4].

Для достижения наилучшего эффекта от фибрового армирования при нагружении важно учитывать ряд факторов, а именно: процентное содержание фибры, степень ее сцепления с бетоном, отношение длины волокна фибры к диаметру волокна. Установлено, что при $l/d = 100$ и

более достигается наилучший эффект от фибрового армирования, а также возрастает число разрываемых фибр по отношению к выдернутым, что свою очередь положительно сказывается на прочностных характеристиках фибробетона [5].

Положительное влияние фибрового армирования на прочностные характеристики бетонов возможно, когда достигается минимальная критическая объемная концентрация дисперсной фазы, данная концентрация описывается зависимостью, представленной в формуле 1.

$$V_{cr} = \frac{27v}{(47+34v)(2v+1)}, \quad (1)$$

где v – коэффициент, определяется как отношение продольного размера частицы к поперечному [6].

В процессе разрушения фибробетона можно выделить ряд деструктивных процессов, которые протекают в следующей последовательности: микротрещинообразование, растрескивание, разрывы фиброволокон, потеря связи между компонентами и разрушение межфазовых границ. Наибольший эффект от дисперсного армирования прослеживается на стадии образования и раскрытия трещин [6–8].

Основным отличием при разрушении неармированного бетона в сравнении с фибробетонами является то, что разрушение неармированного бетона происходит с образованием маги-

стральной вертикальной трещины, а у фибробетонов процесс разрушения протекает с формированием множественных разветвленных трещин [9].

При дисперсном армировании бетонов возможно получение направленной и свободной ориентации волокон фибр. Получить направленную ориентацию волокон возможно за счет применения непрерывных нитей, а также при воздействии магнитного поля в процессе формования изделий, содержащих стальную фибру. Произвольная ориентация реализуется за счет применения коротких фиброволокон. Также выделяют плоскопроизвольную ориентацию, которая характеризуется беспорядочным расположением фибр в плоскости и объёмно-произвольную, характеризующуюся хаотичным распределением фибр по всему объёму бетона [10].

Наибольшее распространение в отечественной строительной практике получила стальная фибра. Применение стальных волокон обеспечивает повышение прочности на растяжение при изгибе на 15–20 %, а также позволяет снизить внутренние напряжения, но из-за малой удельной поверхности стальной фибры, невысокой адгезии к ней цементного камня и недостаточной прочности самого бетона, приводящей к «продергиванию» фибр при его разрушении, потенциал дисперсного армирования полностью реализовать не удастся.

В связи с этим применение базальтовой фибры является более перспективным, базальтовая фибра по прочности превосходит стальную, а значения относительного удлинения базальтовой фибры при разрыве в два раза ниже, чем у стальной, что позволяет ей более эффективно препятствовать образованию микротрещин в бетоне при нагружении [11–14].

Базальтовую фибру изготавливают из расплавов изверженных горных пород (базальт, диабаз, габбро и т. д.). Базальтовая фибра имеет высокий модуль упругости, а также она не вступает в реакцию с солями, это позволяет использовать базальтофибробетоны при строительстве морских сооружений [6, 15].

Целью исследования является изучение изменения основных прочностных характеристик базальтофибробетона (прочность на сжатие и прочность на растяжение при изгибе) за счет варьирования рецептурных факторов, а именно: изменения процентного соотношения фракций крупного заполнителя и процента фибрового армирования.

Методы и материалы. В данном исследовании была применена базальтовая фибра, основные физико-механические характеристики которой представлены в таблице 1.

Таблица 1

Физико-механические характеристики базальтовой фибры

Прочность волокон на растяжение, МПа	Диаметр фиброволокна, мкм	Длина фиброволокна, мм	Модуль упругости, ГПа	Коэффициент удлинения фибры, %	Плотность фибры, г/см ³
3500	9–12	3,3–15,7	70	3,5	2,6

В качестве вяжущего использовался портландцемент марки ПЦ 500 Д0 производства ОАО

«Новоросцемент», в таблице 2 представлены физико-механические характеристики портландцемента.

Таблица 2

Физико-механические характеристики портландцемента ПЦ 500 Д0

Наименование свойства	Значение и размерность
Истинная плотность	3,14 г/см ³
Насыпная плотность	1,052 кг/м ³
Удельная поверхность	не менее 311 м ² /г
Нормальная густота цементного теста	не более 26,6 %
Сроки схватывания	начало – 225 мин, конец – 345 мин
Активность цемента	42 МПа

В качестве мелкого заполнителя применялся кварцевый песок с модулем крупности $M_{кр} = 2,27$

и насыпной плотностью $\rho_n = 1650 \text{ кг/м}^3$. Гранулометрический состав представлен в таблице 3.

Таблица 3

Гранулометрический состав песка

Остатки на ситах	диаметр сит, %					
	2,5	1,25	0,63	0,315	0,16	
Частные	1,89	4,71	24,52	59,18	6,67	0,31
Полные	1,89	6,60	31,13	90,30	96,97	

В качестве крупного заполнителя применялся гранитный щебень, физико-механические характеристики щебня представлены в таблице 4.

Таблица 4

Физико-механические характеристики щебня

Фракция	Насыпная плотность, кг/м^3	Пустотность, %	Содержание пылеватых и глинистых частиц, % по массе	Содержание зерен пластинчатой (лещадной) и игловатой форм, % по массе	Дробимость, % по массе
5–10	1470	0,457	0,65	23	12,7
10–20	1430	0,468	0,61	24	13,1

Для регулирования подвижности бетонных смесей использовался суперпластификатор Schomburg Remicrete SP-10 (FM) – это высокоэффективный пластификатор на основе полиэфиркарбоксилата, который, воздействуя на процессы

гидратации, способствует ускоренному раннему и конечному набору прочности. Технические характеристики суперпластификатора приведены в таблице 5.

Таблица 5

Технические характеристики суперпластификатора

Суперпластификатор Schomburg Remicrete SP-10 (FM)	Сырьевая основа	Цвет	Физическое состояние	Плотность, г/см^3
	полиэфиркарбоксилат	светло-желтый	жидкость	1,1

Всего было изготовлено и испытано 18 серий базовых образцов стандартного размера:

- кубы 27 шт. с размерами $100 \times 100 \times 100 \text{ мм}$ для испытаний на сжатие;

- призмы 27 шт. с размерами $100 \times 100 \times 400 \text{ мм}$ для испытаний на растяжение при изгибе.

Все образцы были изготовлены из бетона одинакового состава, расход материалов на 1 м^3 составил: Ц = 315 кг, Щ = 1205 кг, П = 689 кг, В = 190 л, суперпластификатор – 2 л.

Для исследований применялось: технологическое оборудование (бетономеситель лабораторный БЛ-10), средства измерений (весы лабораторные и линейки) и испытательное оборудование (пресс гидравлический) [16–20].

Испытания на сжатие и растяжение при изгибе проводились в соответствии с требованиями ГОСТ 10180.

Также были проведены расчеты прочностных характеристик базальтофибробетона в зависимости от рецептурных факторов. Расчеты про-

изводились методом математического планирования эксперимента (ПФЭ 2^к) с использованием программы «MathCAD».

Результаты и их обсуждение. Результаты экспериментальных исследований влияния рецептурных факторов на прочностные характеристики базальтофибробетона представлены в таблице 7.

Определение прочностных характеристик базальтофибробетона произведено с помощью регрессионных зависимостей, вид и значения коэффициентов которых определяются методами математического планирования эксперимента.

В качестве функций были приняты изменяющиеся из-за рецептурных факторов характеристики базальтофибробетона (прочность на сжатие и прочность на растяжение при изгибе).

В качестве же аргументов были приняты рецептурные факторы (процент фибрового армирования; соотношение фракций заполнителя 5-10 и 10-20) в абсолютных показателях с различными уровнями варьирования.

Расчеты производились методом математического планирования эксперимента – полнофакторный эксперимент (ПФЭ 2²). Значения рецептурных факторов представлены в таблице 6.

За функцию отклика были приняты параметры:

- $R_{сж}$ (μ , α) – прочность на сжатие – МПа;

- $R_{изг}$ (μ , α) – прочность на растяжение при изгибе – МПа.

Таблица 6

Значения рецептурных факторов ПФЭ 2^к

№ п/п	Код фактора	Физический смысл фактора	Ед. измерения	Интервал варьирования	Уровни фактора		
					-1	0	+1
1	μ	фибровое армирование	%	$\pm 0,5$	3,5	4	4,5
2	α	соотношение фракций заполнителя 5–10 и 10–20	%	$\pm 0,1$	0,4	0,5	0,6

Таблица 7

Результаты экспериментальных исследований влияния рецептурных факторов на прочностные характеристики базальтофибробетона

Номер опыта	Фибровое армирование, %	Соотношение фракций 5-10/10-20	Прочность базальтофибробетона на сжатие, МПа	Прочность базальтофибробетона на растяжение при изгибе, МПа
1	3,5	0,4	46,7	3,9
2	4,5	0,4	48,8	4,2
3	3,5	0,6	46,6	4,1
4	4,5	0,6	58,1	4,6
5	3,5	0,5	46,1	4,2
6	4,5	0,5	50,3	4,4
7	4	0,4	50,1	4,3
8	4	0,6	48,3	4,2
9	4	0,5	47,8	4,0

По результатам исследования методом наименьших квадратов были получены базовые

уравнения регрессии, которые представлены в виде полиномов 2-ой степени:

$$R_{сж}(\mu; \alpha) = 49,2 + 0,3297 \cdot \mu + 0,1371 \cdot \alpha + 4,7 \cdot \alpha \cdot \mu + 0,2309 \cdot \mu^2 + 0,5643 \cdot \alpha^2 \quad (1)$$

$$R_{изг}(\mu; \alpha) = 4,21 + 0,0185 \cdot \mu + 0,0093 \cdot \alpha + 0,1 \cdot \alpha \cdot \mu + 0,022 \cdot \mu^2 + 0,0053 \cdot \alpha^2 \quad (2)$$

Графическая интерпретация математических зависимостей представлена на рисунках 1 и 2.

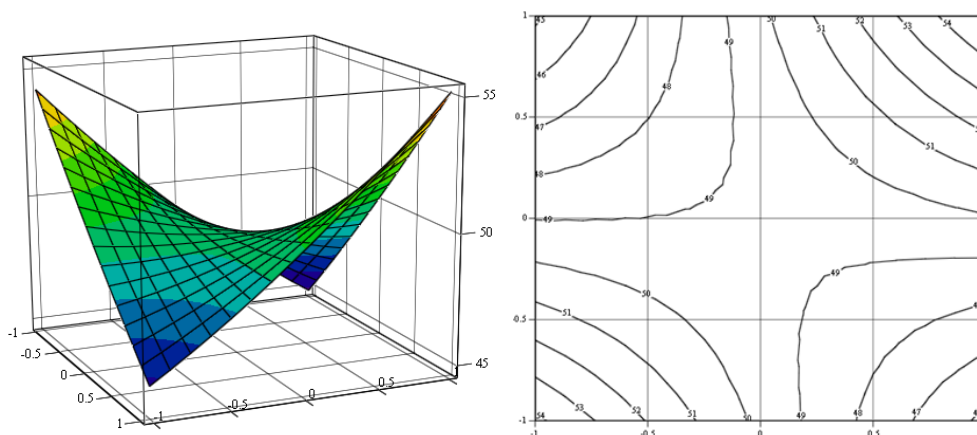


Рис. 1. Зависимость изменения прочности на сжатие базальтофибробетона от процентного содержания фракций заполнителя (фр. 5–10/10–20) и процента фибрового армирования

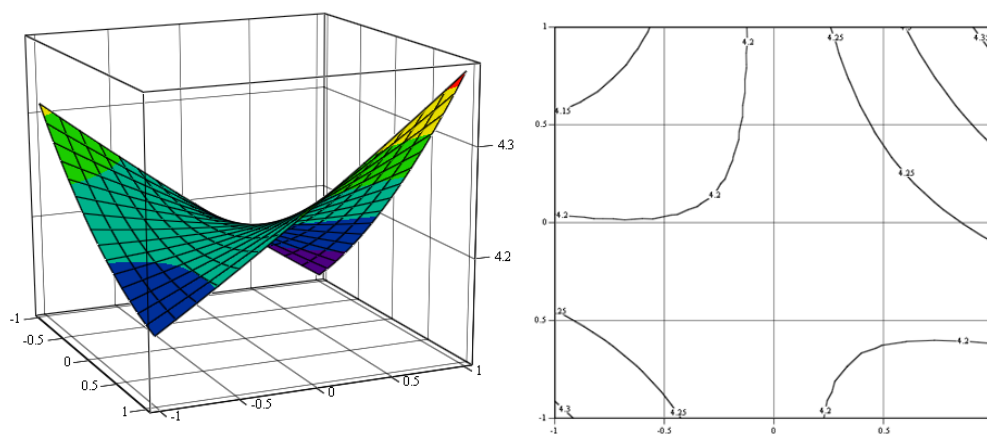


Рис. 2. Зависимость изменения прочности на растяжение при изгибе базальтофibreбетона от процентного содержания фракций заполнителя (фр. 5–10/10–20) и процента фибрового армирования

По результатам экспериментальных исследований прочностных характеристик базальтофibreбетона были получены их значения в зависимости от влияния процента фибрового армирования базальтовой фиброй и процентного содержания фракций крупного заполнителя с размерами 5–10 мм и 10–20 мм.

Как видно на рисунках 1 и 2 максимальные значения прочности на сжатие и прочности на растяжение при изгибе достигаются при проценте фибрового армирования базальтовой фиброй равном 4,5 %, и содержанием фракции 5–10 мм в количестве 40 %, а фракции 10–20 мм в количестве 60 %. Данный положительный эффект обусловлен, по всей видимости, наиболее равномерным и рациональным распределением фибры в теле бетона.

Полученные в ходе расчетов полиномиальные уравнения регрессии оценивали по значимости коэффициентов, среднеквадратичному отклонению, также с помощью критерия Фишера была приведена оценка адекватности.

Отметим, что, проанализировав полученные результаты исследования, выявлено рациональное значение такого рецептурно-технологического фактора, как процент фибрового армирования, что немаловажно, так как остро стоит проблема повышения качества структурообразования бетона и усиления его несущей способности за счет дополнительного армирования без существенного увеличения веса конструкций и изделий, получаемых из таких бетонов. Вследствие этого выглядит перспективным именно дисперсное армирование, которое, с одной стороны приводит к существенному улучшению характеристик, а с другой стороны – не приводит к утяжелению таких конструкций и поэтому является актуальным и перспективным направлением.

Вывод. На основании полученных результатов можно сделать вывод о том, что наиболее эффективным будет применение базальтовой

фибры в количестве 4,5 % от массы бетонной смеси и применение крупного заполнителя с содержанием фракции 5–10 мм в количестве 40 % и фракции 10–20 мм в количестве 60 %. Прочностные характеристики базальтофibreбетона и их стабильность определяются равномерностью распределения волокон в объеме всей смеси.

Полученные результаты показывают перспективность и целесообразность проведенных исследований, а данные о прочностных свойствах базальтофibreбетона расширяют информационную базу проектирования бетонов данного вида.

Полученные экспериментальные данные в дальнейшем будут применены в работе по изучению влияния технологических факторов на прочностные характеристики базальтофibreбетона. Планируется изучение различных способов распределения базальтового волокна в составе бетонной смеси, в частности поэтапное введение и раздельное перемешивание волокон с компонентами бетонной смеси.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Волков И.В. Фибробетон – состояние и перспективы применения в строительных конструкциях // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. 2004. №5. С. 24–25.
2. Маилян Л.Р., Шило А.В. Изгибаемые керамзитовофibreжелезобетонные элементы на грубом базальтовом волокне. Ростов-на-Дону: Рост. гос. строит. ун-т., 2001. 174 с.
3. Моргун Л.В. Теоретическое обоснование и экспериментальная разработка технологии высокопрочных фибропенобетонов // Строительные материалы. 2005. №6. С. 59–63.
4. Моргун Л.В. Анализ закономерностей формирования оптимальных структур дисперсно-армированных бетонов // Изв. Вузов. Строительство. 2003. №8. С. 58–60.

5. Рахимов Р.З. Фибробетон – строительный материал XXI века // Экспозиция – бетон и сухие смеси. 2008. № 2 (54). С. 35–42.
6. Ивлев В.А. Фибробетон в тонкостенных изделиях кольцевой конфигурации: дис. канд. техн. наук. Уфа, 2009. 176 с.
7. Баженов Ю.М., Алимов Л.А., Воронин В.В., Магдеев У.Х. Технология бетона, строительных изделий и конструкций. М.: Изд-во АСВ, 2008. 350 с.
8. Боровских И.В. Высокопрочный тонкозернистый базальтофибробетон: дис. ... канд. техн. наук. Казань: КГАСУ, 2009. 169 с.
9. Пухаренко Ю.В. Реставрация и строительство: потенциал фиброармированных материалов и изделий // Современные проблемы науки и образования. 2012. № 4. [Электронный ресурс]. Систем. требования: AdobeAcrobatReader. URL: <http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=6582> (дата обращения: 06.04.2021).
10. Рабинович Ф.Н. Композиты на основе дисперсно-армированных бетонов. Вопросы теории и проектирования, технология, конструкции. М.: Изд-во АСВ, 2004. 560 с.
11. Kim J.-J., Yoo D.-Y. Effects of fiber shape and distance on the pullout behavior of steel fibers embedded in ultra-high-performance concrete // Cement and Concrete Composites. 2019. Vol. 103. Pp. 213–223.
12. Chen L., Sun W., Chen B., Shi Z., Lai J., Feng J. Multiscale study of fibre orientation effect on pullout and tensile behavior of steel fibre reinforced concrete // Construction and Building Materials. 2021. Vol. 283. 122506. [Электронный ресурс]. Систем. требования: AdobeAcrobatReader. URL: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.122506> (дата обращения: 30.03.2021).
13. Yoo D.-Y., Shin W., Chun B., Banthia N. Assessment of steel fiber corrosion in self-healed ultra-high-performance fiber-reinforced concrete and its effect on tensile performance // Cement and Concrete Research. 2020. Vol. 133. 106091. [Электронный ресурс]. Систем. требования: AdobeAcrobatReader. URL: <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2020.106091> (дата обращения: 06.04.2021).
14. Balendran R.V., Zhou F.P., Nadeem A., Leung A.Y.T. Influence of steel fibres on strength and ductility of normal and lightweight high strength concrete // Building and Environment. 2020. Vol. 37. Iss. 12. P. 1361–1367. [Электронный ресурс]. Систем. требования: AdobeAcrobatReader. URL: [https://doi.org/10.1016/S0360-1323\(01\)00109-3](https://doi.org/10.1016/S0360-1323(01)00109-3) (дата обращения: 30.03.2021).
15. Стерин В.С. Промышленная технология дисперсно-армированных железобетонных конструкций: автореф. дис. канд. техн. наук. СПб., 2002. 32 с.
16. Холодняк М.Г., Стельмах С.А., Щербань Е.М., Третьяков Д.А., Дао В.Н., Заикин В.И. Предложения по расчетному определению прочностных характеристик вибрированных, центрифугированных и виброцентрифугированных бетонов // Вестник Евразийской науки. 2018. №6. [Электронный ресурс]. Систем. требования: AdobeAcrobatReader. URL: <https://esj.today/PDF/66SAVN618.pdf> (дата обращения: 30.03.2021).
17. Стельмах С.А., Щербань Е.М., Насевич А.С., Нажуев М.П., Тароян А.Г., Яновская А.В. Сравнение влияния армирования фибровыми волокнами различных видов на свойства центрифугированных и вибрированных изделий из тяжелого бетона класса В50 // Вестник Евразийской науки. 2018. №5. [Электронный ресурс]. Систем. требования: AdobeAcrobatReader. URL: <https://esj.today/PDF/29SAVN518.pdf> (дата обращения: 30.03.2021).
18. Щербань Е.М., Стельмах С.А., Нажуев М.П., Насевич А.С., Гераськина В.Е., Пошев А.У.-Б. Влияние различных видов фибры на физико-механические свойства центрифугированного бетона // Вестник Евразийской науки. 2018. №6. [Электронный ресурс]. Систем. требования: AdobeAcrobatReader. URL: <https://esj.today/PDF/14SAVN618.pdf> (дата обращения: 31.03.2021).
19. Стельмах С.А., Щербань Е.М., Холодняк М.Г., Нажуев М.П., Тароян А.Г., Чебураков С.В. Сравнение влияния армирования фибровыми волокнами различных видов на свойства центрифугированных и вибрированных изделий из тяжелого бетона класса В20 // Инженерный вестник Дона. 2018. №4. [Электронный ресурс]. Систем. требования: AdobeAcrobatReader. URL: http://www.ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD_5_Stelmakh_Shcherban.pdf_9004eb63bd.pdf (дата обращения: 31.03.2021).
20. Маляев Л.Р., Стельмах С.А., Халюшев А.К., Щербань Е.М., Холодняк М.Г., Нажуев М.П. Совершенствование расчетных рекомендаций по подбору состава бетона центрифугированных конструкций // Вестник Евразийской науки. 2018. №3. [Электронный ресурс]. Систем. требования: AdobeAcrobatReader. URL: <https://esj.today/PDF/63SAVN318.pdf> (дата обращения: 31.03.2021).

Информация об авторах

Нажуев Мухума Пахрудинович, ассистент. E-mail: nazhuev17@mail.ru. Донской государственный технический университет. Россия, 344003, Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, д. 1.

Самофалова Мария Сергеевна, магистрант кафедры технологического инжиниринга и экспертизы в строительной индустрии. E-mail: mary.ss17@yandex.ru. Донской государственный технический университет. Россия, 344003, Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, д. 1.

Ельшаева Диана Михайловна, магистрант кафедры технологического инжиниринга и экспертизы в строительной индустрии. E-mail: diana.elshaeva@yandex.ru. Донской государственный технический университет. Россия, 344003, Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, д. 1.

Жеребцов Юрий Владимирович, магистрант кафедры технологического инжиниринга и экспертизы в строительной индустрии. E-mail: yuri.zhrebtsov@gmail.com. Донской государственный технический университет. Россия, 344003, Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, д. 1.

Доценко Наталья Александровна, магистрант кафедры технологического инжиниринга и экспертизы в строительной индустрии. E-mail: natalya_1998_dotsenko@mail.ru. Донской государственный технический университет. Россия, 344003, Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, д. 1.

Курбанов Надир Сейфудинович, магистрант кафедры технологического инжиниринга и экспертизы в строительной индустрии. E-mail: kurbanov_n98@mail.ru. Донской государственный технический университет. Россия, 344003, Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, д. 1.

Ефимов Иван Иванович, магистрант кафедры технологического инжиниринга и экспертизы в строительной индустрии. E-mail: vanya_efimov_97@mail.ru. Донской государственный технический университет. Россия, 344003, Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, д. 1.

Поступила 15.04.2021 г.

© Нажуев М.П., Самофалова М.С., Ельшаева Д.М., Жеребцов Ю.В., Доценко Н.А., Курбанов Н.С., Ефимов И.И., 2021

*Nazhuev M.P., *Samofalova M.S., El'shaeva D.M.,
Zhrebtsov Yu.V., Dotsenko N.A., Kurbanov N.S., Efimov I.I.
Don State Technical University
E-mail: mary.ss17@yandex.ru

INFLUENCE OF RECIPE FACTORS ON STRENGTHS CHARACTERISTICS OF BASALT FIBER CONCRETE

Abstract. Today, dispersed-reinforced concrete is a promising structural building material. In order to improve the strength characteristics of basalt fiber reinforced concrete, authors studies the effect of prescription factors, namely the percentage of fiber reinforcement and the percentage of coarse aggregate fractions. In total, 18 series of basic samples of standard size are manufactured and tested: 27 cubes with dimensions of 100x100x100 mm for compression tests; 27 prisms with dimensions 100×100×400 mm for tensile bending tests. Also, calculations of strength characteristics are carried out depending on recipe factors, the calculations are made by the method of mathematical planning of the experiment - a full-factor experiment (FFE 2²). According to the results of the study, the basic regression equations are obtained by the least squares method, which are presented in the form of polynomials of the 2nd degree. It is concluded that the most effective would be the use of basalt fiber in the amount of 4.5 % of the mass of the concrete mixture and the use of a coarse aggregate with a fraction of 5-10 mm in the amount of 40 %, and fractions of 10-20 mm in the amount 60 %.

Keywords: strength, basalt fiber, recipe factors, fiber, percentage of fiber reinforcement, fiber concrete.

REFERENCES

1. Volkov I.V. Fiber-reinforced concrete-the state and prospects of application in building structures [Fibrobeton – sostoyanie i perspektivy primeneniya v stroitel'nykh konstruktsiya]. Construction materials, equipment, technologies of the XXI century. 2004. No. 5. Pp. 24–25. (rus)
2. Mailyan L.R., Shilo A.V. Flexible expanded clay-fiber reinforced concrete elements on coarse basalt fiber [Izgibaemye keramzitofibrozhelzobetonnye elementy na grubom bazal'tovom volokne].

Rostov-on-Don: Rostov State University of Civil Engineering, 2001, 174 p. (rus)

3. Morgun L.V. Theoretical justification and experimental development of high-strength fibropen concrete technology [Teoreticheskoe obosnovanie i eksperimental'naya razrabotka tekhnologii vysokoprochnykh fibropenobetonov]. Construction materials. 2005. No. 6. Pp. 59–63. (rus)

4. Morgun L.V. Analysis of patterns of formation of optimal structures of dispersed reinforced concrete [Analiz zakonomernostei formirovaniya optimal'nykh struktur dispersnoarmirovannykh betonov]. Izvestiya Vuzov. Construction. 2003. No. 8. Pp. 58–60. (rus)

5. Rakhimov R. Z. Fibroconcrete – building material of the XXI century [Fibrobeton – stroitel'nyi material XXI veka]. Exposition-concrete and dry mixes. 2008. No. 2 (54). Pp. 35–42. (rus)

6. Bazhenov Yu.M., Alimov L.A., Voronin V.V., Magdeev U.Kh. Technology of concrete, building products and structures [Tekhnologiya betona, stroitel'nykh izdelii i konstruksii]. Moscow. Publishing house ASV, 2008. 350 p. (rus)

7. Borovskikh I.V. High-strength fine-grained basalt fiber concrete [Vysokoprochnyi tonkozernisty bazalt'ofibrobeton]. Kazan: KSUAE, 2009. 169 p. (rus)

8. Pukharensko Yu.V. Restoration and construction: the potential of fiber-reinforced materials and products [Restavratsiya i stroitel'stvo: potentsial fibroarmirovannykh materialov i izdelii]. Modern problems of science and education. 2012. No. 4. AdobeAcrobatReader. URL: <http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=6582> (rus) (date of treatment: 06.04.2021).

9. Rabinovich F.N. Composites based on dispersed reinforced concrete. Questions of theory and design, technology, construction [Kompozity na osnove dispersno-armirovannykh betonov. Voprosy teorii i proektirovaniya, tekhnologiya, konstruksii]. Moscow. Publishing house ASV, 2004. 560 p. (rus)

10. Kim J.-J., Yoo D.-Y. Effects of fiber shape and distance on the pullout behavior of steel fibers embedded in ultra-high-performance concrete. Cement and Concrete Composites. 2019. Vol. 103. Pp. 213–223.

11. Chen L., Sun W., Chen B., Shi Z., Lai J., Feng J. Multiscale study of fibre orientation effect on pullout and tensile behavior of steel fibre reinforced concrete. Construction and Building Materials. 2021. Vol. 283. 122506. AdobeAcrobatReader. URL: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.122506> (date of treatment: 30.03.2021).

12. Yoo D.-Y., Shin W., Chun B., Banthia N. Assessment of steel fiber corrosion in self-healed ultra-high-performance fiber-reinforced concrete and

its effect on tensile performance. Cement and Concrete Re-search. 2020. Vol. 133. 106091. AdobeAcrobatReader. URL: <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2020.106091> (date of treatment: 06.04.2021).

13. Balendran R.V., Zhou F.P., Nadeem A., Leung A.Y.T. Influence of steel fibres on strength and ductility of normal and lightweight high strength concrete. Building and Environment. 2020. Vol. 37. No. 12. P. 1361–1367. AdobeAcrobatReader. URL: [https://doi.org/10.1016/S0360-1323\(01\)00109-3](https://doi.org/10.1016/S0360-1323(01)00109-3) (date of treatment: 30.03.2021).

14. Sterin B.C. Industrial technology of dispersed reinforced concrete structures [Promyshlennaya tekhnologiya dispersno-armirovannykh zhelezobetonnykh konstruksii]. St. Petersburg, 2002. 32 p. (rus)

15. Ivlev V.A. Fiber-reinforced concrete in thin-walled products of ring configuration [Fibrobeton v tonkostennykh izdeliyakh kol'tsevoi konfiguratsii]. Ufa, 2009. 176 p. (rus)

16. Kholodnyak M.G., Stel'makh S.A., Shcherban' E.M., Tret'yakov D.A., Dao V.N., Zaikin V.I. Proposals for the calculated determination of the strength characteristics of vibrated, centrifuged and vibro-centrifuged concrete [Predlozheniya po raschetnomu opredeleniyu prochnostnykh kharakteristik vibrirovannykh, tsentrifugirovannykh i vibrotsentrifugirovannykh betonov]. The Eurasian Scientific Journal. 2018. No. 6. AdobeAcrobatReader. URL: <https://esj.today/PDF/66SAVN618.pdf> (rus) (date of treatment: 30.03.2021).

17. Stel'makh S.A., Shcherban' E.M., Nasevich A.S., Nazhnev M.P., Taroyan A.G., Yanovskaya A.V. Comparison of the effect of fiber reinforcement of various types on the properties of centrifuged and vibrated products made of heavy concrete of class B50 [Sravnenie vliyaniya armirovaniya fibrovymi voloknami razlichnykh vidov na svoystva tsentrifugirovannykh i vibrirovannykh izdelii iz tyazhelogo betona klassa B50]. The Eurasian Scientific Journal. 2018. No. 5. AdobeAcrobatReader. URL: <https://esj.today/PDF/29SAVN518.pdf> (rus) (date of treatment: 30.03.2021).

18. Shcherban' E.M., Stel'makh S.A., Nazhnev M.P., Nasevich A.S., Geras'kina V.E., Poshev A.U.-B. Influence of different types of fiber on the physical and mechanical properties of centrifuged concrete [Vliyanie razlichnykh vidov fibry na fiziko-mekhanicheskie svoystva tsentrifugirovannogo betona]. The Eurasian Scientific Journal. 2018. No. 6. AdobeAcrobatReader. URL: <https://esj.today/PDF/14SAVN618.pdf> (rus) (date of treatment: 31.03.2021).

19. Stel'makh S.A., Shcherban' E.M., Kholodnyak M.G., Nazhnev M.P., Taroyan A.G., Chebur-

kov S.V. Comparison of the effect of fiber reinforcement of various types on the properties of centrifuged and vibrated products made of heavy concrete of class B20 [Sravnenie vliyaniya armirovaniya fibrovymi voloknami razlichnykh vidov na svoystva tsentrifugirovannykh i vibrirovannykh izdelii iz tyazheloego betona klassa B20]. Engineering journal of Don. 2018. No. 4. AdobeAcrobatReader. URL: http://www.ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD_5_Stelmakh_Shcherban.pdf_9004eb63bd.pdf. (rus) (date of treatment: 31.03.2021).

20. Mailyan L.R., Stel'makh S.A., Khalyushev A.K., Shcherban' E.M., Kholodnyak M.G., Nazhnev M.P. (2018). Improvement of design recommendations for the selection of concrete composition of centrifuged structures [Sovershenstvovanie raschetnykh rekomendatsii po podboru sostava betona tsentrifugirovannykh konstruksii]. The Eurasian Scientific Journal. 2018. No. 3. AdobeAcrobatReader. URL: <https://esj.today/PDF/63SAVN318.pdf> (rus) (date of treatment: 31.03.2021).

Information about the authors

Nazhnev, Mukhuma P. Assistant. E-mail: nazhnev17@mail.ru. Don State Technical University. Russian Federation, 344003, Rostov-on-Don, Gagarin Square, 1.

Samofalova, Mariya S. Master student. E-mail: mary.ss17@yandex.ru. Don State Technical University. Russian Federation, 344003, Rostov-on-Don, Gagarin Square, 1.

El'shaeva, Diana M. Master student. E-mail: diana.elshaeva@yandex.ru. Don State Technical University. Russian Federation, 344003, Rostov-on-Don, Gagarin Square, 1.

Zherebtsov, Yuri V. Master student. E-mail: yuri.zherebtsov@gmail.com. Don State Technical University. Russian Federation, 344003, Rostov-on-Don, Gagarin Square, 1.

Dotsenko, Natal'ya A. Master student. E-mail: natalya_1998_dotsenko@mail.ru. Don State Technical University. Russian Federation, 344003, Rostov-on-Don, Gagarin Square, 1.

Kurbanov, Nadir S. Master student. E-mail: kurbanov_n98@mail.ru. Don State Technical University. Russian Federation, 344003, Rostov-on-Don, Gagarin Square, 1.

Efimov, Ivan I. Master student. E-mail: vanya_efimov_97@mail.ru. Don State Technical University. Russian Federation, 344003, Rostov-on-Don, Gagarin Square, 1.

Received 15.04.2021

Для цитирования:

Нажуев М.П., Самофалова М.С., Ельшаева Д.М., Жеребцов Ю.В., Доценко Н.А., Курбанов Н.С., Ефимов И.И. Влияние рецептурных факторов на прочностные характеристики базальтофибробетонов // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2021. № 7. С. 24–32. DOI: 10.34031/2071-7318-2021-6-7-24-32

For citation:

Nazhnev M.P., Samofalova M.S., El'shaeva D.M., Zherebtsov Yu.V., Dotsenko N.A., Kurbanov N.S., Efimov I.I. Influence of recipe factors on strengths characteristics of basalt fiber concrete. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2021. No. 7. Pp. 24–32. DOI: 10.34031/2071-7318-2021-6-7-24-32

DOI: 10.34031/2071-7318-2021-6-7-33-43

^{1,*}Загороднюк Л.Х., ¹Махортов Д.С., ¹Рыжих В.Д., ¹Сумской Д.А., ²Дайронас М.В.¹Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова²Северо-кавказский филиал Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова

*E-mail: LHZ47@mail.ru

РОЛЬ ГРАНУЛОМЕТРИИ СМЕШАННЫХ ВЯЖУЩИХ В ФОРМИРОВАНИИ ИХ МИКРОСТРУКТУРЫ И ПРОЧНОСТИ

Аннотация. При измельчении портландцемента и различных минеральных наполнителей образуется сложная система, состоящая из зерен различного размера с преобладанием высокодисперсной фазы. В работе проведены исследования влияния смешанных вяжущих, приготовленных на основе портландцемента и вулканического пепла при различных дозировках. Проведен анализ частиц вулканического пепла и установлено, что наличие мельчайших фракций в диапазоне от 0,3 до 0,07 мкм прогнозирует активное взаимодействие в системе и заполнение порового пространства продуктами гидратации. Установлено, что смешанные вяжущие, полученные механическим смешением (без помола) с содержанием 10 % вулканического пепла имеют прочность на 13 % выше бездобавочного цемента. Смешанные вяжущие, активированные помолом в вибрационной мельнице с содержанием вулканического пепла в количестве 10 % характеризуются повышением прочности при сжатии на 22 %, что позволяет экономить портландцемент до 10 %. Смешанные вяжущие с содержанием вулканического пепла в количестве 20 % соответствуют прочности бездобавочного цемента. Полученные результаты свидетельствуют об эффективности и целесообразности использования вулканического пепла в качестве минерального компонента смешанных вяжущих. Микроструктура образца цементного камня из активированного смешанного вяжущего обладает высокой однородностью, в сколе образца отчетливо видны плотные сросшиеся пластины вторичной гидросиликатной структуры, на поверхностях вторичных гидросиликатных структур формируются кристаллические продукты пуццолановых реакций между частицами пепла и продуктами гидратации цемента. Целью данной статьи явилось изучение роли гранулометрии смешанных вяжущих в формировании их микроструктуры и прочности.

Ключевые слова: смешанные вяжущие, вулканический пепел, гранулометрический состав, микроструктура, прочность цементного камня.

Введение. В строительной отрасли в последние годы появляются новые разновидности вяжущих, рекомендуемые для использования при изготовлении различных изделий и конструкций. Новые вяжущие обеспечивают строительным композитам специальные свойства, увеличивая их прочность и долговечность [1–14]. К таким вяжущим относятся смешанные вяжущие, получаемые на основе портландцементов и различных минеральных добавок. В качестве минеральных добавок используют добавки природного происхождения, а также вторичное сырье промышленного производства (шламы, шлаки, золы и др.) [15–20]. Особый интерес среди активных добавок представляют минеральные добавки вулканического происхождения, в частности, вулканический пепел, состоящий в основном из кремнезема и глинозема (70...90 %). По рентгенофазовому анализу он представляет собой смесь аморфизированного стекла (50...80 %) и некоторых силикатов и алюминатов, гидратов в кристаллическом состоянии. Активация цементных частиц в процессе измельчения с минеральным наполнителем является сложным многоступенчатым процессом изменения энергетического состояния

смеси в условиях помола [21–23]. Известно, что приготовление смешанных вяжущих в различных помольных установках позволяет получать вяжущие с различными физико-механическими и технологическими свойствами [24]. Это обусловлено образованием новых поверхностей с сопровождением процессов активации компонентов смеси, изменением структуры кристаллической решетки вещества, различной аморфизацией поверхностных слоев частиц, различными видами излучения, которыми сопровождается измельчение, изменение вида химических связей на поверхности и в глубинах вещества и других процессах [25]. Гранулометрический состав компонентов вяжущей смеси оказывает существенное влияние на механическую прочность затвердевшего цементного камня. Гранулометрия вяжущих, размолотых в различных мельницах характеризуется отличительными составами, оказывающими существенное влияние на реологические характеристики растворов и бетонов. Наиболее высокие физико-механические показатели имеют цементы, измельченные в вибромельницах [26–29], с увеличением времени активации активность вяжущих увеличивается.

Методология. Для проведения анализа распределения частиц материалов: портландцемента, вулканического пепла и полученных смешанных вяжущих применялся лазерный анализатор Analysette 22 Nano Тес plus. Исследование микроструктуры образцов проводилось с помощью сканирующего электронного микроскопа высокого разрешения TESCAN MIRA 3 LMU. Физико-механические свойства смешанных вяжущих определяли в соответствии с нормативными требованиями. На приборе ARL9900 методом рентгеновской флуоресценции определяли элементный состав проб, и методом рентгеновской дифракции – фазовый состав проб.

Основная часть. При получении смешанных вяжущих использовали портландцемент ЦЕМ I 42,5Н (ГОСТ 31108) ЗАО «Белгородский цемент» (таблица 1, таблица 2) и вулканический пепел Кенженского месторождения Кабардино-Балкарской Республики, химический состав приведен в таблице 3. Вулканический пепел имеет истинную плотность 2340 кг/м³, среднюю плотность 1650 кг/м³, пористость 30 %, водопоглощение по массе 16 %, коэффициент размягчения 0,72.

Минералогический состав (%) средней пробы вулканического пепла приведен на рис. 1.

Таблица 1

Химический состав портландцемента

Марка цемента	Химический состав, масс. %						
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	R ₂ O
ЦЕМ I 42,5Н ГОСТ 31108-2016	22,0±0,3	5,4±0,1	4,2±0,1	66,2±0,4	0,6±0,2	0,14±0,1	0,55±0,1

Таблица 2

Строительно-технические характеристики цемента

Наименование показателя	ЦЕМ I 42,5Н ГОСТ 31108-2016
Минералогический состав клинкера, масс. %	
C ₃ S	59,0±2,0
C ₂ S	18,8±2,0
C ₃ A	7,0±0,2
C ₄ AF	13,1±0,3
Удельная поверхность, м ² /кг	330±4
Нормальная густота цементного теста, %	25,5±0,3
Сроки схватывания, мин	
начало	130-170
конец	200-230
Средняя активность при пропаривании, МПа	39,5±1,1
Активность в двухсуточном возрасте, МПа	26

Таблица 3

Химический состав вулканического пепла

Химический состав, масс. %								
SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃ (общ.)	P ₂ O ₅	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	SO ₃ (общ.)
59,6±0,3	15,0±0,2	3,6±0,1	0,2±0,1	6,3±0,1	3,3±0,1	1,6±0,1	4,4±0,2	0,1±0,1

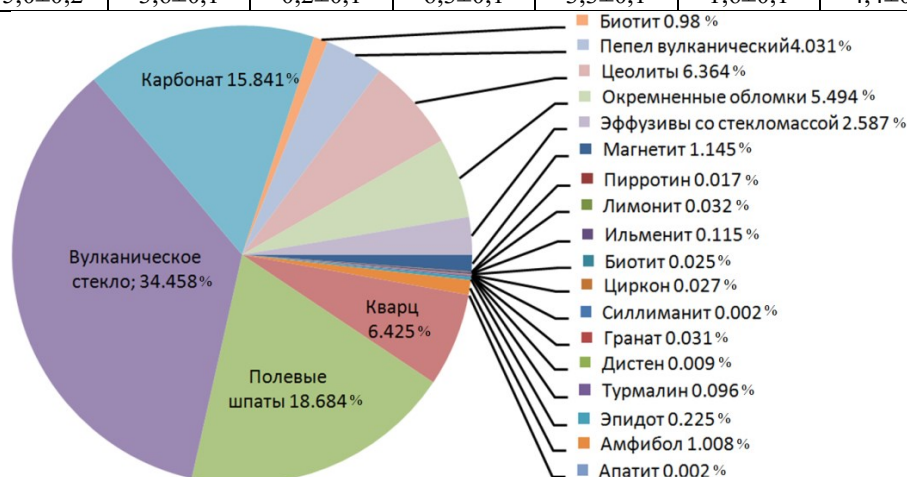


Рис. 1. Минералогический состав (%) вулканического пепла

Особенности морфологии и формы поверхности природного вулканического пепла обусловлены спецификой процессов его образования. Вулканический пепел характеризуется полидисперсным распределением частиц с изменением в диапазоне от 1 до 350 мкм. Зерна вул-

канического пепла, имея различную форму, характеризуются высокой развитой шероховатой поверхностью. Указанные свойства обеспечивают высокую размолоспособность вулканического пепла, а также дают определенные предпосылки для использования его в качестве активного минерального наполнителя в цементных системах.

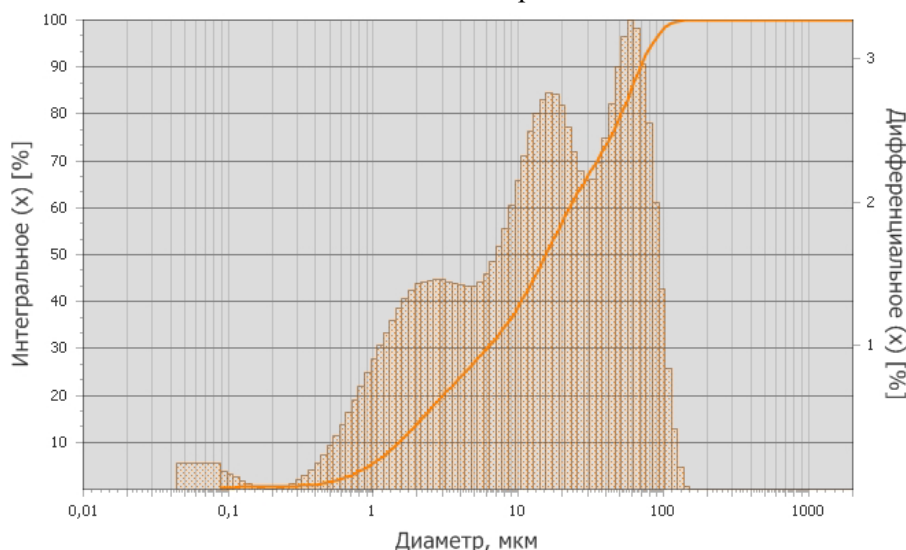


Рис. 2. Распределение частиц вулканического пепла по размерам

Анализ кривой распределения частиц вулканического пепла по размерам показывает, что в измельчаемой системе происходят сложные процессы, затормаживающие измельчение материала и влияющие на количественное изменение фракций в указанных диапазонах (рис. 2). Наличие мельчайших фракций в диапазоне от 0,3 до 0,07 мкм прогнозирует активное взаимодействие в системе и заполнение порового пространства продуктами гидратации.

Смешанные вяжущие с заданными свойствами получали в вибрационной мельнице ВМ-5. Использование этой мельницы позволило получить смешанные вяжущие с заданными свойствами.

Гранулометрический состав портландцемента и смешанных вяжущих, полученных при помоле в вибрационной мельнице при последующем механическом смешении приведен на рисунке 3.

Сравнение кривых гранулометрических составов портландцемента и полученных смешанных вяжущих показало, что кривая гранулометрии цемента размещается в обычном диапазоне размеров зерен от 1 мкм до 100 мкм, отмечается наибольшее содержание зерен фракции 30–60 мкм. Кривая гранулометрии портландцемента, активированного в вибрационной мельнице, значительно сдвигается влево, в область мелких фракций, что отчетливо видно на рисунке 3. Гранулометрический состав смешанных вяжущих

характеризуется значительным содержанием мелких зерен в диапазоне от 1 мкм до 100 мкм, площадь левой ветви кривой гранулометрии значительно возрастает, что указывает на присутствие большого количества зерен фракции 1–10 мкм. Следует отметить, что правая ветвь в диапазоне от 10 до 100 мкм значительно снижается.

Сравнительное исследование поведения исходных цементов и полученных смешанных вяжущих осуществлялось следующим образом. Готовили смеси составов 1-6 (без помола) и 1п-6п (с помолом, таблица 6) с добавлением вулканического пепла в количестве: 10, 20, 30, 40 и 50 %. Смеси 1-6 готовили без помола, при одинаковых условиях механического смешения, при этом средняя удельная поверхность смесей составляла 374 м²/кг. Составы 1п-6п загружали в вибрационную мельницу и подвергали помолу в течение 20 мин. В результате совместного помола и последующего смешения в вибрационной мельнице удельная поверхность смеси составляла в среднем 693 м²/кг. Разница в удельных поверхностях составов 1-6 и 1п-6п составляет двукратное увеличение, что не может отразиться на формировании структуры и повышении прочности цементного камня. Динамика изменения прочности смешанных вяжущих в зависимости от разной удельной поверхности отражена на рис. 4. Изменение нормальной плотности смешанных вяжущих разного состава в зависимости от различной удельной поверхности приведены на рис. 5.

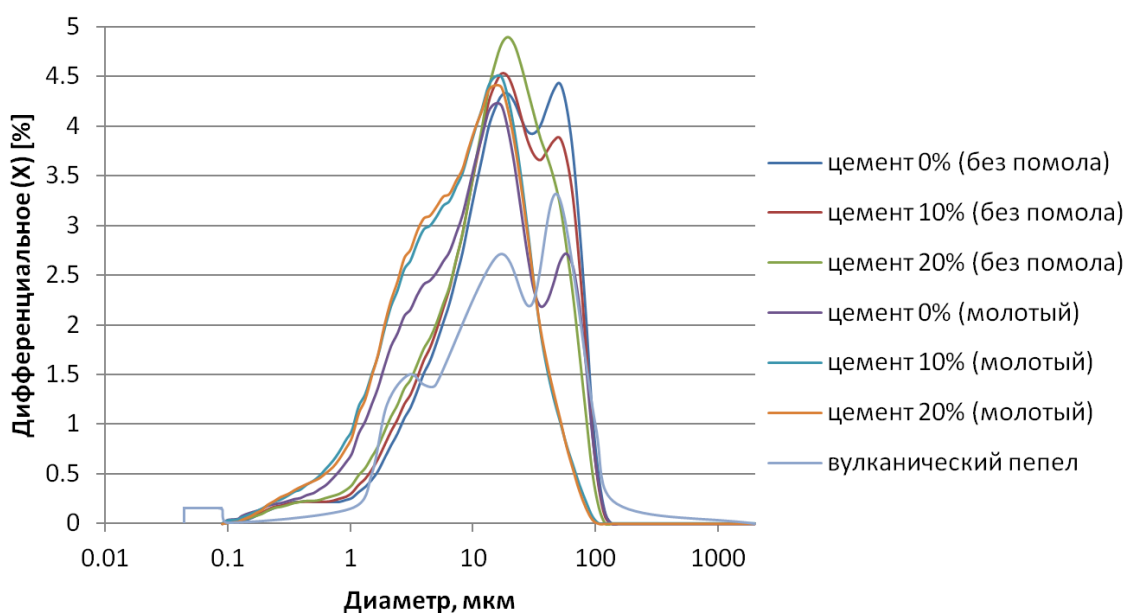
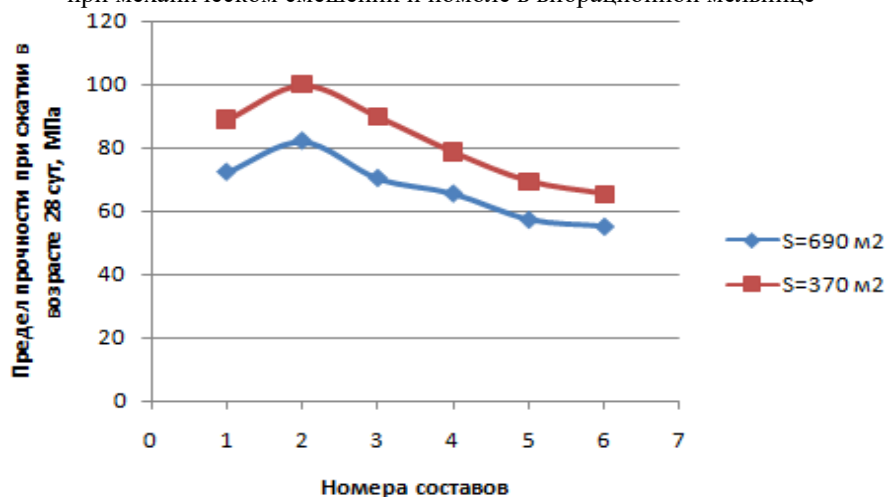
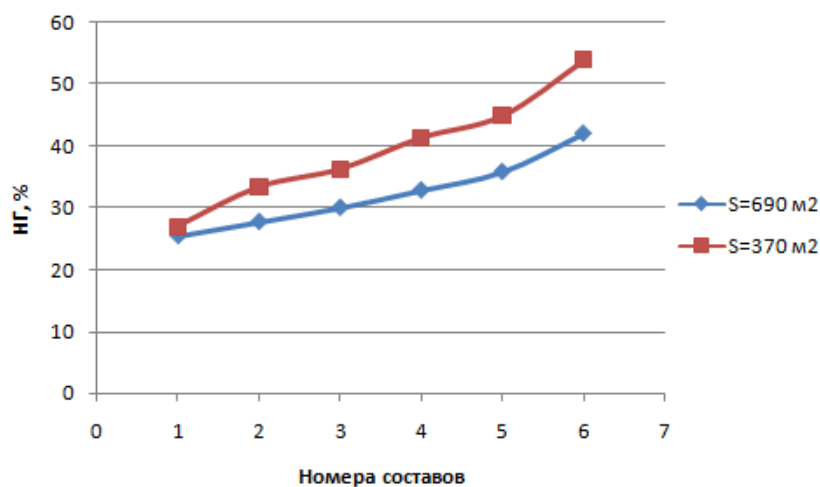


Рис. 3. Гранулометрический состав портландцемента и смешанных вяжущих, полученных при механическом смешении и помоле в вибрационной мельнице



Составы смешанных вяжущих: цемент–вулканический пепел, %
 1) 100; 2) 90:10; 3) 80:20; 4) 70:30; 5) 60:40; 6) 50:50

Рис. 4. Динамика изменения прочности смешанных вяжущих разного состава в зависимости от различной удельной поверхности



Составы смешанных вяжущих: цемент–вулканический пепел, %
 1) 100; 2) 90:10; 3) 80:20; 4) 70:30; 5) 60:40; 6) 50:50

Рис. 5. Изменение нормальной плотности смешанных вяжущих разного состава в зависимости от различной удельной поверхности

Установлено, что смешанные вяжущие, полученные механическим смешением (без помола) с содержанием 10 % вулканического пепла имеют прочность на 13 % выше бездобавочного цемента. Смешанные вяжущие, активированные помолем в вибрационной мельнице с содержанием вулканического пепла в количестве 10 % характеризуются повышением прочности при сжатии на 22 %, одновременно с этим эконо-

мится портландцемент до 10 %. Смешанные вяжущие с содержанием вулканического пепла в количестве 20 % соответствуют прочности бездобавочного цемента, позволяя экономить дорогостоящий портландцемент до 20 %.

Полученные результаты свидетельствуют об эффективности и целесообразности использования вулканического пепла в качестве минерального компонента смешанных вяжущих.

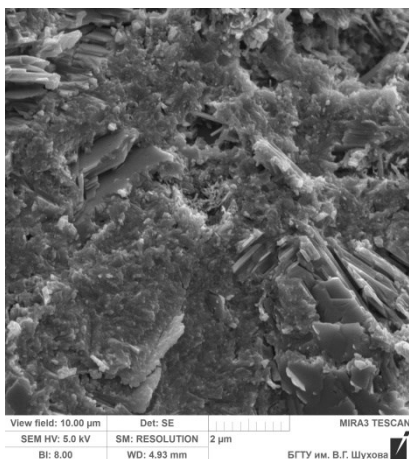


Рис. 6. Микроструктура портландцемента в возрасте 28 сут твердения

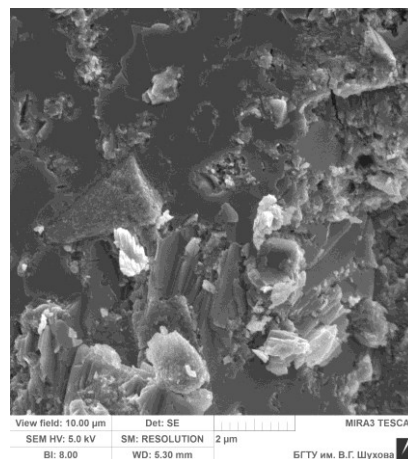


Рис. 7. Микроструктура активированного портландцемента в вибрационной мельнице в возрасте 28 сут твердения

Электронно-микроскопические исследования цементных камней на основе портландцемента и активированного портландцемента показывают, что мелкая фракция зерен портландцемента способствует формированию более плотной структурой (рис. 7), чем образец исходного цемента (рис.6). Микроструктура активированного портландцемента (рис. 7), имеет плотные участки вторичной гидросиликатной структуры

и отдельные участки рыхлой этtringитовой структуры.

Полученные данные подтверждают, что мелкая фракция зерен цемента способствует активному зарастанию объемной пористой структуры композита и формированию уплотняющейся структуры, что обеспечит повышение прочности цементного камня.

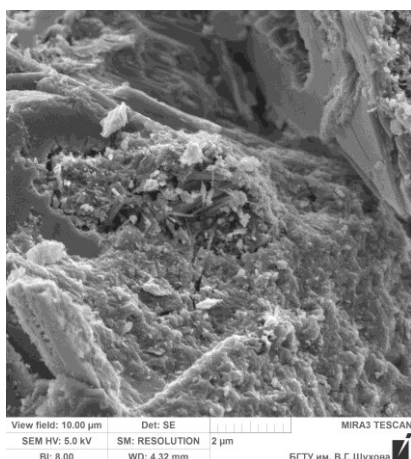


Рис. 8. Микроструктура цементного камня, полученного на неактивированной смеси из портландцемента и вулканического пепла с дозировкой 10 % в возрасте 28 сут твердения

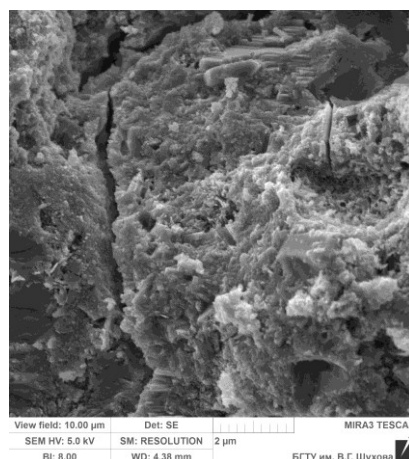


Рис. 9. Микроструктура цементного камня, полученного на активированной в вибрационной мельнице смеси портландцемента и вулканического пепла с дозировкой 10 % в возрасте 28 сут твердения

Сравнивая микроструктуры цементных камней, приготовленных на неактивированной смеси портландцемента с 10 %-ным содержанием вулканического пепла (рис. 8) и активированной такого же состава (рис. 9), следует отметить существенные различия. Так, микроструктура цементного камня из неактивированной смеси характеризуется неравномерной структурой, по всему объему образца отмечаются плотные участки вторичной гидросиликатной структуры и отдельные участки рыхлой структуры (рис. 8). Микроструктура образца цементного камня из активированного смешанного вяжущего характеризуется высокой однородностью структуры (рис. 9),

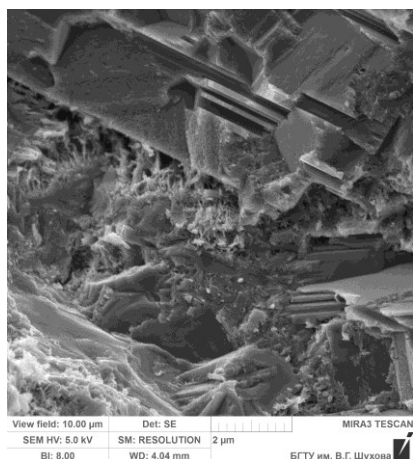


Рис. 10. Микроструктура цементного камня, полученного на неактивированной смеси из портландцемента и вулканического пепла с дозировкой 20 % в возрасте 28 сут твердения

Изучая микроструктуру цементных камней, отформованных из неактивированного (рис. 10) и активированного (рис. 11) смешанных вяжущих с 20 %-ным содержанием вулканического пепла, констатируем, что микроструктура неактивированной смеси имеет неравномерную структуру, по площади скола образца отмечаются разноориентированные плотные участки вторичной гидросиликатной структуры и отдельные слоистые участки рыхлой структуры (рис. 10).

Микроструктура образца цементного камня из активированного смешанного вяжущего обладает высокой однородностью (рис. 11), в сколе образца отчетливо видны плотные сросшимися пластины вторичной гидросиликатной структуры, на поверхностях вторичных гидросиликатных структур формируются кристаллические продукты пуццолановых реакций между частицами пепла и продуктами гидратации цемента.

По мере заполнения этого слоя между частицами пепла и продуктами гидратации цемента постепенно образуются прочные связи, что при-

площадь скола образца представлена плотными сросшимися пластинами вторичной гидросиликатной структуры, по поверхностям вторичных гидросиликатных структур формируются кристаллические продукты пуццолановых реакций между частицами пепла и продуктами гидратации цемента. Даже при слабой пуццолановой реакции водные прослойки заполняются ее продуктами, что способствует упрочнению связей между продуктами гидратации цемента и пеплом, а, значит, и нарастанию прочности цементного камня, особенно на растяжение.

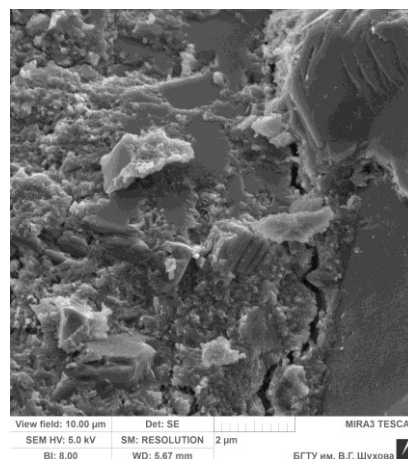


Рис. 11. Микроструктура цементного камня, полученного на активированной в вибрационной мельнице смеси портландцемента и вулканического пепла с дозировкой 20 % в возрасте 28 сут твердения

водит к возрастанию прочности, водонепроницаемости и долговечности. Молекулярные превращения осуществляются в реакционной зоне малой толщины, которая разделяет области, занятые веществами различных химических и минералогических составов (минералами портландцементного клинкера и минеральной добавкой, представленной вулканическим пеплом) и с различным гранулометрическим составом. Фронт реакции в дисперсной среде обусловлен химическими явлениями, локализованными на поверхности раздела дисперсной фазы и среды, т.е. реакционной поверхности раздела. Развитие этой поверхности характеризует кинетику гетерогенного процесса. Для активного протекания реакций необходимо, чтобы реагирующие частицы попадали в реакционную зону, что обеспечивается высокой дисперсией реакционных зон. Во всех случаях реакции твердения сопровождаются диффузией, которая происходит из объема жидкости по направлению высокодисперсного агента к реакционной поверхности и обратно при образовании частиц продуктов реакции. Таким

образом, продукты реакций в виде кристаллических зародышей новой фазы остаются непосредственно вблизи реакционной поверхности раздела, т.е. в объеме реакционной зоны, и образуют со временем пространственную структуру твердого тела. В итоге затвердевший цементный камень с активированным минеральным наполнителем включает множество фаз, таких как продукты гидратации, не прореагировавшие минералы портландцементного клинкера, жидкая фаза и адсорбированная вода и вода, содержащаяся в порах. Таким образом, присутствие в цементном камне минерального наполнителя – вулканического пепла обеспечивает длительный рост прочности, о чем свидетельствует тысячелетний опыт эксплуатации и долговечность древних римских бетонов.

Результаты физико-механических испытаний активированных цементов свидетельствуют о повышении прочности активированного цемента до 25 %, что обеспечивается высокой удельной поверхностью и созданием условий для активного протекания процессов гидратации в композите.

Выводы. Полученные результаты исследований свидетельствуют о влиянии и роли гранулометрического состава смешанных вяжущих, приготовленных на основе портландцемента и вулканического пепла в формировании их микроструктуры и прочности. При получении механическим смешением вяжущих (без помола) с содержанием 10 % вулканического пепла прочность образцов на 13 % выше прочности образцов на основе бездобавочного цемента. Активированные помолом в вибрационной мельнице образцы смешанных вяжущих, с содержанием вулканического пепла в количестве 10 % характеризуются повышением прочности при сжатии на 22 %, одновременно с этим экономится портландцемент до 10 %. Образцы смешанных вяжущих с содержанием вулканического пепла в количестве 20 % соответствуют прочности образцов бездобавочного цемента, позволяя экономить дорогостоящий портландцемент до 20 %. При этом микроструктура образца цементного камня из активированного смешанного вяжущего обладает высокой однородностью.

Источник финансирования. Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта №18-29-24113.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Несветайло В.М. Многофункциональные бетоны нового поколения // Технологии бетонов. 2018. № 11-12. С. 46–49.
2. Строителяева Е.А. Мелкозернистые бетоны с минеральными добавками // Проектирование развития региональной сети железных дорог. 2018. № 6. С. 58–62.
3. Хасимова А.С., Морозова Н.Н., Хозин В.Г. Литой бетон на основе композиционного гипсового вяжущего // Технологии бетонов. 2015. № 3-4. С. 23–25.
4. Загороднюк Л.Х., Лесовик В.С., Шамшу-ров А.В., Беликов Д.А. Композиционные вяжущие на основе органо-минерального модификатора для сухих ремонтных смесей // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2014. № 5. С.25–31.
5. Lesovik V.S., Zagorodnyuk L.H., Tolmacheva M.M., Smolikov A.A., Shekina A.Y., Shakarna M.H.I. Structure-formation of contact layers of composite materials // Life Science Journal. 2014. № 11. Pp. 948–953.
6. Kuprina A.A., Lesovik V.S., Zagorodnyuk L.H., Elistratkin M.Y. Anisotropy of Materials Properties of Natural and Man-Triggered Origin // Research Journal of Applied Sciences. 2014. №9. Pp. 816–819.
7. Volodchenko A.A., Lesovik V.S., Zagorodnyuk L.H., Volodchenko A.N., Kuprina A.A. The control of building composite structure formation through the use of multifunctional modifiers. Research journal of applied sciences. 2015. № 10. С. 931–936.
8. Volodchenko A.A., Lesovik V.S., Zagorodnyuk L.H., Volodchenko A.N. and Prasolova E.O. Influence Of The Inorganic Modifier Structure On Structural Composite Properties. International Journal of Applied Engineering Research. 2015. Т. 10. № 19. С. 40617–40622.
9. Попов А.Л., Строкова В.В. Фибропенобетон автоклавного твердения с использованием композиционного вяжущего // Строительные материалы. 2019. № 5. С. 38–44.
10. Елистраткин М.Ю., Минакова А.В., Джамиль А.Н., Куковицкий В.В., Эльян И.Ж.И. Композиционные вяжущие для отделочных составов // Строительные материалы и изделия. 2018. Т. 1. № 2. С. 37–44.
11. Чернышева Н.В., Шаталова С.В., Евсюкова А.С., Фишер Ханц-Бертрам. Особенности подбора рационального состава композиционного гипсового вяжущего // Строительные материалы и изделия. 2018. Т. 1. № 2. С. 45–52.
12. Строкова В.В., Жерновский И.В., Нелюбова В.В., Сумин А.В. Фазовые трансформации при гидратации модифицированного цементного камня // Труды Кольского научного центра РАН. 2017. Т. 8. № 5-1. С. 199–204.
13. Сумской Д.А. Теплоизоляционный раствор на основе композиционного вяжущего // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. 2018. Т. 80. №2. С. 283–289.

14. Капуста М.Н., Нецвет Д.Д., Дягель И.А., Любимов Д.Н. Повышение эффективности поризованных композитов на основе наноструктурированного вяжущего // Технологии бетонов. 2013. № 3. С. 32–33.

15. Барышников В.Г., Горелов А.М., Панков Г.И. Вторичные материальные ресурсы черной металлургии: справочник, Т. 2. Шлаки, шламы, отходы обогащения железных и марганцевых руд, отходы коксохимической промышленности, железный купорос, образование и использование. М.: Экономика, 1986. 344 с.

16. Рахимбаев Ш.М., Мосьпан В.И., Яшуркаева Л.И., Тарарин В.К. Кинетика помола компонентов портландцементной сырьевой смеси с использованием вторичных продуктов ГОКов КМА. // Современные проблемы строительного материаловедения: материалы седьмых академических чтений РААСН. Белгород, 2001. Ч. 1. С. 450–453.

17. Демьянова В.С., Калашников В.И., Борисов А.А. Об использовании дисперсных наполнителей в цементных системах // Жилищное строительство. 1999. № 1. С. 17–18.

18. Терликовский Е.В., Третник В.Ю. Использование механической активации для модифицирования неорганических материалов // Тезисы докладов V Всесоюзного семинара 8–10 сентября 1987 г. Таллин, 1987. С. 27–28.

19. Комохов П.Г., Шангина Н.Н. Модифицированный цементный бетон его структура и свойства // Цемент и его применение. 2002. №1. С. 43–46.

20. Рахимбаев Ш.М., Тарарин В.К., Каушанский В.Е., Панкратов В.Л., Шелудько В.П.,

Ежова С.Н., Мосьпан В.И. Производство цемента с использованием отходов железнорудных предприятий Курской магнитной аномалии // Цемент. 1987. № 8. С. 16–17

21. Дуда В. Цемент: Пер.с нем. Е.Ш. Фельдмана / Под ред. Б.Э. Юдовича. М.: Стройиздат, 1981. 464 с.

22. Богданов В.С., Севостьянов В.С., Платонов В.С. Трубные шаровые мельницы с внутренним рециклом // Цемент. 1989. №1. С.15.

23. Молчанов В.И., Селезнева О.Г., Активация измельчением // Докл. VII Всесоюз. симпозиума по механоэмиссии и механохимии твердых тел. Ташкент: Укитувчи, 1981. Т.2. С. 132–136.

24. Румпф Г. Об основных физических проблемах при измельчении // Труды Европ. совещ. по измельчению. М.: Стройиздат, 1966. С. 7–10.

25. Тезисы докладов VIII Всесоюзного симпозиума по механоэмиссии и механохимии твердых тел. Таллин, 1981. 197с.

26. Жан И.Ле. Влияние способа помола клинкера и вторичных составляющих на реакционную способность цемента и на реологию цемента // Труды 7 Междунар. конгр. По химии цемента. Париж, 1980. Т.2. С. 1–252.

27. Юдович Б.Э., Акунов В.И., Цуканов Н.В. Активация цемента при струйном измельчении // Цемент. 1989. №3. С.13–18.

28. Молчанов В.И., Селезнева О.Г., Жирнов Е.Н. Активация минералов при измельчении. М.: Недра, 1988. 208 с.

29. Патент №2381837 РФ, 11.03.2008. Гридчин А.М., Севостьянов В.С., Лесовик В.С., Уральский В.И., Уральский А.В., Сеница Е.В. Помольно-смесительный агрегат. 2010. Бюл. №5.

Информация об авторах

Загороднюк Лилия Хасановна, доктор технических наук, профессор кафедры строительного материаловедения, изделий и конструкций. E-mail: LHZ47@mail.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Махортов Денис Сергеевич, аспирант кафедры строительного материаловедения, изделий и конструкций. E-mail: denis.mahortov1995@yandex.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Рыжих Владислав Дмитриевич, аспирант кафедры строительного материаловедения, изделий и конструкций. E-mail: pr9nik2011@yandex.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Сумской Дмитрий Алексеевич, кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры строительного материаловедения, изделий и конструкций. E-mail: pr9nik2011@yandex.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Дайронас Марина Владимировна, кандидат технических наук, доцент кафедры Проектирование зданий городского строительства и хозяйство. E-mail: marishadok2mail.ru. Северо-кавказский филиал Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. Россия, 357202, г. Минеральные Воды, ул. Железноводская, д. 24

Поступила 07.04.2021 г.

© Загороднюк Л.Х., Махортов Д.С., Рыжих В.Д., Сумской Д.А., Дайронас М.В., 2021

^{1,*}Zagorodnyuk L.Kh., ¹Makhortov D.S., ¹Ryzhikh V.D., ¹Sumskoy D.A., ²Daironas M.V.¹Belgorod State Technological University. V.G. Shukhov²North Caucasus branch of the Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov

*E-mail: LHZ47@mail.ru

ROLE OF GRANULOMETRY OF MIXED BINDERS IN FORMATION OF THEIR MICROSTRUCTURE AND STRENGTH

Abstract. A complex system is formed when grinding Portland cement and various mineral fillers. It consists of grains of various sizes with a predominance of a highly dispersed phase. The work investigates the effect of mixed binders prepared on the basis of Portland cement and volcanic ash at various dosages. The analysis of volcanic ash particles is carried out. It is found that the presence of the smallest fractions in the range from 0.3 to 0.07 microns predicts active interaction in the system and the filling of the pore space with hydration products. It has been established that mixed binders obtained by mechanical mixing (without grinding) with a content of 10% volcanic ash have a strength 13 % higher than no addition cement. Mixed binders activated by milling in a vibration mill with a volcanic ash content of 10 % are characterized by an increase in compressive strength by 22%, which saves Portland cement by up to 10 %. Mixed binders with a volcanic ash content of 20% correspond to the strength of cement free. The results obtained indicate the effectiveness and feasibility of using volcanic ash as a mineral component of mixed binders. The microstructure of a cement stone sample from an activated mixed binder is highly homogeneous, dense intergrown plates of a secondary hydrosilicate structure are clearly visible in the sample cleavage, and crystalline products of pozzolanic reactions between ash particles and cement hydration products are formed on the surfaces of secondary hydrosilicate structures. The purpose of this article is to study the role of granulometry of mixed binders in the formation of their microstructure and strength.

Keywords: mixed binders, volcanic ash, particle size distribution, microstructure, cement stone strength.

REFERENCES

1. Nesvetilo V.M. Multifunctional concretes of a new generation [Mnogofunkcionalnie betoni novogo pokoleniya]. Concrete Technologies. 2018. № 11-12. Pp. 46–49. (rus)
2. Stroiteleva E.A. Fine-grained concretes with mineral additives [Melkozernistie betoni s mineralnimi dobavkami]. Designing the development of a regional railway network. 2018. No. 6. Pp. 58–62. (rus)
3. Khasimova A.S., Morozova N.N., Khozin V.G. Cast concrete on the basis of composite gypsum binder [Litoi beton na osnove kompozitsionnogo gipsovogo vyajushchego]. Concrete technologies. 2015. No. 3-4. Pp. 23–25. (rus)
4. Zagorodnyuk L.Kh., Lesovik V.S., Shamshurov A.V., Belikov D.A. Composite binders on the basis of organo-mineral modifier for dry repair mixtures [Kompozitsionnye vyajushchie na osnove organo_mineralnogo modifikatora dlya suhih remontnih smesei]. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2014. No. 5. Pp. 25–31. (rus)
5. Lesovik V.S., Zagorodnyuk L.H., Tolmacheva M.M., Smolikov A.A., Shekina A.Y., Shakarna M.H.I. Structure-formation of contact layers of composite materials. Life Science Journal. 2014. No. 11. Pp. 948–953.
6. Kuprina A.A., Lesovik V.S., Zagorodnyuk L.H., Elistratkin M.Y. Anisotropy of Materials and Natural Resources. Mans-Triggered Origin. Research Journal of Applied Sciences. 2014. No. 9. Pp. 816–819.
7. Volodchenko A.A., Lesovik V.S., Zagorodnyuk L.H., Volodchenko A.N. and Kuprina A.A. The use of multifunctional modifiers. Research journal of applied sciences. 2015. No. 10. Pp. 931–936.
8. Volodchenko A.A., Lesovik V.S., Zagorodnyuk L.H., Volodchenko A.N. and Prasolova E.O. Influence Of Inorganic Modifier Structural Composite Properties. International Journal of Applied Engineering Research. 2015. Vol. 10. No. 19. Pp. 40617–40622.
9. Popov A.L., Strokova V.V. Autoclaved fibrous foam concrete using a composite binder [Fibropenobeton avtoklavnogo tverdeniya s ispol'zovaniem kompozitsionnogo vyazhushchego] Building Materials. 2019. No. 5. Pp. 38–44. (rus)
10. Elistratkin M.Yu., Minakova A.V., Jamil A.N., Kukovitsky V.V., Elyan I.Zh.I. Composite binders for finishing compounds [Kompozitsionnye vyazhushchie dlya otdelochnykh sostavov]. Building materials and products. 2018. Vol. 1. No. 2. Pp. 37–44. (rus)
11. Chernysheva N.V., Shatalova S.V., Evsyukova A.S., Fisher H.-B. Features of the selection of the rational composition of the composite gypsum binder [Osobennosti podbora ratsional'nogo sostava kompozitsionnogo gipsovogo vyazhushchego] Building materials and products. 2018. Vol. 1. No. 2. Pp. 45–52. (rus)
12. Strokova V.V., Zhernovsky I.V., Nelyubova V.V., Sumin A.V. Phase transformations during hydration of modified cement stone [Fazovye transformatsii]

matsii pri gidratatsii modifitsirovannogo tsementnogo kamnya]. Transactions of the Kola Science Center of the Russian Academy of Sciences. 2017. V. 8. No. 5-1. Pp. 199–204. (rus)

13. Sumskoy D.A. Thermal insulation solution based on a composite binder [Teploizolyatsionnyy rastvor na osnove kompozitsionnogo vyazhushchego]. Bulletin of the Voronezh State University of Engineering Technologies. 2018. V. 80. No. 2. Pp. 283–289. (rus)

14. Cabbage M.N., Netsvet D.D., Diagel I.A., Lyubimov D.N. Improving the efficiency of porous composites based on nanostructured binder [Povyshenie effektivnosti porizovannykh kompozitov na osnove nanostrukturirovannogo vyazhushchego]. Concrete Technologies. 2013. No. 3. Pp. 32–33. (rus)

15. Baryshnikov V.G., Gorelov A.M., Pankov G.I. Secondary material resources of ferrous metallurgy: a handbook, T. 2. Slag, sludge, waste iron and manganese ores, waste from the coking industry, iron sulphate, formation and use [Vtorichnie materialnie resursy chernoi metallurgii spravochnik T. 2. Shlaki shlami othodi obogascheniya jeleznykh i margancevnykh rud othodi koksohimicheskoi promishlennosti jeleznoi kuporos obrazovanie i ispolzovanie]. M.: Economics, 1986. 344 p. (rus)

16. Rakhimbaev Sh.M., Mospan V.I., Yashurkaeva L.I., Tararin V.K. Kinetics of grinding the components of the Portland cement raw mix using secondary products from mining enterprises of the KMA [Kinetika pomola komponentov portlandcementnoi sirevoi smesi s ispolzovaniem vtorichnykh produktov GOKov KMA] Modern problems of building materials science: materials of the seventh academic readings of the RAACS. Belgorod, 2001. Part 1. Pp. 450–453. (rus)

17. Demyanova V.S., Kalashnikov V.I., Borisov A.A. On the use of dispersed fillers in cement systems [Ob ispolzovanii dispersnykh napolnitelei v cementnykh sistemakh]. Housing construction. 1999. No. 1. Pp. 17–18. (rus)

18. Terlikovsky E.V., Tretnik V.Yu. The use of mechanical activation for modifying inorganic materials [Isolzovanie mehanicheskoi aktivatsii dlya modifitsirovaniya neorganicheskikh materialov]. Abstracts of the V All-Union Seminar of September 8–10, 1987. Tallinn. 1987. Pp. 27–28. (rus)

19. Komokhov P.G., Shangina N.N. Modified cement concrete its structure and properties [Modifitsirovannii cementnii beton ego struktura i svoystva].

Cement and its application. 2002. No. 1. Pp. 43–46. (rus)

20. Rakhimbaev Sh.M., Tararin V.K., Kaushansky V.E., Pankratov V.L., Sheludko V.P., Ezhova S.N., Mospan V.I. Cement production using waste iron enterprises of the Kursk Magnetic Anomaly [Proizvodstvo tsementa s ispolzovaniem othodov jeleznorudnykh predpriyatiy Kurskoi magnitnoi anomalii]. Cement. 1987. No. 8. Pp. 16–17. (rus)

21. Duda V. Cement: Translated from German E.Sh. Feldman [Tsement: Per.s nem. E.Sh. Fel'dmana]. Ed. B.E. Yudovich. M.: Stroyizdat, 1981. 464 p. (rus)

22. Bogdanov V.S., Sevostyanov V.S., Platonov V.S. Tube ball mills with internal recycle [Trubnye sharovye mel'nitsy s vnutrennim retsiklom]. Cement. 1989. No. 1. Pp. 15. (rus)

23. Molchanov V.I., Selezneva O.G., Activation by grinding [Aktivatsiya izmel'cheniem] Dokl. VII All-Union. Symposium on Mechanoemission and Mechanochemistry of Solids. Tashkent: Ukituvchi, 1981. Vol. 2. Pp. 132–136. (rus)

24. Rumpf G. On the main physical problems in grinding [Ob osnovnykh fizicheskikh problemakh pri izmel'chenii]. Proceedings of Europe. meeting. for grinding. M.: Stroyizdat, 1966. Pp. 7–10.

25. Abstracts of the VIII All-Union Symposium on Mechanoemission and Mechanochemistry of Solids [Tezisy dokladov VIII Vsesoyuznogo simpoziuma po mekhanoemissii i mekhanokhimii tverdykh tel]. Tallinn, 1981. 197 p. (rus)

26. Jean I.Le. Influence of the method of grinding clinker and secondary components on the reactivity of cement and on the rheology of cement [Vliyaniye sposoba pomola klinkera i vtorichnykh sostavlyayushchikh na reaktsionnuyu sposobnost' tsementa i na reologiyu tsementa]. Proceedings of the 7th Intern. Congr. On the chemistry of cement. Paris, 1980. Vol. 2. Pp. 1–252.

27. Yudovich B.E., Akunov V.I., Tsukanov N.V. Activation of cement during jet grinding [Aktivatsiya tsementa pri struynom izmel'chenii]. Cement. 1989. No. 3. Pp. 13–18. (rus)

28. Molchanov V.I., Selezneva O.G., Zhirnov E.N. Activation of minerals during grinding [Aktivatsiya mineralov pri izmel'chenii]. M.: Nedra, 1988. 208 p. (rus)

29. Patent No. 2381837 RF, 11.03.2008. Gridchin A.M., Sevostyanov V.S., Lesovik V.S., Uralsky V.I., Uralsky A.V., Sinitsa E.V. Grinding and mixing unit. 2010. No. 5.

Information about the authors

Zagorodnyuk, Lilia K. DSc, Professor. E-mail: LHZ47@mail.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Makhortov, Denis S. Postgraduate student. E-mail: denis.mahortov1995@yandex.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Ryzhikh, Vladislav D. Postgraduate student. E-mail: pr9nik2011@yandex.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Sumskoy, Dmitry A. PhD. E-mail: pr9nik2011@yandex.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Daironas, Marina V. PhD., associate Professor. E-mail: marishadok2mail.ru. North Caucasus branch of the Belgorod State Technological University named after V. G. Shukhov. Russia, Mineralnye Vody, st. Zheleznovodskaya, 24

Received 07.04.2021

Для цитирования:

Загороднюк Л.Х., Махортов Д.С., Рыжих В.Д., Сумской Д.А., Дайронас М.В. Роль гранулометрии смешанных вяжущих в формировании их микроструктуры и прочности // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2021. № 7. С. 33–43. DOI: 10.34031/2071-7318-2021-6-7-33-43

For citation:

Zagorodnyuk L.Kh., Makhortov D.S., Ryzhikh V.D., Sumskoy D.A., Daironas M.V. Role of granulometry of mixed binders in formation of their microstructure and strength. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2021. No. 7. Pp. 33–43. DOI: 10.34031/2071-7318-2021-6-7-33-43

DOI: 10.34031/2071-7318-2021-6-7-44-50

*Абакумов Р.Г., Аль-Сабееи А.К.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

*E-mail: Abakumov.RG@bstu.ru

ОЦЕНКА УРОВНЯ НАДЕЖНОСТИ ВАРИАНТОВ УСИЛЕНИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ВЕРОЯТНОСТИ ИХ БЕЗОТКАЗНОЙ РАБОТЫ

Аннотация. Статья посвящена вопросам оценки уровня надежности вариантов усиления строительных металлоконструкций с использованием математических моделей вероятности их безотказной работы. Актуальность данного исследования определяется возрастающими требованиями к конструктивной безопасности строительных металлоконструкций, необходимостью применения обоснованных математических расчетов подтверждающих их работоспособность и безопасность с учетом различных вариантов усиления. Содержание статьи основано на платформе теоретического базиса проектирования усиления металлических конструкций и предопределено последующим синтезом инновационных решений в оценке уровня надежности строительных конструкций с учетом использования математического моделирования вероятности безотказности работы. В статье представлен анализ проблемных точек применения вероятностного метода расчета уровня надежности строительных металлоконструкций, что позволило оценить соответствие действующих нагрузок нормативным значениям и гарантировать надежную работу строительных металлических конструкций. Выделены характеристики, влияющие на оценку уровня надежности вариантов усиления строительных металлоконструкций при использовании математического моделирования. Представлен критический обзор вариантов усиления с позиции применения математических моделей вероятности работы металлической конструкции. Акцентируется внимание на построение оптимизационной математической модели несущей способности металлической конструкции с использованием теории вероятности, ряда Грамма-Шарлье, закона Гумбеля, закона Вейбулла. Описан пример усиления несущей фермы с применением математической модели оценки уровня надежности металлической конструкции. Предлагаемый вариант позволит повысить безопасность, несущую способность конструкции с обеспечением восприятия максимальной возможной нагрузки и при этом одновременно позволит снизить стоимость данного вида конструкций в строительстве.

Ключевые слова: оценка уровня надежности, усиление строительных металлоконструкций, математическая модель вероятности, безотказная работа, конструктивная безопасность.

Введение. В связи с быстрым развитием строительной отрасли и ростом числа зданий из металлоконструкций, требования к безопасности и безотказности работы возрастает. Для повышения качества строительства необходимо, чтобы строительные подразделения и проектировщики, строители уделяли внимание научным исследованиям и рационально применяли математический аппарат при обосновании уровня надежности строительной конструкции. Поэтому процессы проектирования и строительства из металлоконструкций должны быть максимально обоснованными, чтобы обеспечить соответствие требованиям строительных нагрузок, а также обеспечить безопасность и стабильность строительных конструкций.

В последние годы число обрушений зданий из металлоконструкций увеличивается. Статистические данные указывают, что большинство аварий происходят из-за критических нагрузок, которые не были учтены при проектировании. При этом тяжесть последствий аварии зависит от степени ответственности конструкции и допу-

щенных просчетах при проектировании и строительстве. Высокая степень обрушения несущих металлических конструкций в возросшем числе строительных аварий доказывает, что актуальной проблемой современного строительства является обеспечение конструктивной безопасности строящегося объекта с использованием вероятностных математических моделей.

Методология. Основной целью статьи является раскрытие и обоснование особенностей метода оценки уровня надежности вариантов усиления строительных металлоконструкций с использованием математической модели вероятности их безотказной работы (на примере усиления фермы).

Для оценки уровня надежности вариантов усиления строительных металлоконструкций с использованием математической модели вероятности их безотказной работы необходимо использовать традиционный математический аппарат в совокупности с инновационными технологиями в строительной деятельности. Инновационные технологии представляют собой синтез теоретической базы, передовых технологий в

сфере программирования и проектирования, усовершенствованных методов и технологий строительства. Рассмотрение проблем, с которыми сталкиваются проектировщики и строители, позволит отразить состояние инновационных направлений оценки уровня надежности и безотказности вариантов усиления строительных металлоконструкций с использованием математических моделей.

Надежность – это свойство системы и ее элементов выполнять заданные функции в течение заданного интервала времени. Безотказность – это вероятность безотказной работы за какой-либо промежуток времени. Математическая модель – это эталон массового производства, она позволяет получить математическое представление о реальной конструкции. Для обеспечения надежности строительных металлоконструкций необходимо производить расчет конструкции на безопасность. Это позволит снизить стоимость и оптимально использовать несущую способность строительной конструкции с обеспечением восприятия максимальной нагрузки [1, 3, 7].

Оценка уровня надежности вариантов усиления строительных металлоконструкций с использованием математической модели вероятности их безотказной работы производится с помощью следующих групп параметров – параметров прочности и параметров нагрузки. Что позволит рассчитать область допустимых состояний и их границу, а также вероятность отказа и вероятность неразрушимости. Большинство отказов в эксплуатации носит смешанный характер.

Если уровень надежности варианта усиления будет выше необходимого, то повысится расход материала и общая стоимость такой конструкции. При расчетах усиления строительных металлоконструкций встречаются противоречия между габаритами соединений для обеспечения надежности и долговечности при экономичности конструкции.

Основная часть. Расчеты по математической модели вероятности безотказной работы выполняются с использованием специальных формул по методам предельных состояний (нормам) или вероятностным методам. Вероятностный метод позволяет рассчитать вариант усиления с меньшими материальными затратами и обеспечить нужный уровень надежности при этом учитывает воздействие случайных факторов, которые воздействуют на строительные металлоконструкции. Уровень надежности в таком случае оценивается с помощью коэффициентов норм проектирования с учетом изменчивости внешних воздействий и прочности материалов.

Расчеты с использованием математической модели вероятности безотказной работы вариантов усиления строительных металлоконструкций позволят сократить количество ошибок, которые накапливаются и приводят к негативным последствиям. А также выбрать вариант усиления строительных металлоконструкций с требуемым уровнем надежности [2, 3].

Существует несколько вариантов усиления строительных металлоконструкций – усиление ферм, усиление балок, усиление сжатых стоек, усиление соединений или комбинированный способ. Каждый вариант усиления может быть выполнен с разными уровнями надежности, это обосновано выбором материала, площади сечения, способа крепления и др. Все эти параметры влияют на конечный результат и необходимо учитывать их взаимное влияние и взаимосвязь.

Любая строительная металлоконструкция проходит фазы проектирования, производства и эксплуатации. Этап проектирования важен, так как на нем закладываются основы надежности. На этапе проектирования нужно выделить существенные элементы, влияющие на надежность металлоконструкции и выявить тенденции их изменения при эксплуатации.

При использовании математической модели нужно проверять ее экстраполяционную возможность за пределами базового интервала времени и с учетом воздействия разных температур, нагрузжений, коррозионных сред и др. Математическая модель позволит по нужному уровню надежности подобрать допустимые характеристики элементов металлоконструкции.

Показатели надежности вариантов усиления строительных металлоконструкций с использованием математической модели вероятности их безотказной работы должен определяться двумя характеристиками: временной T (календарным временем) и вероятностью $P(T)$, с которой эта временная характеристика должна быть обеспечена [4, 6].

Методы расчета индекса надежности, которые используются в современной практике, сложны и требуют наличия статистической информации, которая, чаще всего, отсутствует или недостаточна.

По формуле расчета конструкции на безопасность:

$$S = R - F,$$

где R – обобщенная прочность конструкции; F – обобщенная нагрузка; S – резерв прочности.

На примере усиления несущей фермы покрытия здания, рассмотрим применение математической модели оценки уровня надежности. После расчета необходимо сопоставить с нормати-

вами и задать требуемый коэффициент надежности для строительных металлоконструкций, в зависимости от степени ответственности сооружения (коэффициент надежности может быть пониженный = 0,8; нормальный = 1 и повышенный = 1,1).

По формуле индекса надежности определяется уровень безопасности конструкции. R , F – математические ожидания, $\sigma^2 R - \sigma^2 F$ – дисперсии. Индекс надежности связан с вероятностью отказа P ($S < 0$).

$$\beta = \frac{S}{\sigma_s} = \frac{R-F}{\sqrt{\sigma^2 R - \sigma^2 F}}. \quad (1)$$

Для нагрузок, таких как постоянная, полезная, снеговая и ветровая, рассчитываются центральные статистические моменты. Затем рассчитывается закон распределения суммарной обобщенной нагрузки с помощью ряда Грамма-Шарлье и определяется, является ли распределение нормальным. На рис. 1 представлена геометрическая схема работы фермы.

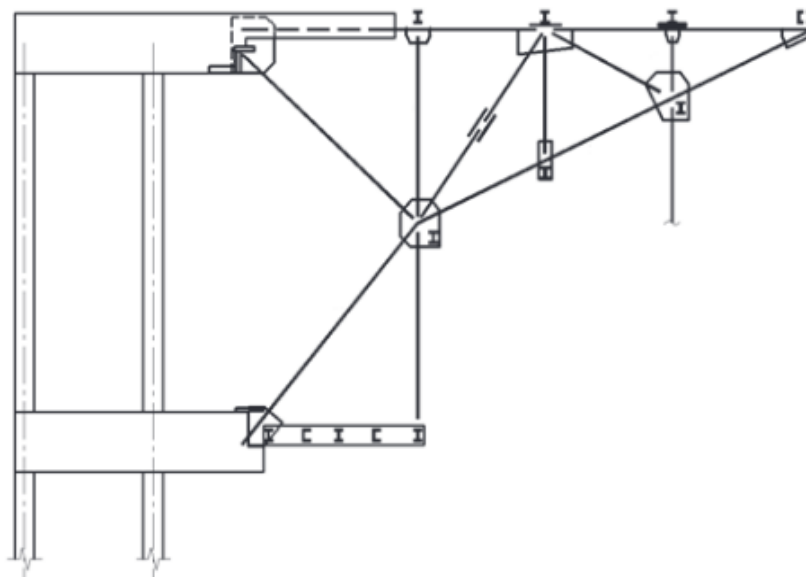


Рис. 1. Геометрическая схема фермы

Для расчета постоянной нагрузки использовался закон нормального распределения. Вычислим математическое ожидание и стандарт постоянной нагрузки: $m_n = 0,674$ кН/м, $D_n = 8,179 \cdot 10^{-4}$ кН²/м², $\sigma_n = 0,029$ кН/м. Для линейных элементов нагрузка на единицу длины $g = p \cdot A$; $p = 78,5$ кН/м³; $f_p = 0,03$.

Для расчета полезной нагрузки вычислим математическое ожидание и дисперсию полезной нагрузки: $m_l = 13,06$ кН/м², $D_l = 6,82$ Н²/м⁴, $\sigma_l = 2,62$ кН/м².

По закону Гумбеля рассчитаем ежегодные максимумы снеговой нагрузки. Норматив веса снегового покрова на 1 м² = 1,0 кПа. Коэффициент вариации $f_g = 0,4$. Математическое ожидание годовых максимумов снега $m_g = 0,604$ кН/м², дисперсия – $D_g = 0,058$ кН²/м⁴, стандарт $\sigma_g = 0,242$ кН/м².

Параметры закона Гримальди

$$a_s = \frac{1,28255}{\sigma_g} = 5,309; m_g = - \frac{0,577216}{a_s} = 0,495.$$

Для расчета ветровой нагрузки используем закон Вейбулла. Нормативное значение ветрового давления $w_0 = 0,38$ кН/м². Коэффициент вариации $f_v = 0,37$. Математическое ожидание максимумов ветровой нагрузки $m_v = 0,236$ кН/м²,

дисперсия – $D_v = 7,62 \cdot 10^{-3}$ кН²/м⁴, стандарт $\sigma_v = 0,087$ кН/м². Параметры Вейбулла $\alpha = 0,265$; $\beta = 2,941$, (рис. 2).

Диаграмма статистических моментов нагрузок на ферму показывает математическое ожидание и дисперсию по всем видам нагрузок.

При проектировании строительных металлоконструкций нужно также учитывать условия эксплуатации, влияние окружающей среды, свойства материалов и деградацию их свойств. Расчетный срок службы строительной металлоконструкции должен соответствовать рекомендуемому (например, для временных сооружений – 10 лет, для сооружений в условиях агрессивных сред – не менее 25 лет и др.) [2, 6].

Согласно нормативам, нагрузка на данную конструкцию для обеспечения безотказной работы не должна превышать 15,2 кН/м², коэффициент вариации = 0,1. Таким образом, суммарная нагрузка на несущую ферму не превышает нормативных значений и конструкция является надежной.

Для данной металлоконструкции рекомендуется применять строительную сталь повышенной прочности, например, марки С345 (12Г2С) или С390 (14Г2АФ).

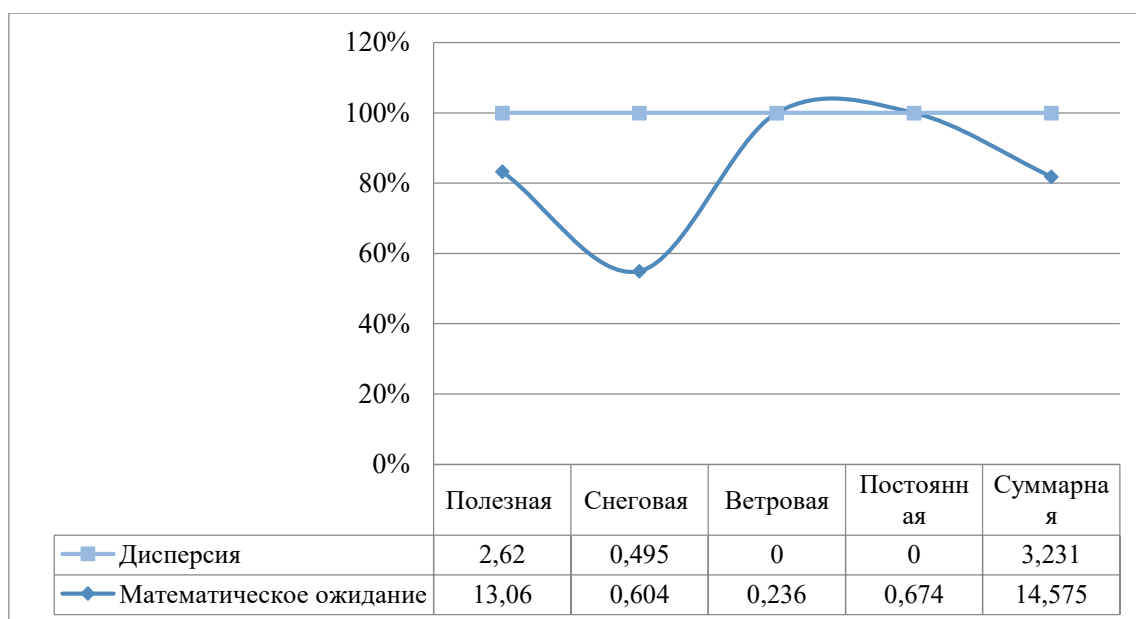


Рис. 2. Диаграмма статистических моментов нагрузок на ферму

Безотказность работы строительных металлоконструкций должна быть обеспечена на протяжении всего срока службы и она закладывается на этапе проектирования. По истечению срока службы строительных металлоконструкций учащаются случаи ремонтов, для проведения которых нужно оценивать остаточный срок службы металлоконструкции и выполнять усиление после выбора оптимального варианта усиления.

При проектировании строительных металлоконструкций нужно обеспечить уровень безопасности исключающий возникновение отказов, которые связаны с угрозой жизни и здоровья людей, экономическим и моральным ущербом, опасности для окружающей среды.

Нами было рассмотрено применение метода на примере фермы. По аналогичной последовательности метод может быть применен для колонн и балок. Нами планируется разработка особенностей применения данного метода с целью усиления узлов металлоконструкций в дальнейших исследованиях. Приведенные результаты позволят внести вклад в прочность и деформативность усиленных металлоконструкций.

Выводы. Оптимальный вариант усиления строительных металлоконструкций должен быть с требуемым уровнем надежности и, при этом, экономичным. Существуют разные варианты усиления металлоконструкций, их выбор обоснован целью и задачами усиления. Превышение уровня надежности дает перерасход материала и удорожание конструкции, а низкий уровень надежности приводит к быстрому износу и аварийным ситуациям. Оценка уровня надежности вариантов усиления строительных металлоконструкций с использованием математической мо-

дели вероятности их безотказной работы позволит принимать решения о выборе оптимального варианта усиления.

По формуле расчета строительных металлоконструкций на безопасность рассчитывается уровень надежности, который связан с вероятностью отказа. Затем рассчитывается закон распределения суммарной обобщенной нагрузки с помощью сведения постоянной, временной длительной, снеговой и ветровой нагрузок к суммарной обобщенной нагрузке. На примере усиления несущей фермы покрытия здания, рассмотрели применение математической модели оценки уровня надежности. Для расчета постоянной нагрузки использовался нормальный закон распределения. Вычислено математическое ожидание и стандарт постоянной нагрузки: $m_n = 0,674$ кН/м, $D_n = 8,179 \cdot 10^{-4}$ кН²/м², $\sigma_n = 0,029$ кН/м. Для линейных элементов нагрузка на единицу длины $g = r \cdot A$; $r = 78,5$ кН/м³; $f_r = 0,03$. Для расчета полезной нагрузки вычислено: $m_l = 13,06$ кН/м², $D_l = 6,82$ Н²/м⁴, $\sigma_l = 2,62$ кН/м². По закону Гумбеля рассчитан ежегодный максимум снеговой нагрузки. Норматив веса снегового покрова на 1 м² = 1,0 кПа. Коэффициент вариации $f_g = 0,4$. Математическое ожидание годовых максимумов снега $m_g = 0,604$ кН/м², дисперсия – $D_g = 0,058$ кН²/м⁴, стандарт $\sigma_g = 0,242$ кН/м². Для расчета ветровой нагрузки использован закон Вейбулла. Нормативное значение ветрового давления $w_0 = 0,38$ кН/м². Коэффициент вариации $f_v = 0,37$. Математическое ожидание максимумов ветровой нагрузки $m_v = 0,236$ кН/м², дисперсия – $D_v = 7,62 \cdot 10^{-3}$ кН²/м⁴, стандарт $\sigma_v = 0,087$ кН/м². Параметры Вейбулла $\alpha = 0,265$; $\beta = 2,941$. Суммарная нагрузка, математическое ожидание = 14,575

кН/м², дисперсия 3,231 кН/м². Согласно нормативам нагрузка на данную конструкцию для обеспечения безотказной работы не должна превышать 15,2 кН/м², коэффициент вариации = 0,1. Таким образом, суммарная нагрузка на несущую ферму не превышает нормативных значений и конструкция является надежной.

При проектировании важно учитывать условия эксплуатации, влияние окружающей среды, свойства материалов и деградацию их свойств и рекомендуемый срок службы, в зависимости от назначения сооружения. Должен быть обеспечен контроль на каждом этапе (проектировании, изготовлении конструкций, возведения, эксплуатации и ремонта); при нормальном и повышенном уровне надежности металлоконструкции контроль должен быть независимым, при пониженном – достаточно самопроверки для разработчиков проекта.

Важно соблюдать требования и нормативы при выполнении строительных работ с металлоконструкциями на всех этапах. При соединении марок металла не подменять их более дешевыми без специальных предварительных расчетов. Несоблюдение данных требований приводит к обрушению зданий и иным опасным последствиям.

Описанный метод оценки надежности с применением статистических методов связан с усилением металлоконструкций и позволит на этапе проектирования выбрать оптимальный вариант усиления. Метод оценки, по нашему мнению, является универсальным и может быть применен для колонн и балок. Особенности работы по усилению металлоконструкций на примерах различных способов усиления изучаются нами в настоящее время и в дальнейшем результаты будут отражены в публикациях.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Abakumov R.G., Avilova I.P., Ursu I.V., Kapustina E.O. Methodical Toolkit of Managing Reproduction of the Fixed Assets of an Organization //

The Social Sciences. 2015. Vol. 10 (6). P. 1449–1455.

2. Abakumov R.G., Naumov A.E. Building information model: advantages, tools and adoption efficiency // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2017. Vol. 11 (6). P. 22001.

3. Калинин А.А. Обследование, расчет и усиление зданий и сооружений. М.: Изд-во АСВ, 2004. 160 с.

4. Колесников В.Д. Методы усиления металлических конструкций уменьшением расчетной длины сжатых элементов // Молодой ученый. 2020. № 21 (311). С. 503–510.

5. Пичугин С.Ф. Надежность стальных конструкций производственных зданий. М.: Изд-во Ассоциации строительных вузов, 2011. 455 с.

6. Пшеничкина В.А., Строк С.И., Пшеничкина В.А., Дроздов В.В. Анализ влияния жесткости грунтового основания на частоты и формы колебаний сооружений // Строительство и архитектура. 2018. Т. 6. № 2. С. 13–21.

7. Пшеничкина В.А., Глухов А.В., Глухова С.Г. Моделирование вероятностных параметров нагрузок в задачах оценки безопасности и ресурса зданий и сооружений // Строитель Донбасса. 2019. С. 58–63.

8. Ржаницын А.Р. Теория расчета строительных конструкций на надежность. М.: Стройиздат, 1978. 239 с.

9. Шпете Г. Надежность несущих строительных конструкций. М.: Стройиздат, 1994. 288 с.

10. Абакумов Р.Г. Совершенствование механизмов привлечения покупателей на рынке жилой недвижимости // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Экономика. Социология. Менеджмент. 2019. Т. 9. №3. (32). С. 127–135.

11. Абакумов Р.Г., Наумов А.Е., Зобова А.Г. Преимущества, инструменты и эффективность внедрения технологий информационного моделирования в строительстве // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2017. №5. С. 171–181.

Информация об авторах

Абакумов Роман Григорьевич, кандидат экономических наук, доцент кафедры экспертизы и управления недвижимостью. E-mail: Abakumov.RG@bstu.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, г. Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Аль-Сабаеи Арафат Касем, аспирант кафедры строительства и городского хозяйства. E-mail: infobelinvest@mail.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Поступила 12.04.2021 г.

© Абакумов Р.Г., Аль-Сабаеи А.К., 2021

*Abakumov R.G., Al-Sabaei A.K.

Belgorod State Technological University. V.G. Shukhov

*E-mail: Abakumov.RG@bstu.ru

ASSESSMENT OF THE RELIABILITY LEVEL OF STRENGTHENING OPTIONS FOR BUILDING STEEL STRUCTURES USING THE MATHEMATICAL MODEL OF THEIR UNINTERRUPTED OPERATION

Abstract. The article is devoted to the issues of assessing the level of reliability of options for strengthening building metal structures using mathematical models of the probability of their uninterrupted operation. The increasing requirements for the structural safety of building metal structures, the need to use justified mathematical calculations confirming their performance and safety, taking into account various reinforcement options determine the relevance of this study. The content of the article is based on the platform of the theoretical basis for the design of reinforcement of metal structures. It is predetermined by the subsequent synthesis of innovative solutions in assessing the level of reliability building structures taking into account the use of mathematical modeling of the probability of uninterrupted operation. The article presents an analysis of the problem points of using the probabilistic method for calculating the level of reliability of building metal structures. This allows to assess the compliance of the existing loads with standard values and guarantee the reliable operation of building metal structures. The characteristics that influence the assessment of the level of reliability of options for strengthening building metal structures using mathematical modeling are highlighted. A critical review of the amplification options from the point of view of the use of mathematical models of the probability of the operation of a metal structure is presented. Attention is focused on the construction of an optimization mathematical model of the bearing capacity of a metal structure using probability theory, Gram-Charlier series, Gumbel's law, Weibull's law. An example of strengthening of a load-bearing truss using a mathematical model for assessing the level of reliability of a metal structure is described. The proposed option will improve the safety, bearing capacity of the structure while ensuring the perception of the maximum possible load and at the same time will reduce the cost of this type of structure in construction.

Keywords: assessment of the level of reliability, strengthening of building metal structures, mathematical model of probability, uninterrupted operation, constructive safety.

REFERENCES

1. Abakumov R.G., Avilova I.P., Ursu I.V., Kapustina E.O. Method of the Fixed Assets of the Organization. The Social Sciences. 2015. Vol. 10 (6). Pp. 1449–1455.
2. Abakumov R.G., Naumov A.E. Building information model: advantages, tools and adoption efficiency // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2017. Vol. 11 (6). Pp. 22001.
3. Kalinin A.A. Survey, calculation and strengthening of buildings and structures [Obsledovanie, raschet i usilenie zdaniy i sooruzhenij]. Moscow: Publishing house of the Association of building universities, 2004. 160 p. (rus)
4. Kolesnikov V.D. Methods of strengthening metal structures by reducing the calculated length of compressed elements [Metody usileniya metallicheskikh konstrukcij umen'sheniem raschetnoj dliny szhatykh elementov]. Young scientist. 2020. No. 21 (311). Pp. 503–510. (rus)
5. Pichugin S.F. Reliability of steel structures of industrial buildings [Nadezhnost' stal'nykh konstrukcij proizvodstvennykh zdaniy]. Moscow: Publishing house of the Association of Civil Engineering Universities, 2011. 455 p. (rus)
6. Pshenichkina V.A., Strok S.I., Pshenichkina V.A., Drozdov V.V. Analysis of the influence of the stiffness of the soil base on the frequencies and modes of vibration of structures [Analiz vliyaniya zhyostkosti gruntovogo osnovaniya na chastoty i formy kolebanij sooruzhenij]. Building and architecture. 2018. Vol. 6. No. 2. Pp. 13–21. (rus)
7. Pshenichkina V.A., Pshenichkina V.A., Glukhov A.V., Glukhova S.G., Modeling of probabilistic parameters of loads in the problems of assessing the safety and resource of buildings and structures [Modelirovanie veroyatnostnykh parametrov nagruzok v zadachah ocenki bezopasnosti i resursa zdaniy i sooruzhenij]. 2019. Pp. 58–63. (rus)
8. Rzhanitsyn A.R. The theory of calculating building structures for reliability [Teoriya rascheta stroitel'nykh konstrukcij na nadezhnost']. Moscow: Stroyizdat, 1978. 239 p. (rus)
9. The sleeper is the reliability of carrier structures [Nadezhnost' nesushchih stroitel'nykh konstrukcij]. M.: Stroyizdat, 1994. 288 p. (rus)
10. Abakumov R.G. Improving the mechanisms for attracting buyers in the residential real estate market [Sovershenstvovaniye mekhanizmov privlecheniya pokupateley na rynke zhiloy nedvizhimosti]. Bulletin of the Southwestern State University. Series: Economics. Sociology. Management. 2019. Vol. 9. No. 3 (32). Pp. 127–135. (rus)
11. Abakumov R.G., Naumov A.E., Zobova A.G. Advantages, tools and effectiveness of the implementation of information modeling technologies

in construction [Preimushchestva. instrumenty i effektivnost vnedreniya tekhnologiy informatsionnogo modelirovaniya v stroitelstve]. Bulletin of

BSTU named after V.G. Shukhov. 2017. No. 5. Pp. 171–181. (rus)

Information about the authors

Abakumov, Roman G. PhD, Assistant professor. E-mail: Abakumov.RG@bstu.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Al-Sabaei, Arafat K. Postgraduate student. E-mail: infobelinvest@mail.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Received 12.04.2021

Для цитирования:

Абакумов Р.Г., Аль-Сабаети А.К. Оценка уровня надежности вариантов усиления строительных металлоконструкций с использованием математической модели вероятности их безотказной работы // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2021. № 7. С. 44–50. DOI: 10.34031/2071-7318-2021-6-7-44-50

For citation:

Abakumov R.G., Al-Sabaei A.K. Assessment of the reliability level of strengthening options for building steel structures using the mathematical model of their uninterrupted operation. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2021. No. 7. Pp. 44–50. DOI: 10.34031/2071-7318-2021-6-7-44-50

DOI: 10.34031/2071-7318-2021-6-7-51-61

1, 2, ***Назарова А.Ю.,** ²**Мишагина Д.А.**¹Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет²НИИПИ «Спецреставрация»

*E-mail: zoloto-reyna@yandex.ru

СИЛУЭТНАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ ЗАСТРОЙКИ ИСТОРИЧЕСКОГО ЦЕНТРА ГОРОДА: К ВОПРОСУ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЦЕННОСТИ И МЕТОДОВ ОХРАНЫ (ОПЫТ САНКТ-ПЕТЕРБУРГА)

Аннотация. Архитектурный облик исторических городов с течением времени трансформируется. Сохраняемые для будущих поколений элементы и параметры историко-градостроительной среды поддерживают представления о ценностях городского ландшафта и способствуют преемственному развитию его художественного образа. Охрана архитектурно-градостроительного наследия обеспечивается сводом нормативно-правовой документации, а также документами социально-экономического и пространственного планирования. На современном этапе развития отечественного законодательства разрабатывается и внедряется новый «инструмент» комплексной охраны исторической среды – статус «историческое поселение», в границах территории которого подлежит охране вся совокупность ценных элементов и параметров исторической среды – предмет охраны. До настоящего времени критерии отбора и механизм охраны элементов, подлежащих включению в состав предмета охраны исторического поселения, не разработаны. В статье изложены результаты комплексного исследования силуэтной организации застройки исторического центра Санкт-Петербурга, представлены рекомендации по совершенствованию системы регулирования градостроительной деятельности в целях сохранения силуэта и композиции исторической застройки как предмета охраны исторического поселения. Основанные на анализе силуэтной организации застройки и факторов воздействия предложения по охране силуэта могут быть включены в систему требований режимов использования земель и требований к градостроительным регламентам в границах зон охраны объектов культурного наследия, а также в границах территории исторического поселения.

Ключевые слова: силуэтная композиция, силуэтная организация застройки, градостроительное регулирование, историко-градостроительная среда, предмет охраны исторического поселения

Введение. Исторический город являет собой градостроительную систему, объединяющую компоненты ландшафта, рельефа, планировки и застройки. В теории градостроительства силуэт застройки признается «вертикальной проекцией города», одной из важнейших характеристик образа городского пространства, средством его художественной выразительности [1–2]. В трудах историков и теоретиков архитектуры и градостроительства силуэт рассматривается как элемент объемно-пространственной композиции городского ландшафта, обусловленный логикой развития городской среды [3–4]. Соотносимое с силуэтом понятие «вертикальной композиции города» раскрывается через пространственные и композиционные взаимосвязи фоновой застройки с высотными зданиями (доминантами и акцентами), элементами природного ландшафта [5].

На современном этапе урбанизации исторических городов в систему восприятия сложившейся исторической среды активно включаются новые высотные здания, оказывающие негативное влияние на визуальное восприятие видов и панорам исторических центров городов в части

силуэтных характеристик [6]. Обоснование и реализация размещения высотных объектов все чаще выносятся в плоскость административных программ и планов социально-экономического развития, за пределы градостроительства и территориального планирования. Последствия такой практики для сбалансированного и устойчивого развития негативны. Отсутствие планирования и прогнозирования пространственной организации, проработки размещения высотных объектов в документации по планировке порождают хаос в системе градостроительной деятельности, провоцируют постоянные корректировки выпущенных и утвержденных документов [7].

Проблема сохранения градостроительной среды исторических городов в последнее время приобрела особую актуальность. На национальном и международном уровне охраны наследия признается важное значение целостности городских ландшафтов в процессе поддержания культурной идентичности [8–9]. Основной целью такой деятельности становится не столько сохранение отдельных объектов, сколько поддержание тех ценностей, которые они воплощают. В связи с этим выявлению ценностного потенциала объектов наследия уделяется большое внимание, а

ценностные характеристики становятся основой для выбора стратегии сохранения объектов наследия, условий воспроизводства и развития культуры в целом [10]. Аксиологический подход доминирует при определении стратегии развития исторических городов, разработке комплексных форм и инструментария охраны культурного наследия.

В международной практике градостроительной охраны наблюдается расширение нормативной и законодательной базы путем включения в документацию градостроительного и территориального планирования специальных нормативов по охране силуэта. Ведутся дискуссии о значении силуэта в образе города (Англия, Канада) [11], определяются наиболее ценные (стратегические) виды и панорамы, подлежащие охране, разрабатываются методы расчета высотных параметров зданий, обеспечивающих отсутствие негативного влияния на ценные виды и панорамы, в том числе метод визуальной защиты поверхности (VPS) [12].

Российским федеральным законодательством в границах исторических городов, обладающих статусом исторического поселения, предусмотрена охрана ценных средовых характеристик (предмета охраны), включающего наряду со зданиями и сооружениями силуэт и композицию застройки [13]. В сложившихся условиях проведение исследований, направленных на подготовку научно-методических рекомендаций по выявлению и сохранению отдельных характеристик исторической среды, включению мероприятий по обеспечению целостности городского ландшафта в процесс устойчивого и эффективного развития, является чрезвычайно актуальной задачей градостроительной теории.

Цель настоящего исследования заключается в разработке методических рекомендаций по выявлению и охране ценных силуэтных композиций исторической застройки в составе Предмета охраны исторического поселения. Задачами исследования являлись определение критериев ценности силуэтной организации застройки, ценностный анализ фрагментов исторической среды, разработка рекомендаций по определению границ зоны сохранения силуэта, а также требований к регулированию градостроительной деятельности, обеспечивающих охрану от искажения и негативного воздействия на визуальное восприятие силуэта в условиях устойчивого развития города.

Материалы и методы. Исследование основывается на комплексном подходе, включающем общекультурные теоретические методы (системно-структурный анализ, ценностный анализ

и теоретическое обобщение), а также специальный – графоаналитический метод. Основываясь на системе оценки городского ландшафта, применяемой в зарубежной и отечественной практике, проведен анализ силуэтной организации застройки панорам в границах исторического центра Санкт-Петербурга. На основе соответствия критериям градостроительной, исторической и архитектурно-художественной ценности выявлены наиболее репрезентативные силуэтные композиции, определены характерные типы силуэтной организации застройки, разработаны рекомендации по сохранению и преемственному развитию силуэтных характеристик застройки.

Анализ силуэтной организации застройки. Понимание городского ландшафта как объекта архитектурно-градостроительного наследия имеет важное значение для изучения особенностей исторической среды. Система критериев, используемая для определения ценности городских ландшафтов, активно разрабатывается в отечественной и зарубежной практике охраны культурного наследия применительно к городскому (культурному) ландшафту. Значимость культурного ландшафта как объекта наследия определяются рядом признаков, к которым относятся подлинность, историческая репрезентативность и документальность [14–15].

Определение ценности силуэта застройки как элемента городской среды предполагает выделение силуэтных композиций в качестве отдельных объектов исследования и адаптацию критериев ценности городского ландшафта к силуэтным характеристикам застройки. Помимо общих ценностных характеристик, присущих всем элементам городской среды, особую ценность силуэта составляют *художественные качества* контурной линии, очерчивающей абрис зданий и сооружений на фоне неба (небесная линия). Система критериев силуэтной организации застройки, таким образом, включает параметры градостроительной, исторической и архитектурно-художественной ценности. Учитывая существенное значение в системе ценностных характеристик нематериальной ценности, при анализе силуэтной организации застройки необходимо принимать во внимание аспекты символического уровня, опыт исторических переживаний и культурных практик сообщества [16] (табл. 1).

Предложенная методика выявления наиболее ценных силуэтных композиций была апробирована на анализе панорам центрального городского пространства Санкт-Петербурга. В рамках исследования были выделены 10 участков застройки набережных вдоль правого и левого бе-

регов Невы, ограниченных элементами планировочного каркаса (площадями, улицами) и конструкциями мостов (рис. 1).

Особенности природного ландшафта предопределили структуру пространственного построения панорам городского центра. Речная гладь составляет передний план панорамных видов, протяженные линии застройки набережных и расположенные за ними массивы внутригород-

ской застройки – средний и дальний планы. Рифмующиеся между собой водное и воздушное пространства, обрамляющие застройку, предопределяют особую поэтичность, «картинность» архитектурных пейзажей исторического центра Санкт-Петербурга. Историко-градостроительный анализ, натурные и аналитические исследования позволили прийти к выводам о ценностных характеристиках и параметрах сложившихся силуэтных композиций архитектурных панорам.

Таблица 1

Оценка силуэтной организации застройки

Критерии оценки	Объект/параметры оценки		Степень выраженности признака/характеристики
Градостроительная ценность	роль комплекса застройки в структуре градостроительного каркаса	высокая	комплекс застройки маркирует главные оси исторического планировочного каркаса; вертикальные доминанты акцентируют планировочные узлы;
		средняя	комплекс застройки расположен в структуре исторического планировочного каркаса;
		низкая	комплекс застройки не связан с историческим планировочным каркасом
Историческая ценность (целостность, подлинность)	сохранность исторического объемно-пространственного решения и архитектурного облика зданий, сооружений – историческая репрезентативность (представленность) этапов строительной истории комплекса застройки	высокая	высокая степень сохранности подлинных объемно-пространственных композиций зданий и сооружений, включая форму и конфигурацию крыш, декоративных завершений, венчающих карнизов
		средняя	исторические объемно-пространственные композиции зданий и сооружений, включая формы и конфигурации крыш, декоративные завершения, венчающие карнизы, сохранились частично, имеются поздние включения
		низкая	исторические объемно-пространственные композиции зданий и сооружений, включая форму и конфигурацию крыш, декоративные завершения, венчающие карнизы, в основном утрачены, поздние включения оказывают негативное воздействие на восприятие исторической силуэтной композиции застройки
Архитектурно-художественная ценность,	качество художественного образа архитектурных доминант и объектов фоновой застройки;	высокая	репрезентативность приемов силуэтной организации фоновой застройки и архитектурных доминант различной типологии, периодов строительства и стилистики;
культурная ценность	роль объекта в хранении и передаче от одного поколения к другому информации о развитии культурной традиции		особая историко-культурная ценность зданий и сооружений (памятники истории и культуры федерального/регионального значения), архитектурных комплексов и ансамблей
		низкая	изменения (перестройка, надстройка) исторических архитектурных и объемно-пространственных решений зданий и сооружений, поздние включения, нарушающие исторический силуэт



Рис. 1. Схема панорам акватории Невы центрального городского пространства Санкт-Петербурга

Формирование вертикальной композиции центра Санкт-Петербурга обусловлено строгой регламентацией градостроительной деятельности на протяжении более, чем двухсот лет [2–4]. Ограничения высотных параметров, требования к размещению зданий, форме крыш и венчающих частей высотных сооружений способствовали выработке единых принципов застройки городского пространства, преемственности силуэтной организации застройки и объединению территорий, застраиваемых в разное время, общими характеристиками.

Произведения живописи и видовой графики XVIII-первой половины XX века отражают представления о ценности городских пейзажей и силуэтных композиций, поддерживаемые в сознании горожан и путешественников, устойчивой традицией визуального восприятия акватории Невы как сценического пространства [17–19] (рис. 2).

Градостроительная ценность каждого комплекса застройки раскрывается во взаимодействии с главной планировочной и композиционной осью – Невой. На протяжении всех исторических этапов градостроительного развития акватория Невы объединяла в единый каркас доминант Петропавловскую крепость, здания Адмиралтейской верфи, Троицкой церкви на Петер-

бургском острове, Биржи на Васильевском острове, Исаакиевского собора, ансамбли Смольного и Александро-Невского монастыря.

Историческая ценность силуэта застройки определяется высокой степенью сохранности подлинных архитектурных решений венчающих частей построек и репрезентативностью исторических слоев развития силуэтной композиции. Завершающий этап формирования застройки исторического центра Санкт-Петербурга приходится на период послевоенного восстановления города в 1950-х гг., когда взамен утраченных объектов были возведены новые, а многие здания надстроены с соблюдением исторических принципов силуэтной организации. Данные особенности принимались во внимание при оценке исторической ценности и репрезентативности силуэта застройки, объектами поздних включений классифицировались здания, возведенные после 1960 г.

Историческая застройка вдоль набережных Невы в пределах исторического ядра Санкт-Петербурга характеризуется чрезвычайно высокой степенью сохранности, звенья архитектурных панорам могут служить наглядной иллюстрацией типологического разнообразия, этапов градостроительного развития и смены стилистических предпочтений в архитектурном оформлении и силуэтной организации застройки вдоль главной композиционной и планировочной оси.



Рис. 2. А – Стрелка Васильевского острова. И.В. Барт, 1810-е гг. Фрагмент
Б – Панорама Стрелки Васильевского острова. Фото, 2020 г.

Высокая архитектурно-художественная ценность силуэта застройки набережных Невы обусловлена качеством архитектурных проектов в части форм и конфигураций архитектурных доминант и акцентных завершений, крыш и декоративных венчающих элементов, композиционной завершенностью силуэтной линии целостных комплексов застройки. Практически все здания и

сооружения, включенные в структуру лицевых фронтов застройки набережных, обладают особой историко-культурной ценностью, состоят на государственной охране как объекты культурного наследия (памятники истории и культуры) регионального и федерального значения, поздние включения единичны (рис. 3).

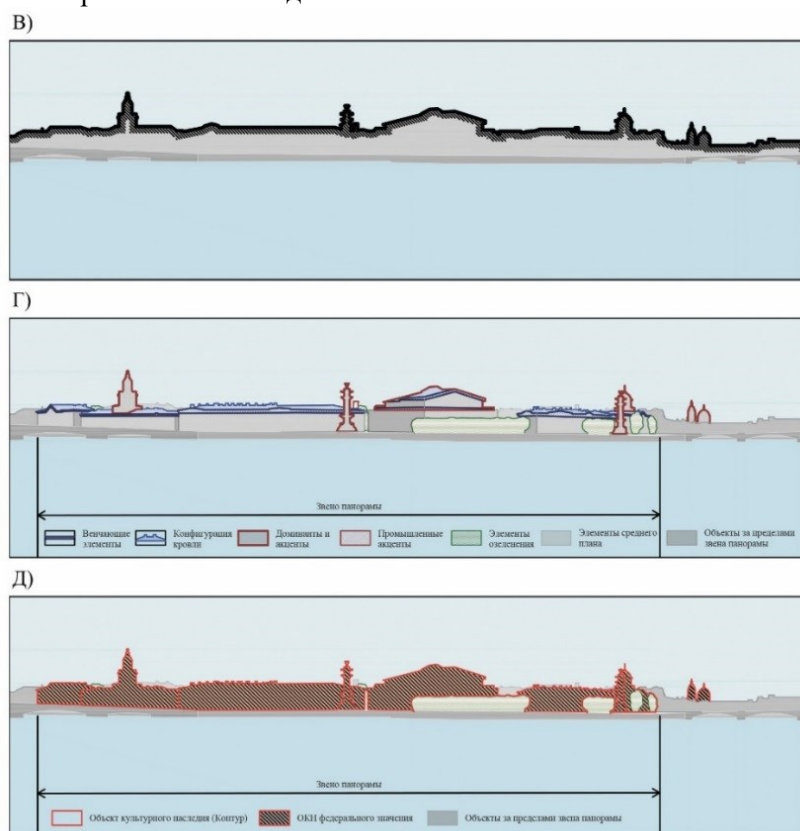


Рис. 3. Ценностный анализ силуэта застройки Стрелки Васильевского острова
В – схема силуэтной организации застройки
Г – схема архитектурно-художественной ценности
Д – схема исторической ценности (целостности)

Сохранение силуэта застройки в системе охраны исторического поселения

На основе комплексного исследования силуэта застройки в структуре панорам центрального городского пространства Санкт-Петербурга определены фрагменты застройки, силуэтная организация которых обладает особой ценностью и подлежит охране. Данные силуэтные композиции могут быть включены в состав предмета охраны исторического поселения в виде текстового перечня и графических схем.

Результатом графоаналитических исследований стало выявление на основе общих признаков пространственного построения, взаимодействия фоновой застройки и вертикальных доминант трех устойчивых типов силуэтной организации застройки – морфотипов, являющихся отражением исторического процесса формирования и поддержания «небесной линии» исторического ядра Санкт-Петербурга:

- линейный тип силуэтной организации фронтальной застройки прибрежной территории (М-1);

- пространственно –осевой тип силуэтной организации застройки прибрежной территории (М-2),

- смешанный тип силуэтной организации застройки прибрежной территории (М-3).

Силуэтные композиции линейного типа (М-1) формируются очертаниями фоновой застройки, расположенной на прибрежной территории, и высотных зданий (доминант) среднего и дальнего планов, зеленых насаждений и вертикальных акцентов. К пространственно-осевым силуэтным композициям (М-2) отнесены комплексы застройки с многоплановым построением, в силуэте которых доминирует высотная доминанта, расположенная по центральной оси. Композиции могут включать дополнительные вертикальные акценты и зеленые насаждения. Силуэтные композиции смешанного типа (М-3) построены на сочетании приемов силуэтной организации, характерных для линейного и пространственно-осевого типов (рис. 4).

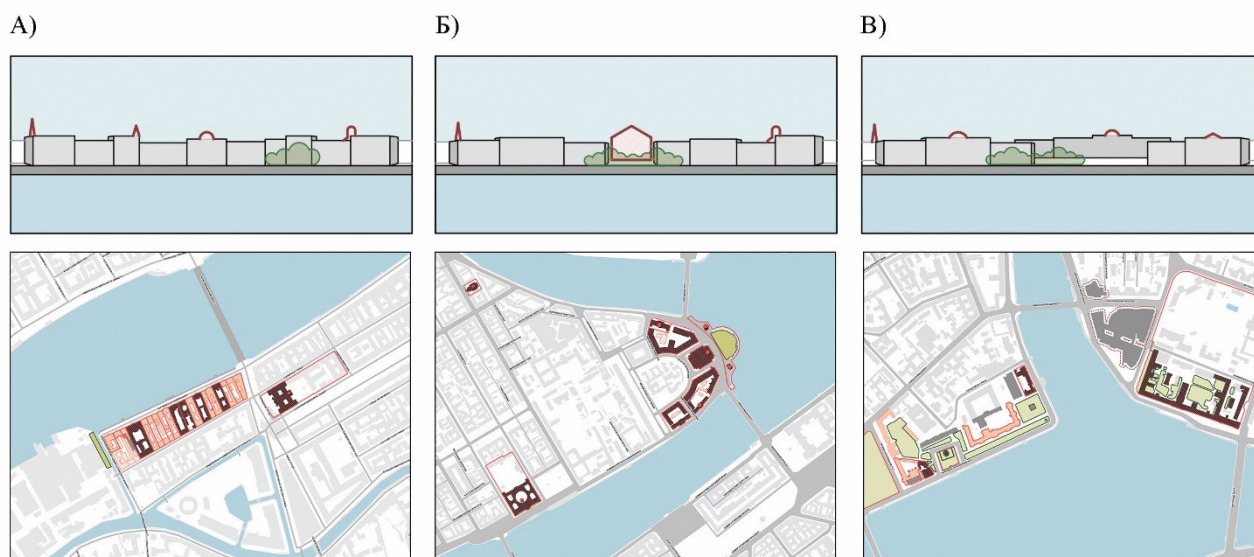


Рис. 4. Схемы морфотипов силуэтной организации застройки прибрежной территории
А – Линейный тип (М-1); Б – пространственно-осевой тип (М-2); В – смешанный тип (М-3)

Оценка, описание и картирование силуэтных композиций являются важным этапом определения содержания мероприятий по выявлению и сохранению их ценности. На этом этапе методами натурного обследования и графоаналитических исследований выявляются факторы негативного воздействия на визуальное восприятие исторических силуэтных композиций. Существенное влияние на восприятие силуэта неких панорам оказывают включения зданий и сооружений, не соответствующих устойчивым характеристикам исторической застройки – значи-

тельно превышающие высотные параметры фоновой застройки, нарушающие исторический модуль застройки (здания-пластины), сооружения с хаотичной конфигурацией линий крыш и карнизов, вертикальными акцентами низкого художественного качества (Рис. 5-6). Такие включения в структуру среднего и дальнего планов способствуют искажению исторической конфигурации силуэтной линии застройки набережных, потере историко-культурной ценности визуального образа города, утрате культурной идентичности исторического городского ландшафта [20].

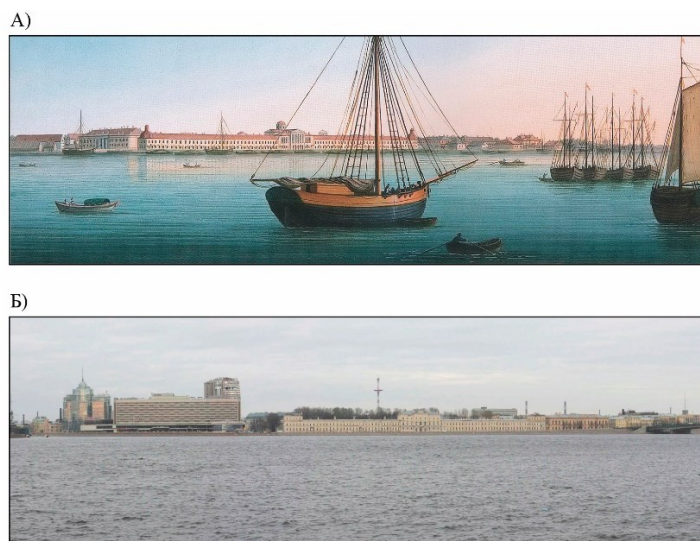


Рис. 5. А – Морской и Сухопутный госпиталь на Выборгской стороне. И.В.Барт, 1810-е гг. Фрагмент
Б – Панорама Пироговской набережной. Фото, 2020 г.

Определение границ территорий, в пределах которых необходимо регулирование градостроительной деятельности в целях охраны силуэтной выразительности застройки, проводится путем исследования глубины визуального восприятия силуэтных композиций, а также анализа системы визуальных и композиционных связей, целостности исторической среды. В целях охраны силуэтной организации застройки речных панорам Санкт-Петербурга в состав зоны сохранения силуэта, рекомендовано включить три подзоны:

– зона формирования силуэта (зона А) – территория ближнего и среднего планов панорам с фронтально расположенным комплексом застройки;

– зона сохранения силуэта (зона Б) – территория дальних планов панорам, обозреваемая при восприятии силуэтных композиций с основных видовых точек и путей восприятия;

– зона композиционно-видового влияния/потенциального развития силуэта (зона В) – территория, связанная визуально /композиционно с охраняемыми силуэтными композициями

Обобщая опыт исторического развития и поддержания ценностных характеристик силуэта представляется необходимым закрепить методами градостроительного регулирования сохранение и поддержание исторической преемственности в развитии силуэтной выразительности застройки прибрежных территорий. Введение ограничений градостроительной деятельности в границах данных зон позволит избежать негативного влияния на восприятие ценных силуэтных композиций нового строительства и реконструк-

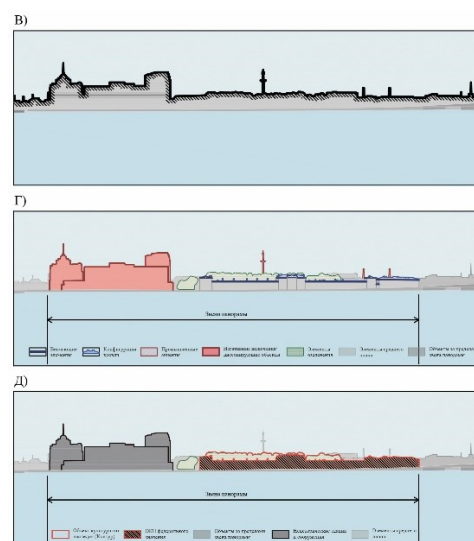


Рис. 6. Ценностный анализ силуэта застройки Пироговской набережной
В – схема силуэтной организации застройки;
Г – схема архитектурно-художественной ценности; Д – схема исторической ценности (целостности)

ции существующих зданий, будет способствовать преемственному развитию силуэтной выразительности застройки.

Система ограничений градостроительной деятельности может быть дифференцирована в зависимости от назначения зоны. В границах зоны формирования силуэта (зоны А) рекомендовано установление запрета нового строительства, за исключением восстановления утраченных исторических объектов, в том числе архитектурных доминант в режиме регенерации, введение строгих требований к реконструкции зданий и сооружений в части запрета изменения высотных отметок венчающих карнизов, коньков крыш, конфигураций скатов крыш, декоративных венчающих элементов. Данный комплекс мер направлен на сохранение сложившихся силуэтных композиций, восстановление исторического пространственно-видового каркаса.

Ограничения деятельности в границах зоны сохранения силуэта (зоны Б) включают запрет на размещение новых высотных доминант, за исключением воссоздания утраченных, соблюдение высотных ограничений при реконструкции существующих зданий. Допустимые предельные параметры застройки, не оказывающие влияния на восприятие силуэтной линии застройки с основных видовых точек, определяются на основе расчетных методов и построения разрезов местности по характерным лучам восприятия.

Комплекс мер по регулированию градостроительной деятельности в границах зоны потенциального развития силуэта (зона В) направлен на преемственное развитие исторических сценариев

силуэтной организации застройки методами нового строительства. Комплексная застройка/реконструкция прибрежных территорий, формирование пространственно-видового каркаса на основе морфологии городского пространства, соблюдение преемственности высотных соотношений объектов фоновой застройки и вертикальных доминант и воспроизведение морфотипов силуэтной организации застройки будут способствовать установлению зрительного диалога между историческим ядром и развивающимися районами, поддержанию преемственности художественно-эстетической выразительности городского пространства.

Выводы. В теории архитектуры и градостроительства накоплен достаточно значительный опыт анализа исторической среды и составляющих ее компонентов. На современном этапе охраны архитектурно-градостроительного наследия разрабатывается механизм сохранения силуэта застройки в составе предмета охраны «исторического поселения». В условиях смены парадигмы охраны исторических городских ландшафтов, поисков путей управления изменениями, связанными с включением новых объектов в сложившийся городской контекст, система критериев оценки и отбора охраняемых элементов среды, а также рекомендации по их охране могут быть разработаны на базе обобщенного исторического опыта с учетом современной ситуации и международных подходов.

Анализ соответствия силуэтных композиций застройки набережных р.Невы в пределах центрального городского пространства критериям градостроительной, исторической и архитектурно-художественной ценности позволил выявить наиболее значимые для образа города силуэтные характеристики, силуэтные композиции и устойчивые типы силуэтной организации застройки (морфотипы), моделирующие восприятие городского пространства. На основании исследования факторов воздействия предложен состав зон сохранения силуэта, в пределах которых рекомендовано установление ограничений градостроительной деятельности.

Изучение особенностей формирования и трансформации силуэтной организации застройки позволило смоделировать процесс охраны как сценарий поддержания целостности и художественной завершенности исторической среды, управления изменениями городского пространства и преемственного развития ценных характеристик среды. Комплекс ограничений градостроительной деятельности в границах зон сохранения силуэта должен включать требования к высотным параметрам новых объектов, архитек-

турному решению вновь возводимых и существующих реконструируемых зданий, формированию пространственно-планировочного каркаса.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ

1. Бунин А.В., Круглова М.Г. Архитектурная композиция городов. М.: Изд-во Академия архитектуры СССР, 1940. 204 с.
2. Баранов Н.Н. Силуэт города. Л.: Стройиздат, 1980. 183 с.
3. Мангушев Р.А., Новоходская Н.С., Дадюк Т.А., Кондратьева Л.Н. Петербургский «генетический код». Век XVIII и век XXI // Вестник гражданских инженеров. 2019. №5(76). С. 33–40
4. Захаров О.Н. Архитектурные панорамы невиских берегов. Л.: Стройиздат, 1984. 320 с.
5. Чудинова Т.С. Формирование вертикальной композиции исторических центров приречных городов (на примере городов Поволжья): дисс.... канд. Архитектуры. Москва, 1985. 173 л.
6. Makakli E.S., Ozker S. High rise buildings in historic cities // The Online Journal of Science and Technology. 2017. Vol. 7. Issue 2. P. 60–67
7. Митягин С.Д. Градостроительство. Эпоха перемен. СПб.: Зодчий, 2016. 280 с.
8. Marushina N., Nazarova A., Pasechnik I. Historical cities as object of protection: approaches to the preservation of urban planning heritage in Russia // E3S Web of Conferences 164, 05012 (2020). TRACEE-2019.
9. Nocca F. The Role of Cultural Heritage in Sustainable Development: Multidimensional Indicators as Decision-Making Tool // Sustainability. 2017. №9. 1882. 28p. Doi:10/3390/su9101882.
10. Бельская С.А. К проблеме определения понятия «Культурная ценность» [Электронный ресурс]. Системные требования: URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/k-probleme-opredeleniya-ponyatiya-kulturnaya-tsennost> (дата обращения: 21.02.2020).
11. Katerina Karaga. Urban skyline planning strategy analysis. Case study: London. ID: W15102397 MA International Planning and Sustainable Development, 2014-2015.
12. Czyńska K., Rubinowicz P. Visual protection surface method: Cityscape values in context of tall buildings // Proceedings of the 10th International Space Syntax Symposium [Электронный ресурс]. Системные требования: https://www.researchgate.net/publication/281837437_Visual_protection_surface_method_Cityscape_values_in_context_of_tall_buildings дата обращения 17.08.2020
13. Федеральный закон от 25.06.2002 №73-ФЗ «Об объектах культурного наследия (памятниках истории и культуры). Ст. 59 [Электронный ресурс]. Системные требования: URL:

http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_37318/ (дата обращения: 07.04.2021)

14. Веденин Ю.А. География наследия. Территориальные подходы к изучению и сохранению наследия. М.: Главный Хронограф, 2018. 472 с.

15. Курашов Ю.Ю. Критерии оценки объектов культурного наследия: культурно-исторический аспект и правовое решение // Академический вестник УРАЛНИИПРОЕКТ РААСН. 2017. №4. С. 40–44

16. The Burra Charter: The Australia ICOMOS Charter for Places of Cultural Significance. Australia ICOMOS, Australia. 2013. [Электронный ресурс]. Системные требования: URL: http://www.icomos.org/tr/Dosyalar/ICOMOSTR_en0795934001587381516.pdf (дата обращения: 07.04.2021)

17. Федоров-Давыдов А.А. Петербург. Образ города в изобразительном искусстве // Русское и

советское искусство. Статьи и очерки. М.: Искусство, 1975. С. 286–349

18. Карев А.А. О семантике пространственных построений в русском изобразительном искусстве XVIII века: от проспектов М.И. Махаева к видам Ф.Я. Алексеева. // Вестник РГГУ. 2018. №3 (13). С. 111–123. DOI: 10.28995/2073-6401-2018-3-111-123. С. 114

19. Петербург в ранней русской литографии. «Поэмы, сложенные в честь Петербурга». Государственный Эрмитаж. [Электронный ресурс]. URL:

<http://edu.hermitage.ru/catalogs/1433297649/themes/1433297660/article/1433297662> - дата обращения 05.02.2021

20. Назарова А.Ю. Стратегия сохранения силуэта исторического города (на примере Санкт-Петербурга) // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2020. №5. С. 91–99.

Информация об авторах

Назарова Анна Юрьевна, аспирант кафедры архитектурного и градостроительного наследия. E-mail: zoloto-reyna@yandex.ru. Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет. Россия, 190005, Санкт-Петербург, 2-я Красноармейская ул., д. 4

Мишагина Дарья Андреевна, архитектор. E-mail: dasha007.08@mail.ru. Научно-исследовательский и проектный институт «Спецреставрация». Россия, 195299, Санкт-Петербург, ул. Киришская, д.2, лит. А, ч. пом. 4Н 38.2

Поступила 15.04.2021 г.

© Назарова А.Ю., Мишагина Д.А., 2021

^{1,2,*}*Nazarova A. Yu., ²Mishagina D. A.*

¹*Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering*

²*Scientific Research & Project Institute "Spetsrestavratsiya"*

**E-mail: zoloto-reyna@yandex.ru*

SCYLINE OF THE HISTORIC CITY CENTER: ON THE ISSUE OF DETERMINING THE VALUE AND PROTECTION (THE SAINT PETERSBURG EXPERIENCE)

Abstract. *The architectural appearance of historical cities is transforming over time. The elements and characteristics of the historical urban environment being preserved for future generations support the ideas about the values of the urban landscape and contribute to the continuous development of its artistic image. The protection of architectural and urban heritage is provided by a set of normative, legal documents and documents of socio-economic and spatial planning. At the present stage of the development of domestic legislation, a new "tool" for the comprehensive protection of the historical environment is being developed and implemented. It is the status of "historical settlement", within the boundaries of which the entire set of valuable elements and parameters of the historical environment is subject of protection. To date, the selection criteria and the mechanism for the protection of elements presenting the subject of protection of a historical settlement have not been developed. The article presents the results of a comprehensive study of the skyline organization of the historic center of St. Petersburg. It includes recommendations for improving the system of regulation of urban planning activities in order to preserve the skyline and composition of historical buildings as components of the subject of protection of historical settlements. Based on a comprehensive analysis of the skyline organization of buildings and impact factors, proposals for the protection of the skyline can be included in the*

system of requirements for land use and urban planning regulations within the boundaries of zones of protection of cultural heritage properties, as well as within the boundaries of the territory of a historical settlement.

Keywords: *skyline composition, skyline organization of buildings, urban planning regulation, historical environment, subject of protection of settlement.*

REFERENCES

1. Bunin A.V., Kruglova M.G. Architectural composition of cities [Arkhitekturnaya kompozitsiya gorodov]. Moscow: Akademiya arhitektury SSSR, 1940. 204 p. (rus)
2. Baranov N.N. City skyline [Siluet goroda]. Leningrad: Strojizdat, 1980. 183 p. (rus)
3. Mangushev R.A., Novohodskaya N.S., Dacyuk T.A., Kondrateva L.N. St.Petersburg "Genetic code". The XVIII century and XXI century [Peterburgskij «geneticheskij kod». Vek XVIII i vek XXI]. Vestnik grazhdanskih inzhenerov. 2019. No. 5(76). Pp. 33–40
4. Zaharov O.N. Architectural panoramas of the Neva banks [Arhitekturnye panoramy nevskih beregov]. Leningrad: Strojizdat, 1984. 320 p. (rus)
5. Chudinova T.S. Formation of the vertical composition of the historical centers of riverine cities (on the example of the cities of the Volga region). Phd thesis [Formirovanie vertikalnoj kompozicii istoricheskikh centrov prirechnykh gorodov (na primere gorodov Povolzhya): dissertatsiya kandidata Arhitektury]. Moscow, 1985. 173 p. (rus)
6. Makakli E.S., Ozker S. High rise buildings in historic cities. The Online Journal of Science and Technology. 2017. Vol. 7. Issue 2. P. 60–67
7. Mityagin S.D. Urban planning. The age of change [Gradostroitelstvo. Epokha peremen]. SPb.: Zodchiy, 2016. 280 p. (rus)
8. Marushina N., Nazarova A., Pasechnik I. Historical cities as object of protection: approaches to the preservation of urban planning heritage in Russia. E3S Web of Conferences. 2020. 164. 05012. TRACEE-2019.
9. Nocca F. The Role of Cultural Heritage in Sustainable Development: Multidimensional Indicators as Decision-Making Tool//Sustainability. 2017. No. 9. 1882. 28p. Doi:10/3390/su9101882.
10. Belskaya S.A. To the problem of the "Cultural value" concept's definition. [K probleme opredeleniya ponyatiya «Kulturnaya tsennost»] AdobeAcrobatReader. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/k-probleme-opredeleniya-ponyatiya-kulturnaya-tsennost> (date of treatment: 21.02.2020). (rus).
11. Karaga K. Urban skyline planning strategy. Case study. London. 2014-2015. AdobeAcrobatReader. URL: https://www.researchgate.net/publication/296695437_Urban_skyline_planning_strategy_analysis_Case_study_London/link/56d872d808ae1aa5f80175c/download (date of treatment: 07.03.2020)
12. Czyska K., Rubinowicz P. Visual protection surface method: Cityscape values in context of tall buildings\ Proceedings of the 10th International Space Syntax Symposium https://www.researchgate.net/publication/281837437_Visual_protection_surface_method_Cityscape_values_in_context_of_tall_buildings (date of treatment: 17.08.2020)
13. Federal Law 73-FZ, dated 25 June 2002, "On Heritage Property". Art.59. URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_37318/ (date of treatment: 07.04.2021) (rus).
14. Vedenin Yu.A. Heritage geography. Territorial approaches to the study and preservation of heritage [Geografiya naslediya. Territorialnye podkhody k izucheniyu i sokhraneniyu naslediya]. Moscow, Glavnyj Khronograf. 2018. 472 p. (rus).
15. Kurashov Yu.Yu. Criteria for assessing cultural heritage sites: cultural and historical aspect and legal decision [Kriterii ocenki obektov kulturnogo naslediya: kulturno-istoricheskij aspekt i pravovoe reshenie]. Akademicheskij vestnik URAL-NIIPROEKT RAASN. 2017. No. 4. Pp.40-44. (rus).
16. The Burra Charter: The Australia ICOMOS Charter for Places of Cultural Significance. Australia ICOMOS, Australia. 2013. AdobeAcrobatReader. URL: http://www.icomos.org.tr/Dosyalar/ICOMOSTR_en0795934001587381516.pdf (date of treatment: 07.04.2021)
17. Fedorov-Davydov A.A. Saint Petersburg. The image of the city in the art. [Peterburg. Obraz goroda v izobrazitelnom iskusstve]. Russkoe i sovetское iskusstvo. Moscow, Iskusstvo.1975. Pp. 286–349. (rus)
18. Karev A.A. On the semantics of spatial constructions in Russian fine art of the 18th century. From the Prospects by M.I.Makhaev to the views by E.Ya.Alekseev [O semantike prostranstvennykh postroenij v russkom izobrazitelnom iskusstve XVIII veka: ot prospektov M.I.Makhaeva k vidam F.Ya. Alekseeva]. Vestnik RGGU. 2018. No. 3(13). Pp.111–123. DOI: 10.28995/2073-6401-2018-3-111-123. (rus)
19. Petersburg in Early Russian lithography. "Poems composed in honor of St. Petersburg" [Peterburg v rannej russkoj litografii. «Poemy, slozhenye v chest Peterburga»]. The State Hermitage Museum. URL: <http://edu.hermitage.ru/catalogs/1433297649/themes/1433297660/article/1433297662> (date of treatment 05.02.2021) (rus)

20. Nazarova A.Yu. Strategy of protecting the skyline of a historical city: the case of Saint-Petersburg [Strategiya sokhraneniya silueta istoricheskogo goroda (na primere Sankt-Peterburga)]. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2020. No. 5. Pp. 91–99. (rus)

Information about the authors

Nazarova, Anna Yu. Post-graduate student. E-mail: zoloto-reyna@yandex.ru. Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering. Russia, 190005, Sankt-Petersburg, 2-ya Krasnoarmeiskaya str.,4, Scientific Research & Project Institute “Spetzrestavratsia” (St. Petersburg), Head of Urban Planning Research Department

Mishagina, Daria A. Architect. E-mail: dasha007.08@mail.ru. Scientific Research & Project Institute “Spetzrestavratsia” (St. Petersburg).

Received 15.04.2021

Для цитирования:

Назарова А.Ю., Мишагина Д.А. Силуэтная организация застройки исторического центра города: к вопросу определения ценности и методов охраны (опыт Санкт-Петербурга) // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2021. № 7. С. 51–61. DOI: 10.34031/2071-7318-2021-6-7-51-61

For citation:

Nazarova A.Yu., Mishagina D.A. Scyline of the historic city center: on the issue of determining the value and protection (the Saint Petersburg experience). Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2021. No. 7. Pp. 51–61. DOI: 10.34031/2071-7318-2021-6-7-51-61

DOI: 10.34031/2071-7318-2021-6-7-62-72

***Лукаш А.А., Панфилов А.В.**

Тюменский индустриальный университет

***E-mail:** alyonakoles93@yandex.ru

СЕЛФИ-АРХИТЕКТУРА ТЮМЕНИ

Аннотация. Архитектура является неотъемлемой частью жизни человека. Она оказывает влияние на психику и здоровье людей, вызывая определённые ассоциации. Архитектурные объекты зачастую попадают в объектив фотоаппаратов и камер телефонов. Селфи-культура превратилась в мощный инструмент продвижения новых смыслов и проектирования современных публичных пространств. Возрастает потребность в фонах для селфи, что стимулирует художников и архитекторов создавать интересные решения для городского пространства. Примеры городских стрит-артов есть во многих городах мира и России.

В Тюмени есть запоминающиеся объекты для посетителей и жителей, которые в свою очередь являются городскими ориентирами и отвечают за стратегическое и экономическое развитие города. Они выделяются на фоне монотонной среды, узнаваемы, и помогают ориентироваться в городском ландшафте. В результате проведенного исследования, была получена информация по наиболее популярным местам для фото в городе Тюмени. Территории можно разделить на следующие категории: среда, объект и фон. Из рассмотренных объектов было выделено архитектурное сооружение, которое соответствует всем критериям и является ключевым символом города. Селфи-архитектура Тюмени является неотъемлемой частью культуры сегодняшнего времени. Но на данный момент в Тюмени нет популярных истинно утилитарных пространств, предназначенных только для фото как это происходит в других городах.

Ключевые слова: Селфи-архитектура, селфи-культура, фото, архитектура, Тюмень, архитектура города.

Введение. Архитектура города – это его образ, олицетворение города. Она представляет собой внешний облик города, степень его культурного, политического и экономического благополучия. Архитектура может поведать о прошедших веках, исторических событиях и людях, живших за много столетий до нас. Однако кроме знаменитых памятников архитектуры в мире насчитывается изрядное количество строений, также переживших века, и даже по сей день используемых человеком, характеризующие город в настоящем времени [1]. Архитектура передает всю самобытность городской структуры.

Город как особое смысловое пространство XXI века вовлекается в новые способы взаимодействия с окружающей средой и человеком, прибегая к механизмам антропософии, экономики, психологии и экологии в широком понимании этого слова [2]. Архитектура является неотъемлемой частью жизни человека. Она оказывает влияние на психику и здоровье людей, вызывая определённые ассоциации. Но не только архитектура определяет образ жизни человека, но и сам образ жизни человека обуславливает те или иные особенности сооружений [3]. Архитектура отвечает за культурное развитие города, знаковые и значимые объекты используются в процессе стратегического и экономического развития города.

В каждом городе есть, являющиеся городскими ориентирами, запоминающиеся объекты для посетителей и его жителей (рис. 1 а, б). Они выделяются на фоне монотонной среды, узнаваемы, и помогают ориентироваться в городском ландшафте [4]. В основной массе это объекты историко-культурной самоидентификации города. Все эти строения создают имидж города – айдентику. Она включает в себя множество элементов, над которыми трудится большая команда архитекторов и дизайнеров. Для ее создания используют местные традиции, уникальные черты города [5].

Научную новизну данной статьи определяют применение терминов «Селфи архитектура» и «Архитектурная айдентика» относительно архитектуры города Тюмени, предложены классификации «Селфи-архитектуры» в контексте изученной темы.

Практическая значимость исследования заключается в том, что его материалы могут быть использованы в дальнейшем исследовании архитектуры Тюмени в контексте стратегической и туристической привлекательности города. И применимы в проектирование новых архитектурных объектов и центров притяжения для населения, которые находятся максимально привлекательными для жителей города. Тем самым повысить качество городской среды.

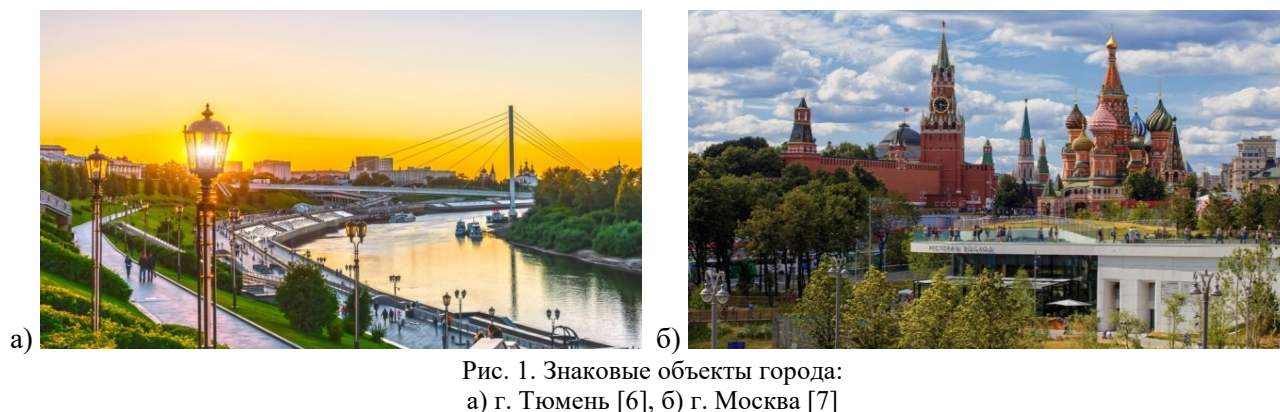


Рис. 1. Знаковые объекты города:
а) г. Тюмень [6], б) г. Москва [7]

В настоящей статье под термином «Селфи-архитектура» понимаются объекты искусственно-пространственной среды, наиболее часто используемые в качестве фона в автопортретах на фотографиях. Вопрос использования архитектуры как фона для фото ранее не рассматривался с научной точки зрения, однако является важным элементом архитектурной айдентики города. За последние несколько лет вопросы архитектурной айдентики стали обсуждаться в работах А.В. Ефимова, А.П. Мины [8], Л.В. Чурсиной [9] и т.д.

Объектом исследования являются знаковые здания и сооружения Тюмени, которые часто попадают в объектив фотокамер и смартфонов. Поставленная в работе цель определила основные задачи исследования: проанализировать мировую и российскую селфи-архитектуру, на примере тюменской знаковой архитектуры дать краткий архитектурный анализ и обобщить результаты исследования в виде заключения и кратких выводов.

Методология. Выполненное в данной работе исследование основано на анализе знаковой исторической и современной архитектуры города Тюмени. Применяемый комплексный подход базируется на различных методах исследования. К ним относятся: анализ и обобщение российского и зарубежного опыта селфи-архитектуры; изучение знаковой архитектуры Тюмени,

которая часто оказывается на снимках фотокамер и телефонов и систематизация данных по выявленным категориям; комплексная оценка полученных данных по селфи-архитектуре Тюмени.

Основная часть. Знаковая архитектура формирует образ города. Данные объекты часто попадают в объектив фотоаппаратов и камер телефонов. Люди хотят запечатлеть архитектуру либо себя на этом фоне. Данные снимки называются «Селфи». Селфи – это фотография, сделанная человеком, обычно на смартфон или веб-камеру и переданная через социальные сети [10]. Селфи – это не портрет. Портрет – это плоский памятник, а селфи не монументально. Оно не вписывает своего создателя в историю, а вписывает его в сетевой поток информации [11]. Центральной фигурой селфи является сам фотографирующий, но зачастую главную роль принимает служащая фоном снимка достопримечательность или пейзаж [12]. А иногда фоном и объектом являются арт-объекты (бренд города), которые слепо копируются по всему региону и стране. Например: МАФ «Я люблю свой город» в виде сердца. Такое предложение стандартизирует все города (рис. 2 а, б). При соотношении фигуры и фона в селфи важно отметить, что фон в фотографических автопортретах не только фиксирует и отражает культурную реальность, но и способен оказывать заметное и во многом еще не отрефлексированное влияние на нее [13].



Рис. 2. МАФ «Я люблю свой город»: а) г. Тюмень [14], б) г. Саратов [15]

В настоящее время селфи-культура превратилась в мощный инструмент продвижения новых смыслов и проектирования современных публичных пространств. Феномен селфи плотно вошел в жизнь современного общества [16]. Она также затронула архитектуру и искусство. Селфи все чаще используются в городском дизайне и кампаниях по вовлечению населения. Некоторые инициативы призывают людей, например, фотографировать себя в местах своего города – в уг-

лах, кафе, парках и т.д. – что делает их счастливыми. [17]. Поэтому возрастает потребность в фонах для селфи, что дает стимул художникам, архитекторам и дизайнерам создавать интересные экстерьерные и интерьерные решения и продвигать уличный стрит-арт [18]. Такие примеры можно увидеть в Санкт-Петербурге, где расписываются трансформаторные будки (рис. 3), но при этом инспекция составляет административные протоколы за нарушения [19].



Рис. 3. Трансформаторные будки в Санкт-Петербурге [19]

Многие крупные корпорации используют в оформлении своих офисов селфи-стены. Теперь люди творческих профессий заинтересованы, чтобы их арт-объекты часто попадали в объектив смартфонов. Один из примеров, это стена для селфи – вертикальная поверхность с большим

разнообразием силуэтов и забавных рисунков, предлагающих различные положения людей для взаимодействия и фотографии (рис. 4). Этот проект реализован в Лиссабоне португальской студией 100 Street Architecture [20].



Рис. 4. Стена для селфи [20]

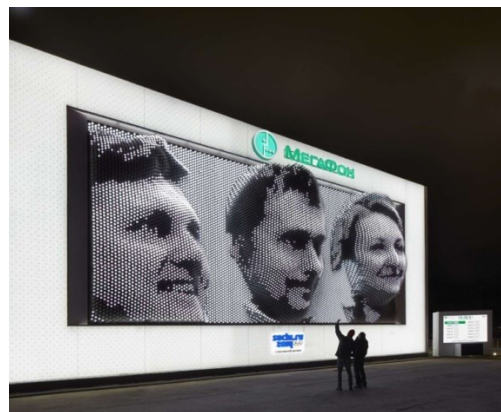


Рис. 5. Селфи-здание в Сочи [21]

Утилитарную архитектуру, предназначенную для фото можно было увидеть в Сочи во время Олимпиады в 2014 году. Лондонский архитектор Асиф Хан спроектировал павильон, возвышающийся над Зимним олимпийским парком, который принимает форму лиц посетителей подобно горе Рашмор (рис. 5). Это первое в мире селфи-здание, представляющее собой гигантский экран, на котором отображались лица посетителей в 3D [21].

В настоящий момент селфи – это материал для исследования качества городской среды [18]. С точки зрения социологии и этнографии, базы

данных стоковой фотографии дают возможность обнаружить визуальные клише и раскрыть социальные конструкты, лежащие в основе современной культуры. Исследователи напоминают, что селфи возникает не как жанр искусства, а как жанр «народного творчества», в этом отношении интересный как факт этнографический и возможный источник для историков повседневности будущих столетий. [22]. Также существует такое понятие, как плавающая популярность – когда при появлении какого-нибудь нового объекта, он вызывает мгновенный интерес и массовый наплыв людей к нему, но интерес достаточно

быстро затухает в виду избыточной массовости информации (включая селфи) в соцсетях, а затем перемещается в новое место с таким же качеством. Однако если объект достаточно качественный, то он начинает привлекать людей на постоянной основе, что дает повод для развития бизнеса на прилегающей территории и точечного увеличения стоимости недвижимости и т.п.

И все же лишь небольшая часть селфи делается в помещениях. Большинство фотографий сделаны в основном на фоне архитектуры или природы. По селфи можно узнать о популярности того или иного пространства и сделать вывод о его безопасности и привлекательности.

Также КБ «Стрелка» провела анализ на данную тему, и выяснилось, что жители малых городов предпочитают делать фото в помещении или на фоне природы в отличие от мегаполисов, это связано с дефицитом привлекательности среды [18]. А возможно и то, что в столичных городах

просто не осталось природного окружения. И то, что на периферии проще вырваться из города на природу, а как факт – природное окружение всегда влияло на человека расслабляюще и умиротворяюще, что очень не хватает в современном сверх перегруженном эмоциями и информацией мире.

Но преднамеренное создание объектов, ориентированных на селфи-культуру может стать губительной ошибкой архитектора, превратится в декорацию и ее основная функция уйдет на второй план. Конечно, за время исторического развития архитектуры были стили с упором на форму это - постмодернизм, биотек, деконструктивизм и т.д., где архитектура сама являлась арт-объектом (рис. 6 а, б). Поэтому следует найти баланс между функцией и декорацией. И если на фоне городских пространств и объектов делают снимки, значит, посыл мастера принят людьми.



Рис. 6. Архитектура – арт-объект:
а) Прага, Чехия [23], б) Пиза, Италия [24]

Иногда люди в погоне за красивыми снимками начинают влиять на дизайн интерьеров и реальную архитектуру. Так, почувствовав новую нарождающуюся тенденцию, архитектурная студия Vale Architects выпустила «Руководство по дизайну Instagram». Согласно концепции студии, благодаря данному руководству архитекторы и дизайнеры смогут выстраивать свои проекты таким образом, чтобы гости отелей и ресторанов производили больше селфи и делились полученными впечатлениями в Инстаграм, делая рекламу данным заведениям [25].

В большинстве своем города обладают уникальностью в силу своего ландшафта, культурных смыслов и архитектурных черт. Яркими примерами являются туристические города, расположенные на морском побережье (Сочи, Севастополь, Калининград, Владивосток). А также города, находящиеся в горной местности (Петропавловск-Камчатский, Ессентуки, Железноводск), или расположившиеся на берегах рек (Волгоград, Казань, Нижний Новгород, Санкт-Петербург, Иркутск) и т.д. (рис. 7 а, б). Главной особенностью представленных примеров является ландшафт, органично пронизывающий город, и передающий всю самобытность региона.

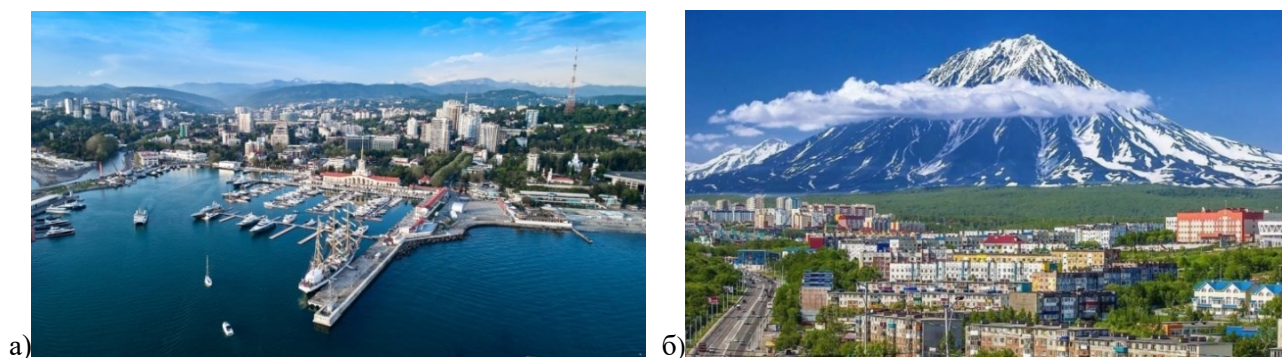


Рис. 7. Городской ландшафт: а) г. Сочи [26] , б) г. Петропавловск-Камчатский [27]

В Тюмени, как и во многих других городах, есть свои объекты, которые притягивают внимание и часто зафиксированы на снимках горожан. Рассматривая селфи-фото, сделанные в общественных местах города, то можно прийти к выводу, что основная масса запечатлена в историческом центре и на фото больше важен фон, чем сам человек.

В результате проведенного исследования, была получена информация по наиболее популярным местам для фото в городе Тюмени. Согласно полученных данных территории можно разделить на следующие категории: среда, объект и фон.

1) Среда (городской пейзаж) - совокупность конкретных основополагающих условий, созданных человеком и природой в границах населен-

ного пункта, которые оказывают влияние на уровень и качество жизнедеятельности человека [28].

- Набережная (рис. 8а);
- Цветной бульвар (рис. 8б);
- Площадь Ленина;
- Площадь 400-летия Тюмени.

Больше всего фотографий, если рассматривать данные пространства, сделаны на Набережной. Основная масса фотографирующих - это гости города, которые приезжают посмотреть достопримечательности. Конечно, количество фотографий не всегда говорит о качестве архитектуры, а скорее всего об ее популярности по разным причинам. Что касается Набережной, то это исторический центр и визитная карточка города, где магнитом является река Тура и рядом находится много кафе и ресторанов. На данных фото превалирует среда, как впечатление от места.



Рис. 8. Городская среда Тюмени:
а) Набережная р. Туры [29], б) Цветной бульвар [30]

2) Объект (архитектурный объект) - здание, сооружение, комплекс зданий и сооружений, их интерьер, объект благоустройства, ландшафтного или садово-паркового искусства, созданный на основе архитектурного проекта. Представляет собой предмет городского интереса, искусственного или естественного происхождения [31].

- Памятники архитектурного наследия (исторический центр города);
- Мост Влюбленных (рис. 9а);

- Тюменский драматический театр (рис. 9б);
- Колесо обозрения;
- Фонтаны;
- Городская скульптура (памятник Ю. Никулину, Сквер сибирских кошек).

Лидирует в этом списке памятники архитектурного наследия, которые расположены в историческом центре города. К ним относятся ключевые университеты города, церкви на фоне которых, часто делаются снимки. На этих снимках человек ассоциирует себя с данным объектом или

местом. А также много фотографий на фоне исторических зданий, где есть рестораны и кафе. В таком случае архитектура имеет функциональное наполнение, тем самым привлекает людей, но в тоже время она является примером качественного исполнения. Поэтому в Тюмени очень важная для исторического города проблема взаимона

связи старого и нового может решаться по принципу «город в городе: старый центр, не изменяя своей структуры и внешнего вида, может жить, не подвергаясь ассимиляции со стороны новой застройки [32]. Практически наравне с исторической архитектурой набирает популярность Мост Влюбленных, который также часто фигурирует на фото в социальных сетях.



а)



б)

Рис. 9. Архитектурные объекты Тюмени:

а) Мост Влюбленных [33], б) Тюменский драматический театр [34]

3) Фон (экстерьер в интерьере) – задний план, обстановка, окружение, способствующие выделению главных элементов композиции [35]. Именно фон, на который спроецирована фигура, призван проявить черты модели. Учитывая все это, сложно вообразить существование селфи в отрыве фона. Несмотря на это, порой дифференцировать фигуру и фон в селфи представляется крайне затруднительным, так как отношение фигуры и фона амбивалентно в силу самого понятия «фон», который может обозначать либо «задний план», либо «основание» [36].

- Cafe 15/86;

- Аквапарк;

- Кафе с видом на главную улицу города.

Из перечисленных объектов можно выделить «Cafe 15/86», в нем сделано большое количество фото, если рассматривать последние 5 лет, когда селфи-культура достигает своего пика. Но стоит заметить, что фотографируют не себя на фоне интерьера, а выигрышным кадром является вид из окна на набережную (рис. 10). Которая является местом притяжения в городе Тюмени. Но в большей степени на кадрах из этих мест преобладает человек.



Рис. 10. Кафе 15/86 [37]

Проанализировав данные категории можно заметить, что тюменская набережная со всеми своими объектами лидирует в этих разделах. Данная рекреация является фоном и объектом одновременно. В основе данного гидротехниче-

ского сооружения совмещены главные постулаты архитектуры, это польза, прочность и красота. Набережная является местом комфортного отдыха, развлечения горожан и визитной карточкой города (рис. 11).

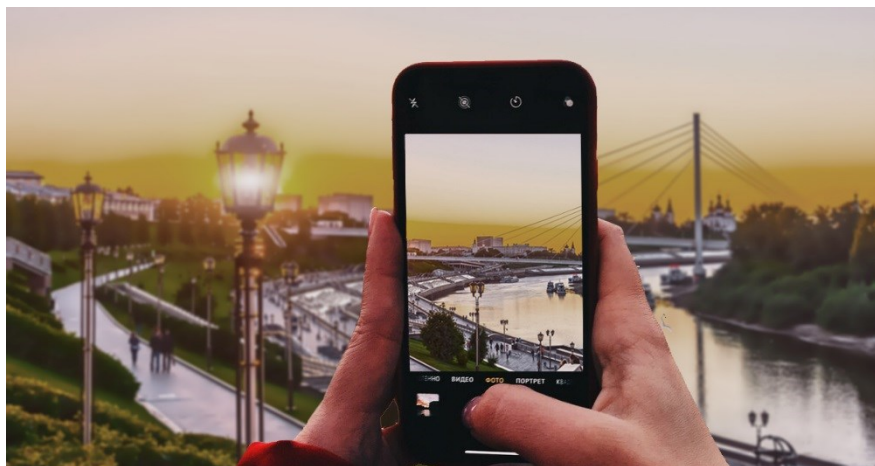


Рис. 11. Набережная реки Туры

Выводы. Культура запечатлевания людей (портреты) или самих себя (автопортреты) на фоне значимых архитектурных сооружений известно давно, однако с развитием носимой цифровой техники, смартфонов в частности, и потребность делиться данным настроением с другими людьми стало отправной точкой для развития новой селфи-культуры в обществе. Вопрос о рассмотрении данного процесса в обществе в качестве новой культуры или простого модного течения в настоящий момент остается открытым и требует изучения со стороны культурологических исследований. Проводимое же авторами настоящей публикации исследование направлено на изучение восприятия архитектурного облика городов на формирование городской айдентики, ранее недостаточно рассмотренное в исследовательских работах по данному направлению, что и является одним из основных элементов научной новизны. При этом следует отметить, что исследование проводится не только через рассмотрение памятников истории и культуры или знаковые сверхсовременные архитектурные объекты, которые обычно и составляют знаковый имидж городов. В основу тематики настоящей статьи положен принцип «народного принятия» - восприятие айдентики города и городской среды через отношения горожан и гостей города к тем или иным объектам, которые им хочется сохранить в памяти при помощи фотографии.

Рассмотрев данные объекты Тюмени, можно отметить, что в городе много привлекательных общественных мест, которые стали элементами селфи-культуры по истечении времени. На основе краткого архитектурного анализа знаковых

объектов были выявлены характерные особенности архитектуры подходящие под новый термин «селфи-архитектура». Анализ показал, что на данный момент в Тюмени нет популярных истинно утилитарных пространств, предназначенных только для фото (селфи-стены и тик-ток-комнаты), как это происходит в других городах. В настоящее время это новое течение не дошло до Тюменского региона, которое формирует культуру. На основе предложенных принципов роль и значение новой культуры будут проанализированы в ходе дальнейшего исследования.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Архитектура – главная летопись человечества // Яндекс Дзен [Электронный ресурс] URL: <https://zen.yandex.ru/media/kladovayaklio/arhitektura--glavnaia-letopis-chelovechestva> 5ed0998e335fdd4d23a72f11 (дата обращения: 5.04.21).
2. Кузеванова Н.С., Симбирцева Н.А. Архитектурные маркеры местности: бренд или визитная карточка? // Лингвокультурология. 2013 [Электронный ресурс] URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/arhitekturnye-markery-mestnosti-brend-ili-vizitnaya-kartochka> (дата обращения: 30.04.21).
3. Солошенко М. С. Что нам говорит архитектура. Влияние зданий и сооружений на человека и общество // Молодой исследователь Дона. 2017 [Электронный ресурс] URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/chto-nam-govorit-arhitektura-vliyanie-zdaniy-i-soruzheniy-na-cheloveka-i-obschestvo> (дата обращения: 29.03.21).

4. Лукаш А. А. Региональные особенности знаковой архитектуры города Тюмень // Архитектура и архитектурная среда: вопросы исторического и современного развития: материалы межд. научно-практической конференции. Тюмень: Изд-во ТИУ, 2020. Т. I. С. 277–284.
5. Фирменный стиль города. Как решают, какой будет айдентика? // Первоуральск Преображение [Электронный ресурс] URL: <https://gorod.pervo.ru/news/firmennyi-stil-goroda> (дата обращения: 20.03.21).
6. Новости // Тюмень. Центр культуры и творчества [Электронный ресурс] URL: <https://ckit72.ru/wp-content/uploads/2020/08/tyumbg-1910x1074.jpg> (дата обращения: 10.03.21).
7. Красная площадь. Москва. Достопримечательности // FunART.pro [Электронный ресурс] URL: <https://funart.pro/26203-krasnaja-ploschad-moskva-dostoprimechatelnosti-65-foto.html> (дата обращения: 11.04.21).
8. Ефимов А.В., Мина А.П. Феномен городской идентичности // Architecture and Modern Information Technologies. 2021 [Электронный ресурс] URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/fenomen-gorodskoy-identichnosti> (дата обращения: 31.05.2021).
9. Чурсина Л.В. Формирование городских пространств с использованием информационных технологий // Architecture and Modern Information Technologies. 2021 [Электронный ресурс] URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/formirovanie-gorodskih-sotsialnyh-prostranstv-s-ispolzovaniem-informatsionnyh-tehnologiy> (дата обращения: 23.05.2021).
10. Selfie (definition). Dictionary.com and Oxford University Press (OUP) // Powered by Oxford Lexico URL: <https://www.lexico.com/en/definition/selfie> (дата обращения: 02.05.2021).
11. Droitcour B. A Selfie Is Not a Portrait. // Culturetwo.wordpress.com. 2013 URL: <https://culturetwo.wordpress.com/2013/10/24/a-selfie-is-not-a-portrait> (дата обращения: 16.05.2021).
12. Все, что нужно знать о селфи // Mob-Mobile [Электронный ресурс] URL: <https://yandex.ru/turbo/mob-mobile.ru/s/statya/8310-selfi-chto-takoe-i-kak-pravilno-delat.html> (дата обращения: 01.04.21).
13. Козьминский Р.С. Соотношение фигуры и фона как культурной реальности в селфи // Вестник Челябинского государственного университета. 2019. № 5 (427). Философские науки. Вып. 52. С. 86–90.
14. Афиша // Для мам и пап [Электронный ресурс] URL: <https://mamipapi.ru/sites/default/files/image/interactive/8wkr4r3ka8m.jpg> (дата обращения: 01.05.21).
15. Тестовое благоустройство привокзальной площади Саратова // Live Journal [Электронный ресурс] URL: <https://kellins-vlad.livejournal.com/15431.html?view=comments> (дата обращения: 15.05.21).
16. Погонцева Д.В. Презентация в социальной сети как создание виртуальной татуировки // Философские проблемы информационных технологий и киберпространства. 2013. № 1. С. 92–98.
17. The Art of the Selfie: From Bathroom Mirrors to Olympic-Worthy Architecture // Architizer [Электронный ресурс] URL: <https://architizer.com/blog/practice/details/the-art-of-the-selfie/> (дата обращения: 15.05.2021).
18. Take a photo! Зачем Киеву селфи-архитектура и public art // Pragmatika [Электронный ресурс] URL: <https://pragmatika.media/take-a-photo-selfi-arhitektura-i-art-v-publicnom-prostranstve/> (дата обращения: 15.04.2020).
19. Кто зарабатывает на легендарных граффити в Петербурге // The Village [Электронный ресурс] URL: <https://www.the-village.ru/city/city/222027-graffiti> (дата обращения: 18.04.2021).
20. Selfie wall. Take a selfie now! // 100 Street Architecture & Urban Interventions [Электронный ресурс] URL: <https://100architects.com/project/selfie-wall/> (дата обращения: 05.05.2021).
21. Sochi unveils the world's first 'selfie building' // The Guardian [Электронный ресурс] URL: <https://www.theguardian.com/artanddesign/architecture-design-blog/2014/feb/07/sochi-unveils-the-worlds-first-selfie-building> (дата обращения: 14.05.2021).
22. Джумайло О.А. Новые книги о селфи // Практики и интерпретации: журнал филологических, образовательных и культурных исследований. 2018 [Электронный ресурс] URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/novye-knigi-o-selfi> (дата обращения: 14.05.2021).
23. Travel Vacations Nature on Instagram // Pinterest [Электронный ресурс] URL: <https://www.pinterest.ru/pin/678214025118729877/> (дата обращения: 17.05.2021).
24. Новости // Tourweek [Электронный ресурс] URL: <https://tourweek.ru/upload/main/cf7/%D0%9F%D0%B15.jpg> (дата обращения: 11.05.2021).
25. Instagram Design Guide // Vale Architects [Электронный ресурс] URL: <https://vale-arc.com/instagram-design-guide> (дата обращения: 12.05.2021).
26. Новости // Sochi News [Электронный ресурс] URL: <https://sochinews.io/2020/01/09/sochi-stal-tretim-v-rossii-gorodom-po-poseshhaemostiturovistov/> (дата обращения: 30.04.2021).

27. Петропавловск-Камчатский // Voyage Baikal [Электронный ресурс] URL: <https://voyage-baikal.ru/location/128-petropavlovsk-kamchatskiy/> (дата обращения: 12.04.2021).

28. Городская среда обитания // Карта слов и выражений русского языка [Электронный ресурс] URL: <https://kartaslov.ru> (дата обращения: 17.05.2021).

29. Станет ли Тюмень туристическим городом? // TMN [Электронный ресурс] URL: <http://1tmn.ru/persons/interview/neuzheli-tjumen-vsjo-zhe-stanet-turisticheskim-gorodom-4156551.html> (дата обращения: 21.05.2021).

30. Галерея // New Колос [Электронный ресурс] URL: [Источник: https://newkolos.ru/gallery/](https://newkolos.ru/gallery/) (дата обращения: 18.04.2021).

31. Архитектурный объект // Академик [Электронный ресурс] URL: https://dic.academic.ru/dic.nsf/fin_enc/20190 (дата обращения: 10.04.2020).

32. Жученко Б.А., Заварихин С.П. Тюмень архитектурная. Свердловск: Сред.-Урал. кн. Изд-во, 1984г. С. 211.

33. Страна // Коммерсант [Электронный ресурс] URL: <https://www.kommersant.ru/doc/4640127> (дата обращения: 17.05.2021).

34. Город // Тюмень. Моменты. Агентство ярких новостей [Электронный ресурс] URL: <https://tyumen.momentu.org/city> (дата обращения: 17.05.2021).

35. Фон, значение слова // Толковый словарь Ефремовой [Электронный ресурс] URL: <https://www.efremova.info> (дата обращения: 10.05.2021).

36. Ямпольский М. Изображение: курс лекций. М.: Новое литературное обозрение, 2019. С. 424.

37. 15/86 гриль and вино // Place.run [Электронный ресурс] URL: <https://place.run/tmn/place/otdih/restorany/cafe-15-86-gril-amp-vino-2> (дата обращения: 10.05.2021).

Информация об авторах

Лукаш Алёна Алексеевна, аспирант кафедры архитектуры и градостроительства. E-mail: alyonakoles93@yandex.ru. Тюменский индустриальный университет. Россия 625000, Тюмень, ул. Володарского, д. 38.

Панфилов Александр Владимирович, кандидат архитектуры, доцент, доцент кафедры архитектуры и градостроительства. E-mail: archi-zoom@yandex.ru. Тюменский индустриальный университет. Россия 625000, Тюмень, ул. Володарского, д. 38.

Поступила 25.05.2021 г.

© Лукаш А.А., Панфилов А.В., 2021

**Lukash A.A., Panfilov A.V.*

**E-mail: alyonakoles93@yandex.ru*

SELFIE-ARCHITECTURE OF TYUMEN

Abstract. Architecture is an integral part human life. It influences the psyche and health of people, causing certain associations. Architectural objects are often captured through the lens of cameras. Selfie culture has become a powerful tool for promoting new meanings and designing modern public spaces. The need for selfie backgrounds is increasing. This encourages artists and architects to create interesting solutions for urban space. There are examples of urban street art in many cities around the world and in Russia. In Tyumen, there are memorable objects for visitors and its residents, which in turn are urban landmarks and are responsible for the strategic and economic development of the city. They are recognizable, stand out against the background of a monotonous environment and help to navigate the urban landscape. As a result of conducted research, the information is obtained on the most popular places for photos in the city of Tyumen. Territories can be divided into the following categories: environment, object and background. An architectural structure that meets all the criteria and is a key symbol of the city is selected from the objects considered. The selfie architecture of Tyumen is an integral part of the culture of today. However, at the moment in Tyumen there are no popular truly utilitarian spaces intended only for photos as it happens in other cities.

Keywords. Selfie-architecture, selfie-culture, photo, architecture, Tyumen, city architecture.

REFERENCES

1. Architecture – the main chronicle of mankind [Arkhitektura – glavnaya letopis' chelovech-

estva]. Yandex Zen. URL: <https://zen.yandex.ru/media/kladovayaklio/arhitektura--glavnaia-letopis-chelovechestva-5ed0998e335fdd4d23a72f11> (date accessed: 5.04.21). (rus)

2. Kuzevanova N.S., Simbirceva N.A. Architectural markers of the area: brand or business card? [Arhitekturnye marker mestnosti: brend ili vizitnaya kartochka]. *Linguoculturology*. 2013. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/arhitekturnye-markery-mestnosti-brend-ili-vizitnaya-kartochka> (date accessed: 30.04.21). (rus)
3. Soloshenko M.S. What the architecture tells us. The impact of buildings and structures on people and society [Chto nam govorit arhitektura. Vliyanie zdaniy i soruzheniy na cheloveka i obschestvo]. A young explorer of the Don. 2017 URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/chto-nam-govorit-arhitektura-vliyanie-zdaniy-i-soruzheniy-na-cheloveka-i-obschestvo> (date accessed: 29.03.21). (rus)
4. Lukash A.A. Regional features of the iconic architecture of the city of Tyumen [Regional'nye osobennosti znakovoy arkhitektury goroda Tyumen]. *Architecture and the architectural environment: issues of historical and modern development: materials of the international scientific and practical conference*. Tyumen. TIU, 2020. Vol. I. Pp. 277–284. (rus)
5. Corporate identity of the city. How do they decide what their identity will be? [Firmennyi stil goroda. Kak reshayut, kakoy budet aydentika?]. *Pervoural'sk Preobrazhenie* URL: <https://gorod.pervo.ru/news/firmennyi-stil-goroda> (date accessed: 20.03.21). (rus)
6. News [Novosti]. Tyumen. Center for Culture and Creativity. URL: <https://ckit72.ru/wp-content/uploads/2020/08/tyumbg-1910x1074.jpg> (date accessed: 10.03.21). (rus)
7. Red Square. Moscow. Attractions [Krasnaya ploshchad'. Moskva. Dostoprimechatel'nosti] [Krasnaya ploshchad'. Moskva. Dostoprimechatel'nosti]. *FunART.pro* URL: <https://funart.pro/26203-krasnaya-ploshchad-moskva-dostoprimechatel'nosti-65-foto.html> (date accessed: 11.04.21). (rus)
8. Efimov A.V., Mina A.P. The phenomenon of urban identity [Fenomen gorodskoy identichnosti] *Architecture and Modern Information Technologies*. 2021. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/fenomen-gorodskoy-identichnosti> (date accessed: 31.05.2021). (rus)
9. Chursina L.V. Formation of urban spaces using information technologies [Formirovanie gorodskikh prostranstv s ispol'zovaniem informatsionnykh tekhnologiy] *Architecture and Modern Information Technologies*. 2021. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/formirovanie-gorodskikh-sotsialnyh-prostranstv-s-ispolzovaniem-informatsionnyh-tehnologiy> (date accessed: 23.05.2021). (rus)
10. Selfie (definition). *Dictionary.com* and *Oxford University Press (OUP)*. Powered by Oxford Lexico URL: <https://www.lexico.com/en/definition/selfie> (date accessed: 2.05.2021). (rus)
11. Droitcour B. A Selfie Is Not a Portrait. *Culturetwo.wordpress.com*. 2013. URL: <https://culturetwo.wordpress.com/2013/10/24/a-selfie-is-not-a-portrait> (date accessed: 16.05.2021)
12. Everything you need to know about selfies. [Vse, chto nuzhno znat' o selfi]. *Mob-Mobile*. URL: <https://yandex.ru/turbo/mob-mobile.ru/s/statya/8310-selfi-chto-takoe-i-kak-pravilno-delat.html> (date accessed: 01.04.21). (rus)
13. Kozyatinskiy R.S. The relationship between the figure and the background as a cultural reality in selfies. [Sootnoshenie figury i fona kak kul'turnoy real'nosti v selfi]. *Bulletin of the Chelyabinsk State University*. 2019. No. 5 (427). *Philosophical sciences*. Vol. 52. C. 86–90. (rus)
14. Playbill [Afisha]. *Mamipapi*. URL: <https://mamipapi.ru/sites/default/files/image/interactive/8wkr4r3ka8m.jpg> (date accessed: 01.05.21). (rus)
15. Test improvement of the forecourt of Saratov [Testovoe blagoustroystvo privokzal'noy ploshchadi Saratova]. *Live Journal*. URL: <https://kellins-vlad.livejournal.com/15431.html?view=comments> (date accessed: 15.05.21). (rus)
16. Pogonseva D.V. Presentation on a social network how to create a virtual tattoo [Prezentatsiya v sotsial'noy seti kak sozdanie virtual'noy tatuirovki]. *Philosophical problems of information technologies and cyberspace*. 2013. No. 1. Pp. 92–98. (rus)
17. The Art of the Selfie: From Bathroom Mirrors to Olympic-Worthy Architecture. *Architizer* URL: <https://architizer.com/blog/practice/details/the-art-of-the-selfie/> (date accessed: 15.05.2021). (rus)
18. Take a photo! Why does Kiev need selfie architecture and public art? [Zachem Kievu selfi-arkhitektura i public art?]. *Pragmatika* URL: <https://pragmatika.media/take-a-photo-selfi-arkhitektura-i-art-v-publicnom-prostranstve/> (date accessed: 15.04.2020). (rus)
19. Who makes money on the legendary graffiti in St. Petersburg? [Kto zarabatyvaet na legendarnykh graffiti v Peterburge?]. *The Village*. URL: <https://www.the-village.ru/city/city/222027-graffiti> (date accessed: 18.04.2021). (rus)
20. Selfie wall. Take a selfie now! 100 Street Architecture & Urban Interventions. URL: <https://100architects.com/project/selfie-wall/> (date accessed: 05.05.2020). (rus)
21. Sochi unveils the world's first 'selfie building'. *The Guardian*. URL: <https://www.theguardian.com/artanddesign/architecture-design-blog/2014/feb/07/sochi-unveils-the-worlds-first-selfie-building> (date accessed: 14.05.2020). (rus)

22. Dzhumayl O.A. New books about selfies [Novye knigi o selfi] Practices and Interpretations: Journal of Philological, Educational, and Cultural Studies. 2018. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/novye-knigi-o-selfi> (date accessed: 14.05.2021). (rus)
23. Travel Vacations Nature on Instagram. Pinterest URL: <https://www.pinterest.ru/pin/678214025118729877/> (date accessed: 17.05.2021). (rus)
24. News [Novosti]. Tourweek. URL: <https://tourweek.ru/upload/main/cf7/%D0%9F%D0%B15.jpg> (date accessed: 11.05.2021). (rus)
25. Instagram Design Guide. Vale Architects. URL: <https://valearc.com/instagram-design-guide> (date accessed: 12.05.2021). (rus)
26. News [Novosti]. Sochi News. URL: <https://sochinews.io/2020/01/09/sochi-stal-tretim-v-rossii-gorodom-po-poseshhaemosti-turistov/> (date accessed: 30.04.2021). (rus)
27. Petropavlovsk-Kamchatsky [Petropavlovsk-Kamchatsky]. Voyage Baikal. URL: <https://voyage-baikal.ru/location/128-petropavlovsk-kamchatskiy/> (date accessed: 12.04.2021). (rus)
28. Urban habitat [Gorodskaya sreda obitaniya]. Map of words and expressions of the Russian language. URL: <https://kartaslov.ru> (date accessed: 17.05.2020). (rus)
29. Will Tyumen become a tourist city? [Stanet li Tyumen' turistichestkim gorodom?] TMN. URL: <http://1tmn.ru/persons/interview/neuzheli-tjumen-vsjo-zhe-stanet-turisticheskim-gorodom-4156551.html> (date accessed: 21.05.2021). (rus)
30. Gallery [Galereya] New Kolos. URL: <https://newkolos.ru/gallery/> (date accessed: 18.04.2021). (rus)
31. Architectural object [Arkhitekturnyy ob'ekt]. Academic/ URL: https://dic.academic.ru/dic.nsf/fin_enc/20190 (date accessed: 10.04.2020). (rus)
32. Zhuchenko B.A., Zavarikhin S.P. Tyumen architectural [Tyumen arkhitekturnaya]. Sverdlovsk: Sred.-Ural. book Ed., 1984. Pp. 211. (rus)
33. Country [Strana]. Kommersant. URL: <https://www.kommersant.ru/doc/4640127> (date accessed: 17.05.2021). (rus)
34. City [Gorod]. Tyumen. Momenty. URL: <https://tyumen.momenty.org/city> (date accessed: 17.05.2021). (rus)
35. Background, meaning of the word [Fon, znachenie slova] Efremova's Explanatory Dictionary. URL: <https://www.efremova.info> (дата обращения: 10.05.2020). (rus)
36. Yampolsky M. Image: a course of lectures [Yampol'skiy M. Izobrazhenie: kurs lektsiy]. M.: New Literary Review, 2019. Pp. 424. (rus)
37. 15/86 grill and wine [15/86 gril' and vino]. Place.run. URL: <https://place.run/tmn/place/otdih/restorany/cafe-15-86-gril-amp-vino-2> (date accessed: 10.05.2021). (rus)

Information about the authors

Lukash, Alyona A. Postgraduate student. E-mail: alyonakoles93@yandex.ru. Tyumen industrial University. Russia, 625000, Tyumen, Volodarskogo st., 38.

Panfilov, Aleksandr V. PhD in Arch. E-mail: archi-zoom@yandex.ru. Tyumen industrial University. Russia, 625000, Tyumen, Volodarskogo st., 38.

Received 25.05.2021

Для цитирования:

Лукаш А.А., Панфилов А.В. Селфи-архитектура Тюмени // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2021. № 7. С. 62–72. DOI: 10.34031/2071-7318-2021-6-7-62-72

For citation:

Lukash A.A., Panfilov A.V. Selfie-architecture of Tyumen. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2021. No. 7. Pp. 62–72. DOI: 10.34031/2071-7318-2021-6-7-62-72

Чечель И.П.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

E-mail: golden-line7@yandex.ru.

СОВРЕМЕННЫЕ УСЛОВИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И КОМПОНЕНТЫ АРХИТЕКТУРНОЙ КОНЦЕПЦИИ ОБЩЕОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ШКОЛ

Аннотация. Сегодня в стране реализуются масштабные программы по строительству объектов общего образования. Российская архитектура общеобразовательных зданий под воздействием условий современного этапа в развитии государства и общества, а также задач, предъявляемых ими к становлению нового поколения граждан, в целом, и отдельной личности, в частности, постепенно отходит от апробированных практикой стандартных архитектурных решений. Анализ работ современных российских архитекторов говорит о том, что в стране начат и уверенно набирает темпы процесс формирования архитектуры школьного здания нового поколения.

По мнению автора, процесс идет под воздействием ряда объективных условий, к которым автор относит: необходимость создания экономически эффективного архитектурного решения проектной документации для массового строительства объекта общего образования на территории РФ; продолжение традиций авторского архитектурного проектирования для государственного сектора объектов образования и усиление влияния архитектуры негосударственного (частного) сектора на формирование новаторского школьного здания нового поколения; влияние реформаторских процессов в сфере педагогических технологий системы общего образования и комплексного решения вопросов обеспечения безопасности и антитеррористической защищенности объекта общего образования на формирование архитектуры школьного здания; функционирование объекта общего образования в условиях Чрезвычайной ситуации (пандемия) и перехода к информационному обществу эпохи цифровизации, обеспечение выполнения требований Федеральных Законов РФ в сфере безопасности объекта общего образования.

Исходя из выявленных условий, предложена новая систематизация компонентов архитектурной концепции и сформулированы принципы, необходимые для создания общеобразовательного здания, отвечающего запросу времени.

Ключевые слова: общеобразовательная школа, современные условия, архитектура нового поколения, компоненты, принципы.

Введение. В Российской Федерации традиции формирования архитектуры объектов общего образования берут начало от первых советских типовых проектов школьных зданий 30–40-х гг. XX века. Архитектуру советских, а позже российских школ, всегда отличали стандартный функциональный набор помещений, аскетичный образ фасадов и внутренних пространств, что позволяло, однако, архитекторам обеспечить выполнение задач, стоящих перед общим образованием в масштабах страны [1–4].

Степень разработанности темы исследования. Теоретическую основу исследования сформировали исследования, затрагивающие основы методологии современного архитектурно-строительного проектирования и история развития строительства общественных зданий: В.В. Адамовича, Г.В. Барановского, Б.Г. Бархина, В.В. Бархина, С.А. Болотина, Н.П. Вильчика, Ю.П. Волчок, А.Л. Гельфонд, А.В. Захарова, С.Г. Змеул, А.В. Иконникова, С.Я. Кузнецова, Б.Л. Крундышева, И.Г. Лежавы, Д.Р. Маилян, Т.Г. Маклаковой, В.П. Мироненко, Б.И. Ниясова, В.И. Степанова, М.И. Тосуновой, В.Г. Шара-

пенко, В.М. Щербининой, Л.Ф. Шубина, С.Г. Янчуковича. Научными исследованиями в области проектирования, реконструкции и модернизации школьных зданий занимались О.А. Буник, Н.А. Выхольский, Н.М. Евтушенко-Мулукаева, Н.А. Калинкина, А.В. Миронюк, Е.В. Пименова, С.В. Позняк, С.П. Славинский, В.В. Смирнов. Формированием нормативно-технической базы для проектирования объектов образования занимались А.Е. Блиндер, А.М. Гарнец, Ю.В. Герасименко, В.В. Гурьев, Б.В. Дмитриев, В.Н. Зигерн-Корн, А.В. Кузилин, Ю.В. Кривцов, Е.А. Лепешкина, В.В. Пивоваров, М.В. Толмачева, С.М. Ройтбурд. С целью выявления особенностей общеобразовательных зданий зарубежных стран в исследовании рассматриваются школы в Великобритании, США, Финляндии, Бельгии, Японии и Китая.

С переходом на новые социально-экономические принципы государственного устройства, в дополнение к сложившейся советской системе общего образования, в стране появились новые виды общеобразовательных организаций. В настоящее время к ним относятся общеобразовательные школы начального, основного и стар-

шего уровня образования, гимназии, лицеи, колледжи, а также учебные центры дополнительного образования. В стране функционируют государственные (муниципальные) и негосударственные (частные) общеобразовательные организации. При этом необходимо обеспечить равные возможности для детей, обучающихся в государственной или частной общеобразовательной организации. Частные школы, имеющие лицензию и аккредитацию, как и государственные, обязаны следовать требованиям Федеральных государственных образовательных стандартов (ФГОС), и требования к содержанию и качеству образования едины для частных и государственных, сельских и городских школ [5].

Разница в структуре организации и настройке образовательного процесса накладывает отпечаток на архитектуру самого здания и сегодня наблюдается все больше различий в принципиальных подходах при проектировании этих объектов. В современных школах необходимо учитывать не только прямое воздействие на учащегося через образовательные технологии, но и косвенное – через его ближайшую окружающую архитектурную среду [6]. Становится понятным, что функционировать в «старых стенах» российская «новая школа» уже не может, необходимо создание новаторских проектов нового поколения для строительства в РФ.

Проблема исследования заключается в существующем противоречии между исторически сложившейся типологией школьного здания и современными условиями проектирования. Существует необходимость проведения системного анализа условий текущего периода, что позволит сформулировать принципы для создания здания школы, отмечающего запросы времени.

Цель и постановка задач. Цель анализ современных условий проектирования объектов общего образования в РФ и формулирование принципов, необходимых для разработки архитектурной концепции школьного здания нового поколения для строительства на территории РФ.

Задачи:

1. Изучение современного опыта проектирования государственных и частных объектов общего образования в РФ
2. Изучение современного опыта проектирования государственных и частных объектов общего образования в зарубежных странах
3. Определение современных условий и их влияния на архитектурное проектирование объекта общего образования
4. Разработка новой систематизации компонентов архитектурной концепции и их привязки к нормативным документам системы технического регулирования РФ.

5. Определение принципов, необходимых для разработки архитектурной концепции школьного здания нового поколения для строительства на территории РФ.

Материалы и методы. Исследование основано на комплексном подходе, включающем анализ и обобщение научной и нормативно-правовой литературы, изучение современной отечественной и зарубежной практики архитектурного проектирования общеобразовательных зданий, нормативно-правовые и нормативно-технические документы системы технического регулирования РФ. Методы исследования основаны на принципах системного подхода и комплексного и структурного анализа. При выполнении исследования использованы методы обобщения и сравнительного анализа материалов, полученных из литературных и архивных источников, нормативных и правовых документов, научных трудов, публикаций представителей органов государственной власти и местного самоуправления, проектной документации. При обработке полученных данных применялся метод графического анализа

Основная часть. Проектирование зданий общеобразовательных организаций в нашей стране длительное время оставалось достаточно консервативным, однако сегодня, когда на всей территории Российской Федерации реализуются масштабные программы по строительству общеобразовательных зданий, необходим выход на проекты нового поколения, которые будут отвечать новым требованиям по комфортности и безопасности данных объектов. В исследовании автором сформулирован ряд условий, характеризующий современный этап, которые выводят процесс проектирования школы за рамки привычной парадигмы.

1. Необходимость создания экономически эффективного архитектурного решения проектной документации для массового строительства зданий общеобразовательных школ на территории РФ.

Главной задачей, вытекающей из данного условия, является возрождение в стране института типового проектирования и строительство объектов общего образования по проектам повторного применения для государственных образовательных организаций.

С принятием ряда законодательных актов федерального и регионального уровней о развитии общей школы остро встал вопрос об увеличении темпов и объемов строительства общеобразовательных зданий, а также повышения эффективности затрачиваемых на их строительство капиталовложений. Практика показала, что для

обеспечения высоких темпов строительства инструмент индивидуального проектирования не является эффективным – индивидуальные проекты, разработанные и реализованные в конце 1990-х и начале 2000-х гг., отличает высокая стоимость и длительный инвестиционный цикл. В связи с этим с 2011 г. Министерство строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации (Минстрой России) инициировало процесс по возрождению института типового проектирования, утраченного в перестроечный период. В документе отмечено: «в целях экономии средств федерального бюджета, бюджетов субъектов Российской Федерации и местных бюджетов, направляемых на подготовку проектной документации, и популяризации современных экономических архитектурно-планировочных, конструктивных, инженерно-технических, технологических и организационных решений, применяемых при подготовке проектной документации, Правительство Российской Федерации постановляет... согласиться с предложением Министерства регионального развития Российской Федерации о формировании реестра типовой проектной документации»¹.

По предложению Минстроя России, в качестве типовых сегодня применяются индивидуальные проекты, успешно прошедшие государственную экспертизу, признанные экономически эффективными и рекомендованные для повторного применения. Применение повторно примененных проектов, по расчетам специалистов Минстроя, позволяет сократить сроки проектирования на 40 %.

Сегодня проекты из реестра Минстроя России применяются на всей территории РФ. Так, например, в г. Старый Оскол Белгородской области, в микрорайоне Степной, завершается строительство общеобразовательной школы на 1100 учащихся, которая строится по проекту повторного применения. Этот проект был разработан ООО «Пензагропроект» для строительства объекта «Общеобразовательное учреждение вместимостью 1100 мест на территории 6 очереди строительства микрорайона № 5 «Терновка» Пензенского района Пензенской области» и был выбран заказчиком в качестве проекта повторного применения для данного строительства.

Проект привязки проекта повторного применения был выполнен ООО «Гипрогор плюс» в 2017 г. (рис. 1).

В качестве примера реализованного проекта, так же включенного в реестр Минстроя России, можно привести школу на 200 учащихся с детским садом, строительство которой было начато в 2018 г. в микрорайоне «Новая жизнь» Юго-Западного микрорайона г. Белгород. Здание возводилось в рамках регионального проекта «Новая жизнь» с использованием современных технологий, здесь будут располагаться просторные учебные классы и дошкольные группы, разнообразные игровые и спортивные площадки (рис. 2) [6].

В реестр включена также школа на 1100 учащихся, запроектированная для п. Таврово Белгородского района (автор проекта – ОАО «Белгородоблпроект») (рис. 3).

В настоящее время на базе Минстроя России создана библиотека проектов для повторного применения², признанных в качестве типовых, для их последующей привязки к климатическим поясам различных регионов страны. Всего в реестре в настоящее время находится 1423 проекта. Они отвечают критериям экономической эффективности и рекомендованы для применения по всей стране. В реестр включены в том числе 374 проекта зданий общеобразовательных школ [6].

2. Продолжение традиций авторского архитектурного проектирования для государственного сектора объектов образования и усиление влияния архитектуры негосударственного (частного) сектора на формирование новаторского школьного здания нового поколения.

В стране функционируют государственные (муниципальные) и негосударственные (частные) общеобразовательные организации. В основном негосударственные школы развиты в крупных городах, городах-миллионниках: там больше потребительский спрос, выше квалификация педагогического персонала, больше возможностей для обеспечения материально-технических условий. В сельских районах частные школы практически не представлены. Многопрофильность, индивидуальный подход и более высокое качество обучения – это те характеристики, которые звучат в экспертных формулировках за-

¹ Постановление Правительства РФ от 27 сентября 2011 г. №791 «О формировании реестра типовой проектной документации и внесении изменения в некоторые Постановления Правительства Российской Федерации (в ред. Постановления Правительства РФ от 12 ноября 2016 г. N 1159) (URL: <https://base.garant.ru/12190197/>)

² Проектной документацией повторного использования признается проектная документация объекта капитального строительства, которая получила положительное заключение

экспертизы проектной документации и может быть использована при подготовке проектной документации для строительства аналогичного по назначению и проектной мощности объекта капитального строительства. Градостроительный кодекс Российской Федерации от 29.12.2004 N 190-ФЗ (ред. от 31.07.2020) (с изм. и доп., вступ. в силу с 28.08.2020)

(URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_51040/e28786fad1462e72eff37c56d41b2ae7f1304e47/)

проса к частным школам и фиксируются как преимущества частных школ [5]. Финансирование государственных (муниципальных) образовательных организаций ведется, как правило, из

бюджетных источников, а строительство негосударственных (частных) общеобразовательных организаций осуществляется за счет частных инвестиций.



Рис. 1. Общеобразовательная школа на 1100 учащихся в микрорайоне Степной, г.Старый Оскол, Белгородская область. Автор проекта ООО «Пензагипропроект», 2011 г., проект привязки ООО «Гипрогор плюс», 2017 г. [6]



Рис. 2. Начальная школа на 200 учеников (мест), сблокированная с дошкольным образовательным учреждением на 200 воспитанников (мест). мкр. «Новая жизнь», Юго-Западный район, г. Белгород. (Источник: фото: belgorodstroy.ru)

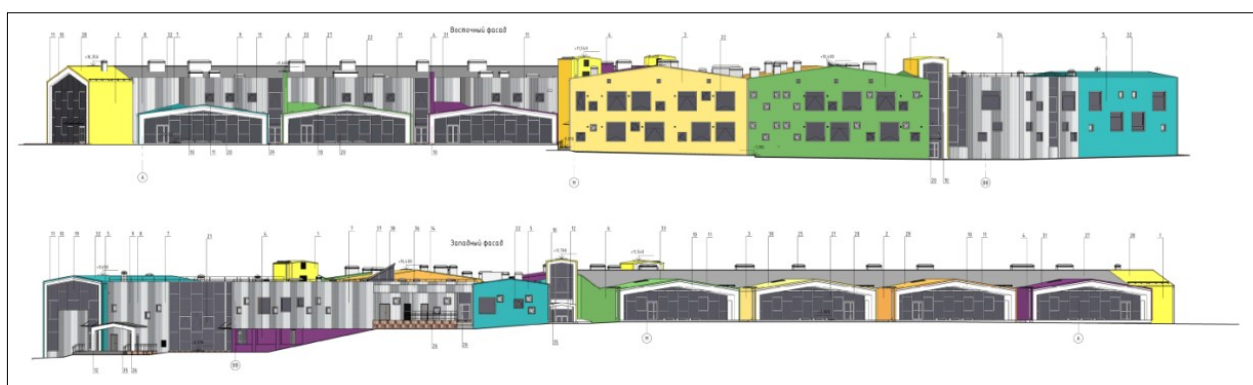


Рис. 3. Начальная школа на 1100 учеников (мест), п. Таврово, Белгородский р-н, ввод в эксплуатацию 2022 г. [6]

Однако, существуют примеры, когда для строительства здания государственной образовательной организации привлекаются и иные, частные источники финансирования. В этом случае, как правило, строительство ведется по авторскому проекту.

В качестве такого примера можно привести проект на строительство МБОУ Пушкинского муниципального района «Средняя общеобразовательная школа № 14», созданный архитектурной компанией ADM (рис. 4) [7]. Здание вошло в шорт-лист архитектурного конкурса «Приметы городов», в число 15 лучших новых общественных зданий в России, построенных в 2015 г. Школа расположена в подмосковном городе

Пушкино, в микрорайоне Мамонтовка. Новое здание запроектировано и построено на месте типового 2-х этажного здания школы (дата строительства -1950 г.). Андрей Романов, сооснователь ADM, архитектор, формулирует свою идею так: «Была идея пластически разделить зоны обучения и зоны для игр. Первый этаж – более сложные формы, здесь дети бегают и играют. Выше – более строгие. Внутренний двор – главный центр школы, здесь проходят все линейки. На уровне второго-третьего этажей это пространство превращается в стеклянную галерею, вокруг нее – рекреационные зоны, холлы и коридоры, где дети бегают на переменах. Прямых коридоров нет, все

пространства необычные» [7]. В здании находится библиотека, пользоваться которой могут не только школьники, но и жители района.

Школа выполняет социальную функцию центра учебно-воспитательной работы в жилой

среде, что обуславливает ее открытый характер для активного приобщения населения, общест-венности и семьи к воспитанию детей и совместной развивающей деятельности по интере-сам.

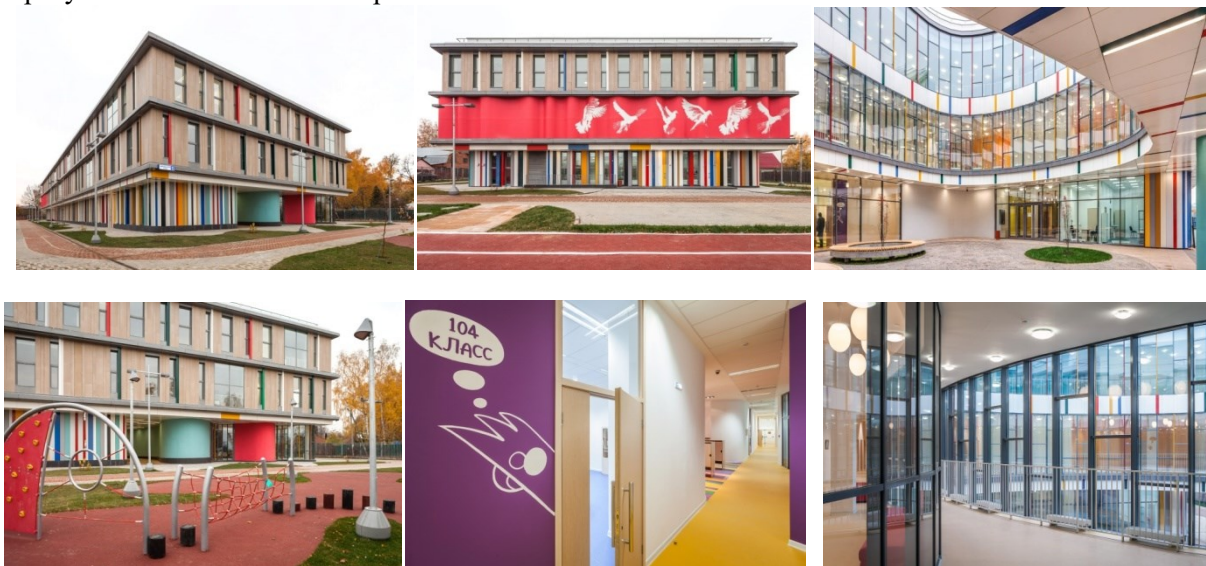


Рис. 4. МБОУ Пушкинского муниципального района Средняя общеобразовательная школа № 14 [7]

К социо-культурному центру можно отнести и проект образовательного центра «Вектор

успеха», который реализован в п. Разумное Белгородской области (рис. 5) [8]



Рис. 5. МОУ «Разуменская средняя общеобразовательная школа № 4 «Вектор успеха» Белгородского р-на Белгородской обл. Автор ООО «Проектное Управление ЖБК-1», г. Белгород [8]

Сегодня российские образовательные школы, реализованные на средства частных инвесторов и относящиеся к частной юрисдикции, представляют собой образовательные комплексы – кластеры, которые отличает разнообразная авторская архитектура.

В аналитическом докладе Высшей школы экономики «Частные школы России: состояние, тенденции и перспективы развития, говорится, что – «...за прошедшие 28 лет частные школы

России прошли довольно серьезный путь своего развития, который начинался с инициативы лидеров от образования, стремящихся создать собственную уникальную школу, и активности предпринимателей, пытающихся освоить открывшийся рынок, а позднее стал трансформироваться в поиск механизмов реализации потребительского спроса. Именно он, по мнению многих

экспертов, определил ключевые отличия негосударственных учебных заведений от их государственных аналогов [5].

Для школьных зданий частного сектора характерно, кроме элементов обязательного обра-

зования, включение в учебный процесс опций дополнительного образования, как например, в Первой Московской Гимназии, расположенной в п. Липки, г. Москва.



Рис. 6. Первая Московская гимназия, п. Липки, г. Москва
(Источник: <https://gymnasia.ru/>)

Образовательная организация была основана Е. Батуриной в 2000 г. и работает по модели индивидуального и непрерывного образования с 2,5 до 18 лет в рамках единого учебного кампуса. Школа-комплекс расположен в сосновом лесу на собственной территории, площадь которой составляет 12 гектар. Учебный кампус включает в себя здание детского сада с бассейном, залом с детскими тренажерами, физкультурным и музыкальным залами, столовой и медицинским кабинетом, здание начальной школы со спортивным залом, столовой и медицинским кабинетом, четыре учебных корпуса старшей школы с медицинским центром и столовой, физкультурно-оздоровительный центр: теннисный корт, бассейн, дискозал, шахматный клуб и чайный домик с литературной гостиной (рис. 6).

С момента проектирования и запуска комплекса в эксплуатацию прошло 20 лет, за это время современная архитектура российских школьных зданий значительно усложнилась и сегодня отличается большим разнообразием с нестандартными архитектурными решениями.

Примером школьного комплекса – образовательного кластера с новаторской архитектурой является т.н. «Умная школа» в г. Иркутске. Для проектирования комплекса был объявлен Международный архитектурный конкурс на разработку архитектурной концепции. Победителем

стало датское архитектурное бюро СЕВРА (рис. 7). Образовательный комплекс строится в Иркутске на берегу Ангары на участке площадью в 20 га. Проектная мощность комплекса рассчитана на 1000 учащихся. Предполагается, что 15 % детей от общего количества учащихся будут дети из приемных семей, оставшиеся без попечения родителей.

По замыслу архитекторов в состав образовательного кластера войдут 37 новых зданий: коттеджи для проживания семей с приемными детьми, детский сад, здание начальной школы, здание старшей школы, спортивный комплекс, культурно-досуговый комплекс, это школа-парк, где можно гулять свободно. Ребенок в школе будет пробовать себя в разных видах деятельности, тестировать различные социальные роли – значит, само пространство школы должно предоставить ему возможность подобных образовательных путешествий. В этих проектах занятия в классных коллективах (до 30 человек) чередуются с групповыми (12–15), индивидуальными (1–3) и поточными (до 100 человек в большой лекционной аудитории) [19].

Следует отметить, что российские архитектурные проекты для частной школы отличаются от стандартных решений и применение новых оригинальных идей, которые опираются на зарубежный опыт проектирования.



Рис. 7. Проект «Умная школа», 2011 г., г. Иркутск
(Источник: <http://умная-школа.рф/about/faq>)

Показательной, с точки зрения новаторства, является архитектура школьных зданий, реализованных строительством в ряде зарубежных стран, которым характерны индивидуальность, разнообразие и смелость образов (рис. 8, а-д). Во Франции в 2014 г. в пригороде Парижа была открыта так называемая «зеленая школа» (рис. 8, ж). Это самая «зелёная» школа в мире, в которой здание школы имеет множество уровней, завершает которые «зелёная» крыша. По мнению авторов проекта, «Зелёная школа» станет успешным примером автономной экосистемы в условиях города и поможет расширить знания учащихся о флоре и фауне, научит юных граждан заботиться о сохранении живой природы в будущем.

Успехи в общем уровне образования в ряде отдельных стран достигаются комплексом мер, среди которых важным представляется создание уникальной среды, в которой находятся школьники. По результатам анализа современных проектов зарубежных стран, можно заметить, что многие из них организуют специальные места для общения детей. Помимо традиционных рекреаций, в эти проекты включаются многосветные атриумные пространства, «зимние сады», конструкции в виде широких лестниц, на зеленых крышах организуются зоны для отдыха (рис. 8, з) [9–15].

3. Влияние реформаторских процессов в сфере педагогических технологий системы общего образования на формирование архитектуры школьного здания.

Прорыв в развитии страны невозможен без формирования с детства инициативной, творческой, ответственной личности. Школа является важным элементом в этом процессе. Главные задачи современной школы – это раскрытие способностей каждого ученика, воспитание активного гражданина и патриота, личности, готовой к жизни в высокотехнологичном, конкурентном

мире. Школьное обучение планируется построить так, чтобы выпускники могли самостоятельно ставить и достигать серьёзных целей, умело реагировать на разные жизненные ситуации.

Документ, имеющий стратегическое значение в реформировании системы общего образования в Российской Федерации – Национальная образовательная инициатива «Наша новая школа», был утвержден Президентом РФ 4 февраля 2010 г. Основными задачами, которые заложены в Национальной образовательной инициативе «Наша новая школа» являются переход на новые образовательные стандарты, развитие системы поддержки талантливых детей, совершенствование учительского корпуса, изменение школьной инфраструктуры, сохранение и укрепление здоровья школьников, расширение самостоятельности школ [16].

В зарубежных странах новые технологии и образовательные принципы в педагогике являются не только двигателем образовательных реформ, но и основой для работы архитекторов, которые создают современные школьные здания и пространства. Большую роль в процессе проектирования каждой новой школы играет взаимодействие архитекторов с преподавательским составом, администрацией школы, государственными служащими и жителями города. Такое «соучастующее проектирование» позволяет архитектору перенести общепринятые базовые принципы в образовании в проектируемые школьные здания [17].

Сегодня перед педагогическим сообществом страны стоит задача воспитания человека, способного жить в условиях постиндустриального, информационного общества. Поэтому система образования перестраивается и берет ориентир на технологии развивающего обучения, способные воспитать инновационного, нестандартно мыслящего, современного человека.

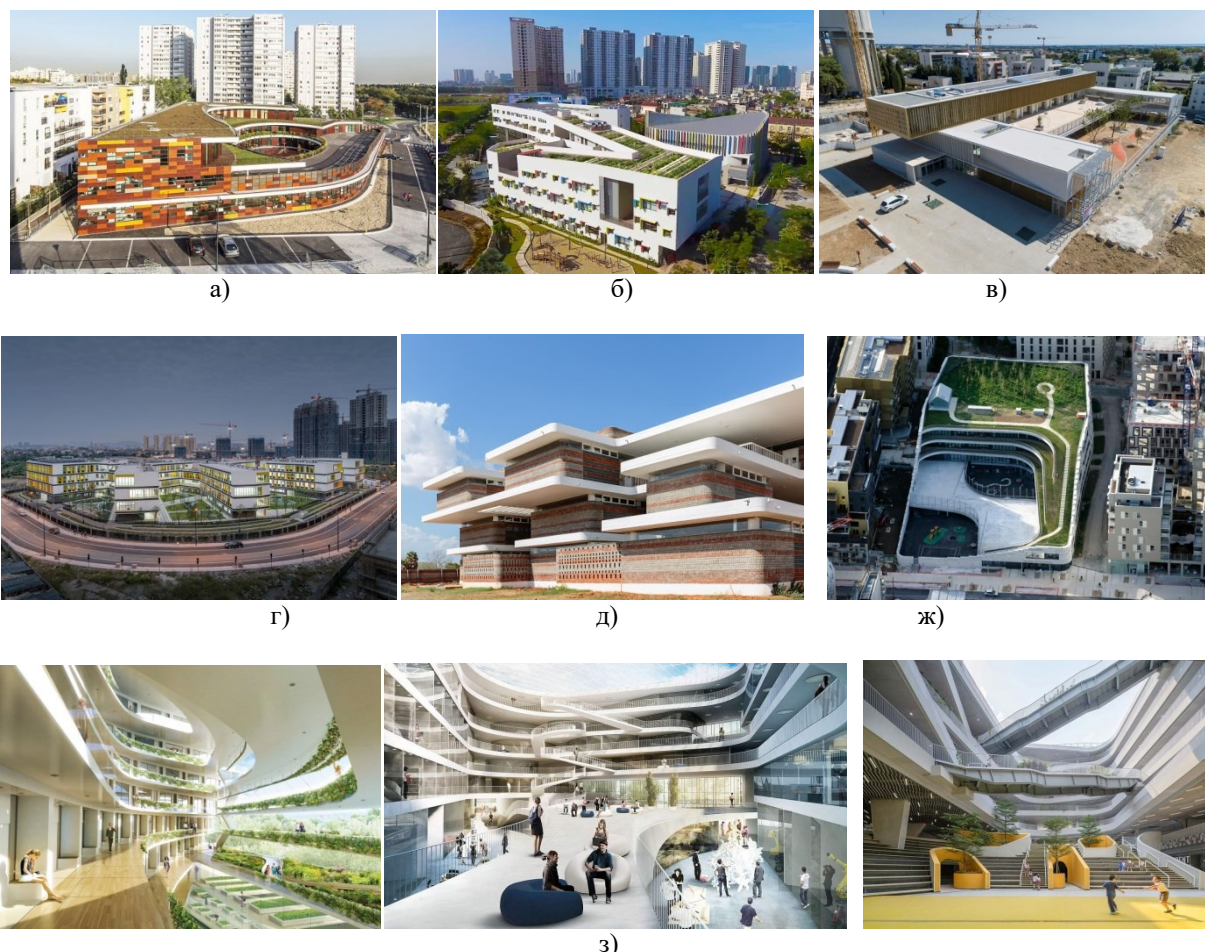


Рис. 8. Зарубежный опыт проектирования школьных зданий:

а – Школьный и досуговый центр в Париже, Франция; б – Школа "Sentia" во Вьетнаме; в – Школа в Монреале, Франция; г – Школа Ханчжоу Гудунь Роуд, Китай; д – Школа Rane Vidyalaya в Индии; ж – Школа «Зеленая школа», г. Париж; з – Экспериментальная начальная школа, Шэньчжэнь, Китай [9–15]

Личностно-ориентированные технологии состоят в возможности разработки и реализации образовательных маршрутов, в том числе и индивидуальных, которые учитывают реальные возможности учащихся и удовлетворяют их особые образовательные потребности [18], в том числе предусматривают переход на **индивидуальные образовательные маршруты**.

В качестве примера можно привести проект «Умной школы» в Иркутске, который предусматривает переход на индивидуальные образовательные маршруты³. В основе образовательной программы этой школы лежат 5 содержательных осей, определяющих ее специфику: образно-художественное моделирование мира, психологизация образовательного процесса, интенсивное изучение иностранных языков, продуктивная трудовая деятельность, школьный спорт [19].

Индивидуальные образовательные маршруты занимают главенствующее место в системе **инклюзивного образования**⁴ [18], когда дети с особенностями в развитии учатся в обычной школе. Целью инклюзивного образования является обеспечение общего доступа к образованию для всех обучающихся с учетом разнообразия их индивидуальных возможностей и образовательных потребностей. Для учащихся с ограниченными возможностями здоровья важна **адаптивная безбарьерная среда**, которая позволяет обеспечить полноценную интеграцию в обучение детей с ограниченными возможностями здоровья⁵. Все большую популярность в организации среднего образования получает **модель «школы полного дня»**, где ученики приобретают знания на уроках и в развивающих секциях, здесь же в

³ Индивидуальный образовательный маршрут – это целенаправленно проектируемая дифференцированная образовательная программа, обеспечивающая учащемуся позиции субъекта выбора, разработки и реализации образовательной программы при осуществлении преподавателями педагогической поддержки его самоопределения и самореализации

⁴ Термин "инклюзия" в переводе с английского языка означает "включенность". Инклюзивное образование (фр. Inklusif -включающий в себя, лат. include-закрываю, включаю)

⁵ Методическое пособие «Проектирование зданий общеобразовательных организаций», М. 2018, п.4.21.9., 4.21.10. (URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293730/4293730184.pdf>)

школе они готовят домашние задания. Воспитание и развитие ребенка после уроков педагога берут на себя, а вечернее время освобождается для семейного общения [20].

Внедрение на практике современных обучающих технологий влечет за собой коррекцию его функциональной и архитектурно-планировочной структуры и требует иного подхода к проектированию.

1). Необходимо решение задачи по разработке новых, современных функциональных, архитектурно-планировочных и технологических решений для реализации новейших технологий в педагогике. Так, учебные помещения для индивидуальных занятий могут использоваться для внеурочной работы кружков и студий (рис. 9).



Рис. 9. Мобильная мебель для трансформации учебных помещений Источник: свободный доступ-интернет

Кроме этого, размещение помещений дополнительного и профильного образования в структуре общеобразовательной школы позволит приблизить досуговые помещения к месту жительства детей и подростков конкретного микрорайона и сделает их более массовыми для полезного проведения свободного времени и профориентации. В Белгородской области эти принципы реализуются через проект «Доброжелательная школа»⁶ [20, 21].

3). Эффективность образовательного процесса не может быть достигнута только с помощью инновационных педагогических технологий, для их успешного освоения необходим соответствующий уровень состояния здоровья школьников. Принцип «валеотивной школы» позволяет сформировать такое пространство в школе, которое позволит существенно оздоровить учащихся.

Валеотивное пространство представляет собой группу оздоровительных помещений, в состав которой могут быть включены кабинет валеологии⁷, кабинет для работы с детско-родительской группой, физиотерапевтический кабинет, зал для оздоровительных физических упражнений, тренажерный зал, кабинет фитотерапии, зоны релаксации с постановкой специальных

2). Для внеурочной работы в проекте должны быть предусмотрены дополнительные площади с введением в функциональную структуру здания новых групп и блоков. Они могут быть связаны с детскими технопарками (создание бизнес-школьных компаний, бизнес-инкубаторов), дополнительным образованием в дистанционном формате или направлением технического профиля (ИТ, радиотехникой, электроникой, автоматикой), и будут востребованы как для программ обязательного образования учащихся старшей школы, так и для организации новых направлений профильного и трудового обучения обязательного образования учащихся старшей школы, так и для организации новых направлений профильного и трудового обучения

тренажеров. Важным элементом «валеотивной школы» являются «зеленые уголки» в учебных помещениях, озелененные «зоны релаксации» в рекреациях, «зимние сады» в атриумных пространствах общешкольного центра, что положительно скажется на микроклимате, микробиологических показателях среды, медицинских показателей школьников. Для успешного решения проблемы здоровья учащихся нужен комплексный подход, координация деятельности разных специалистов, в том числе и архитекторов.

4. Влияние комплексного решения вопросов обеспечения безопасности и антитеррористической защищенности объекта общего образования на формирование архитектуры школьного здания.

Архитектурно-планировочные решения здания должны обеспечить возможность эвакуации за пределы объекта в соответствии с требуемым нормативным временем, эвакуационные пути и выходы должны соответствовать требованиям Федерального закона «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» от 22.07.2008 N 123-ФЗ. Здание должно быть оборудовано автоматической пожарной сигнализацией, дымовыми извещателями и другими необходимыми средствами защиты.

⁶Постановление Правительства Белгородской области от 20.01.2020 № 17 –пп «От утверждении стратегии «Доброжелательная школа» на период 2020–2021»

<http://www.consultant.ru/regbase/cgi/online.cgi?req=doc;base=RLAW404;n=71596#03895993982903>

⁷Прим. автора – валеология – наука о здоровье

Важным звеном системы безопасности является антитеррористическая защищенность объекта – здание должно быть оборудовано системой передачи сигнала об угрозе на центральный пункт МЧС, тревожной кнопкой, системой видеонаблюдения (как внутри защищаемого объекта, так и его территории). Периметр должен иметь ограждение, а территория – иметь освещение. В систему безопасности школьного здания входят и бесперебойные, безаварийные работы всех его инженерных систем.

Все эти вопросы должны быть решены в ходе комплексного проектирования объекта, согласованы с архитекторами, с целью реализации задуманных архитектурных решений в полном объеме.

5. Функционирование объекта общего образования в условиях Чрезвычайной ситуации (пандемия) и перехода к информационному обществу эпохи цифровизации, развитие цифровой инфраструктуры школьного здания.

Переход на новейшие технологии коммуникации, как жизни общества в целом, так и образования в частности, вносит радикальные изменения в привычное функционирование всех жизненно важных процессов и систем общества. Современному обществу необходим комплекс мер, направленных на устранение цифрового неравенства, обеспечение равного доступа к базовым инфраструктурным услугам и более широкому спектру цифровых услуг, таких как дистанционное обучение [22].

Информационно-образовательная среда – это системно организованная совокупность средств передачи данных, информационных ресурсов, протоколов взаимодействия, аппаратно-программного и организационно-методического обеспечения, ориентированная на удовлетворение потребностей пользователей в информационных услугах и ресурсах образовательного характера, без сомнения отразится на типологии школьного здания, его функционально-планировочной структуре. Так, например, нормативные документы сегодняшнего дня предписывают наличие компьютерных классов в школе. Развитие дистанционного принципа обучения отразится на параметрах и других классных комнат и кабинетов. Жизнь общества в условиях пандемии, связанной с вирусными инфекциями неизвестного происхождения, поднимает вопросы обеспечения безопасности, такие как обеспечение соблюдения социальной дистанции, рассредоточения потоков учащихся, корректировки нормативной вместимости классных комнат, и диктует внесение изменений в привычную структуру здания образовательной организации. Глав-

ную роль здесь должны играть принципы универсальности и вариативности, оперативной адаптации функционально-планировочной структуры здания к постоянно меняющимся задачам учебного и других процессов, идущих параллельно с ним.

6. Обеспечение выполнения требований Федеральных Законов РФ в сфере безопасности объекта общего образования.

Решение задачи создания безопасного в эксплуатации для пользователя объекта капитального строительства является одной из важнейших задач при его проектировании. Понятие «безопасность объекта» имеет широкий смысл, сюда входит функциональная, конструктивная, пожарная, санитарно-эпидемиологическая и пр., основанный на широком спектре нормативных документов системы технического регулирования РФ. В целях совершенствования процесса архитектурного проектирования, был разработан и внедряется в учебную и проектную практику нормативно-ориентированный метод на основе применения информационных документов РИСНД (авторы Чечель И.П., Пьеркова М.В., Чечель И.Н.), который в новом, удобном формате объединил действующие нормативы различных ведомств – регуляторов градостроительной деятельности, относящиеся к функционалу объекта общего образования [23].

Проведена апробация интегрированной информационной системы нового формата (РИСНД) в архитектурной проектной практике на примерах реализованных проектов зданий общеобразовательных школ Белгородской области, которая показала эффективность предложенного метода работы с нормативными документами: оптимизировать процесс подготовки архитектурной части проекта, повысить его качество, ускорить процесс прохождения Государственной экспертизы проектов и смет и, как следствие, сократить сроки строительства. Проведена апробация НОМ на примере выполнения курсового проекта на тему «Общеобразовательная школа на 660 учащихся». Применение нового метода в учебном процессе позволило оптимизировать процесс проектирования, исключить ряд наиболее часто встречающихся ошибок в учебном проектировании, внести элементы архитектурной практики в учебный процесс, углубить знания в области нормативной документации и сформировать навыки работы с ними, а также найти инструменты, позволяющие работать в условиях мировых архитектурных трендов.

Работы по апробации показали, что необходимо дальнейшее развитие нормативно-ориентированного метода (НОМ) на основе предложен-

ной в данном исследовании новой систематизации компонентов архитектурной концепции (табл. 2), с целью создания архитектурного решения объекта общего образования нового поколения.

Результаты и обсуждение. В ходе исследования автор приходит к выводу, что трансформация типологии общеобразовательного здания идет непрерывно, наравне с реформированием самой системы общего школьного образования РФ.

Многие из реформ основаны на зарубежном опыте. В зарубежных странах основой новых реформ в образовании являются изменяющиеся во времени базовые образовательные принципы. Базовыми принципами являются равенство всех обучающихся (социальное, экономическое и равенство в способностях), доступность образования, практический подход (получение жизненных навыков, а не подготовка к экзаменам), индивидуальный подход и свобода выбора, а также большое внимание к физическому и интеллектуальному здоровью школьников. Образовательные принципы в зарубежных странах являются не только двигателем новых образовательных реформ, но и основой для работы архитекторов, которые создают современные школьные здания и пространства. Большую роль в процессе проектирования каждой новой школы играет взаимодействие архитекторов с преподавательским составом, администрацией школы, государственными служащими и жителями города. Такое «соучаствующее проектирование» позволяет архитектору перенести общепринятые базовые принципы в образовании в проектируемое здание школы [17].

В результате изучения общепринятых базовых принципов в образовании и современных условий архитектурного проектирования объектов общего образования сформулированы принципы проектирования общеобразовательных зданий нового поколения (табл. 1):

1. принцип модульных конструкторов, который позволяет по-разному сочетать спектр возможных стандартных вариантов (в том числе, рассчитанных на разную предельную наполняемость);

2. принцип открытого характера школы для населения, когда школа выполняет социальную функцию центра учебно-воспитательной работы в жилой среде, что обуславливает ее открытый характер для активного приобщения населения, общественности и семьи к воспитанию детей и совместной развивающей деятельности по интересам;

3. принцип школьного комплекса (школьного кампуса), применение которого яв-

ляется желательным не только с точки зрения соответствия функциям учебно-воспитательного процесса, но и может быть экономически выгодным, что является крайне важным с точки зрения эффективности частных инвестиций;

4. принцип школы – лаборатории предполагает, что все пространство школы проектируется как своеобразная лаборатория, где ребенок получает знания не только из учебников, но и через эмоции и опыт;

5. принцип связующего звена подразумевает, что образовательная среда школы является связующим звеном между развитием личности учащегося и окружающей его действительностью. Внешняя и внутренняя организация школы продолжается в окружающей его среде (городской, природной);

6. принцип каждое здание – это своеобразное учебное пособие, когда здание школы, является само по себе «учебным пособием», – его фасады и внутренняя организация пространства должны транслировать разнообразие во всем (размер, форма, цвет, геометрия фасада). Здесь актуально говорить о применении в каждой школе индивидуального элемента, придающего ей неповторимость и отражающий специфику, «лицо» учебного заведения;

7. принцип визуального разнообразия, применение которого необходимо при работе, как над внешним, так и над внутренним объемом, а дизайн должно отличать разнообразие стилей с широким применением активных цветовых композиций и большим спектром отделочных фасадных материалов;

8. принцип объединяющего пространства для общения должен применяться для внутренних пространств школы с организацией специальных мест для общения детей. Помимо традиционных рекреаций, в эти проекты включаются многосветные, атриумные пространства, «зимние сады», конструкции в виде широких лестниц;

9. принцип зеленой крыши, на которой организуются рекреационные зоны для отдыха;

10. принцип продуманного интерьера, продуманный дизайн и красота мотивирует детей к учебе и используется как дополнительные элементы коммуникации;

11. принцип валеотивной школы позволяет сформировать валеотивное пространство в школе, для поддержания соответствующего уровня здоровья школьников;

12. принцип адаптивной безбарьерной среды позволяет обеспечить полноценную интеграцию в обучение детей с ограниченными возможностями здоровья;

13. принцип обеспечения комплексной

безопасности, в современных условиях проектирование школьного здания невозможно без разработки общей системы безопасности школьных зданий и пришкольной территории;

14. **принцип универсальности и вариативности**, самыми важными качествами современной школы необходимо считать именно возможность трансформации учебного пространства и наличие мобильного оборудования в классах;

15. **принцип оперативной адаптации** школьного здания к новым условиям цифровизации, отказ от монополии фронтальной работы с классом и широкое использование различных ва-

риантов учебных помещений: для работы с потоком (лекционные аудитории), с коллективом класса, с группой, для индивидуальных занятий.

В результате комплексной оценки современных условий проектирования зданий общего образования в РФ полученные результаты выразились в создании новой структуры компонентов архитектурной концепции общеобразовательного здания с привязкой ее к сформулированным принципам проектирования. Каждый из блоков структуры компонентов привязан к нормативной базе документов технического регулирования РФ (табл. 2).

Таблица 1

Современные условия и принципы проектирования архитектурного решения общеобразовательных зданий (Разработал И.П. Чечель)

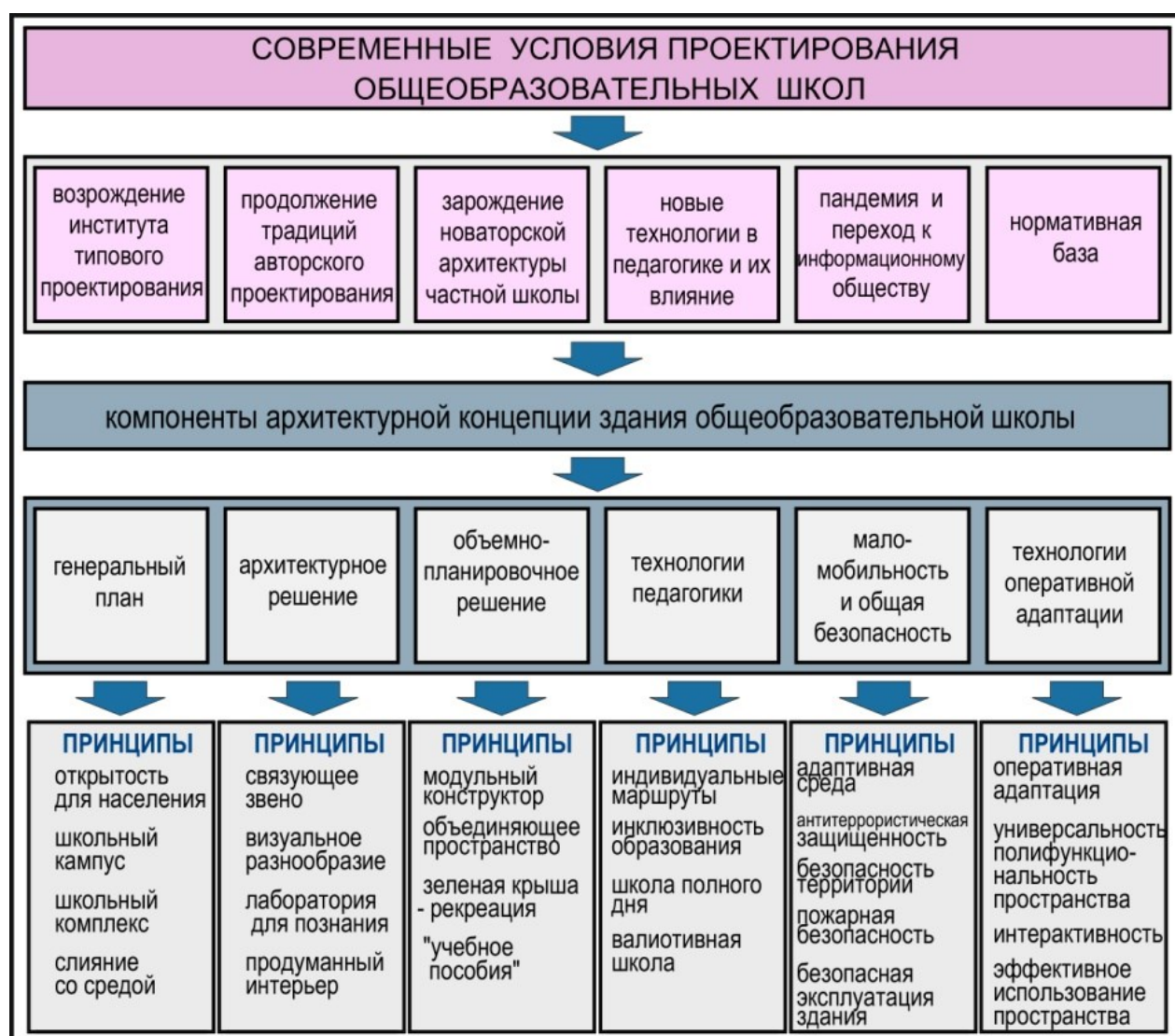
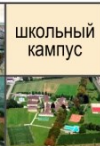
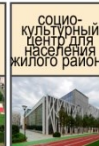
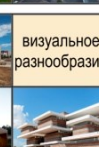
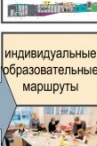
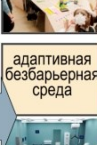
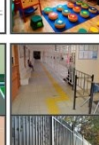
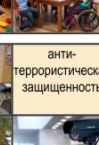


Таблица 2

Компоненты и принципы архитектурного решения здания общеобразовательной школы (Разработал И.П. Чечель)

КОМПОНЕНТЫ И ПРИНЦИПЫ АРХИТЕКТУРНОГО РЕШЕНИЯ ЗДАНИЯ ОБЩЕОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ШКОЛЫ									
компоненты архитектурной концепции здания общеобразовательной школы	генеральный план	принципы	 школьный кампус	 социо-культурный центр для населения жилого района	 школа-комплекс	 интеграция в природную среду	СП 42.13330.2016 «СНиП 2.07.01-89* Градостроительство. Планировка и застройка городских и сельских поселений» СП 251.1325800.2016 «Здания общеобразовательных организаций. Правила проектирования»	СП 118.13330.2012 «СНиП 31-06-2009 Общественные здания и сооружения» СП 113.13330.2016 «СНиП 21-02-99* Стоянки автомобилей» СП 140.13330.2012 «Городская среда. Правила проектирования для ММГН»	нормативная база для разработки компонентов архитектурной концепции
	архитектурное решение	принципы	 связующее звено	 визуальное разнообразие	 здание-«это учебное пособие»	 продуманный интерьер	СП 118.13330.2012 «СНиП 31-06-2009 Общественные здания и сооружения» СП 52.13330.2011 «СНиП 23-05-95* Естественное и искусственное освещение»	СанПиН 2.2.12.1.1.1076-01 Гигиенические требования к инсталляции помещений... СанПиН 2.2.12.1.1.1278-03 Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению...	
	объемно - планировочное решение	принципы	 модульные конструкторы	 лаборатория для познания	 объединяющее пространство для общения	 зеленая крыша-рекреация	СП 50.13330.2012 «СНиП 23-02-2003 Тепловая защита зданий» СП 1.13130.2009, 12.13130.2009 Системы противопожарной защиты. Определение категорий помещений, зданий ... по пожарной опасности. Эвакуационные пути и выходы.	СП 118.13330.2012 «СНиП 31-06-2009 Общественные здания и сооружения» СП 251.1325800.2016 «Здания общеобразовательных организаций. Правила проектирования»	
	технология педагогики	принципы	 индивидуальные образовательные маршруты	 инклюзивность образования	 школа полного дня	 валиотивная школа	СП 59.13330.2012 «СНиП 35-01-2001 Доступность зданий и сооружений для маломобильных групп населения» СП 136.13330.2012 «Здания и сооружения. Общие положения... с учетом доступности ММГН» СП 138.13330.2012 «Общественные здания, доступные ММГН»	СанПиН 2.1.2.1188-03 Плавающие бассейны. Гигиенические требования. СанПиН 2.4.5.2409-08 Санитарно-эпидемиологические требования к организации питания. СанПиН 2.4.2.2821-10 Сан-эпидемиологические требования к условиям организации обучения.	
	маломобильность, общая безопасность	принципы	 адаптивная безбарьерная среда	 анти-террористическая защищенность	 обеспечение безопасности школы	 обеспечение безопасной эксплуатации здания	СП 2.13130.2012, 3.13130.2009, 5.13130.2009 Системы противопожарной защиты. - Определение огнестойкости объектов защиты. - Системы оповещения и управления эвакуацией людей при пожарах. - Установки пожарной сигнализации.	СП 132.13330.2011 Обеспечение антитеррористического и защитности... СП 255.1325800.2016 «Здания и сооружения. Правила проектирования» ГОСТ Р ЕН 1177-2013 Покрытие игровых площадок ударопоглощающее	
	технологии оперативной адаптации	принципы	 принцип оперативной адаптации	 принцип универсальности и полифункциональности пространства	 принцип интерактивности	 принцип эффективного использования пространства	СП 251.1325800.2016 «Здания общеобразовательных организаций. Правила проектирования» Методическое пособие. Проектирование зданий общеобразовательных организаций. Москва 2018	СП 118.13330.2012 «СНиП 31-06-2009 Общественные здания и сооружения» СанПиН 2.4.2.2821-10 Сан-эпидемиологические требования к условиям организации обучения.	

Выводы.

1. Выявлен ряд современных условий, под воздействием которых идет процесс становления архитектуры школьного здания нового поколения, к ним относятся:

- необходимость создания экономически эффективного архитектурного решения проектной документации для массового строительства объекта общего образования на территории РФ;
- продолжение традиций авторского архитектурного проектирования для государственного сектора объектов образования и усиление влияния архитектуры негосударственного (частного) сектора на формирование новаторского школьного здания нового поколения;
- влияние реформаторских процессов в сфере педагогических технологий системы общего образования на формирование архитектуры школьного здания;
- влияние комплексного решения вопросов обеспечения безопасности и антитеррористической защищенности объекта общего образования

на формирование архитектуры школьного здания;

- функционирование объекта общего образования в условиях Чрезвычайной ситуации (пандемия) и перехода к информационному обществу эпохи цифровизации, развитие цифровой инфраструктуры школьного здания;
- обеспечение выполнения требований Федеральных Законов РФ с сфере безопасности объекта общего образования.

2. Сформулированы принципы формирования новаторской архитектурной концепции школьного здания нового поколения. К ним относятся принципы модульных конструкторов, открытого характера школы для населения, школьного комплекса, лаборатории, связующего звена, каждое здание – это своеобразное учебное пособие, визуального разнообразия, объединяющего пространства для общения, зеленой крыши-рекреации, продуманного интерьера, валиотивной школы, адаптивной безбарьерной среды, обеспечения безопасности, универсальности и вариативности, оперативной адаптации.

3. На основании выявленных современных условий и сформулированных принципов предложена систематизация компонентов архитектурной концепции школьного здания, с выделением ключевых блоков и их привязкой к нормативным документам системы технического регулирования РФ, для выполнения требований Федеральных Законов в сфере обеспечения безопасности проектируемых объектов общего образования нового поколения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ключко А.Р., Коровина Е.И. Развитие архитектуры школьных зданий в России и в мире // Архитектура зданий и сооружений. 2017. № 2 (39). С. 98–113. [Электронный ресурс]. Систем. требования: AdobeAcrobatReader URL: https://www.marhi.ru/AMIT/2017/2kvart17/PDF/08_AMIT_39_KLOCHKO_KOROVINA_PFF
2. Соловьев А.К., Багратян М.Г. Обзор типовых проектов Школ в СССР / Естественные и технические науки №11(89) // Статья в журнале научная статья. Москва: Изд-во ООО "Издательство "Спутник+", 2014. С. 560–561.
3. Лебедева Ю. В., Задвернюк Л. В. Школьное образование и архитектура школьных зданий в России сер. XX – нач. XXI вв. // Новые идеи нового века: материалы международной конференции ФАД ТОГУ. 2018. С.247–251.
4. Чечель И.П. Формирование и развитие функционально-планировочной структуры общеобразовательных школ Белгородской области (1904–2020 гг.) // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2020 № 7 С. 49–65 DOI: 10.34031/2071-7318-2020-5-7-49-65.
5. Духанина Л. Н., Мерцалова Т. А., Беликов А. А., Горбовский Р. В., Заир-Бек С. И., Матюненко Ю. А. Частные школы России: состояние, тенденции и перспективы развития. Аналитический доклад / Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», Институт образования. М.: НИУ ВШЭ, 2019. 80 с. (Современная аналитика образования. № 3 (24)).
6. Реестр экономически эффективной проектной документации <https://minstroyrf.gov.ru/docs/14803/>
7. Школа в г. Пушкино, м-н Мамонтовка. <https://pushkino.tv/news/zhkhkh-stroitelstvo-i-blagoustroystvo/121517/?itape=50459>
8. Общеобразовательная школа «Вектор Успеха» в п. Разумное, Белгородский район. Режим доступа: Источник: [http://vektor.uobr.ru/МОУ «Разуменская средняя общеобразовательная школа №4 «Вектор успеха»](http://vektor.uobr.ru/МОУ_«Разуменская_средняя_общеобразовательная_школа_№4_«Вектор_успеха»»)
9. Школьный и досуговый центр в Париже, Франция. MIKOU DESIGN STUDIO, 2012. Режим доступа: <https://www.pinterest.ru/pin/809944314207388489/>
10. Школа "Sentia" во Вьетнаме. Режим доступа: <https://www.archdaily.com/911411/sentiaschool-1-plus-1-2-architects>
11. Школа в Монреале, Франция. Режим доступа: https://www.archidizain.ru/2019/04/blogpost_46.html
12. Школа Ханчжоу Гудунь Роуд, Китай. Режим доступа: <https://archi.ru/projects/world/14771/shkola-haishu-v-gorode-budushego-nauki-i-tehniki-hanchzhou>
13. Школа Rane Vidyalaya в Индии. Режим доступа: <https://www.archidizain.ru/2020/05/rane-vidyalaya.html>
14. Экспериментальная начальная школа, Шэньчжэнь, Китай. O-office Architects. Режим доступа: <https://hqroom.ru/eksperimentalnaia-nachalnaia-shkola-khonglyng-v-shenchzhene.html>
15. «Зелёная школа», Париж, Франция. Режим доступа: <https://yandex.ru/turbo/masterok.livejournal.com/s/2188395.html>
16. Национальная образовательная программа «Наша новая школа» (утв. Президентом РФ от 4 февраля 2010 г. № Пр-271. (URL: <http://docs.cntd.ru/document/9032907>).
17. Чечель И.П., Чечель И.Н. Новые тенденции проектирования и дизайна школ в различных странах // Техническая эстетика и дизайн-исследования. Т. 1. №3. С. 19–29.
18. Шинкарева Н.В. Инклюзивное образование – образование для всех // Матрица научного познания Уфа. 2019. С. 117–123
19. Школа в г. Иркутске «Умная школа». <http://умная-школа.рф/about/faq>.
20. Государственная программа "Создание новых мест в общеобразовательных организациях Белгородской области" Постановление Правительства Белгородской области от 29 декабря 2015 г. N 498-пп (в ред. постановления Правительства Белгородской области от 24.12.2018 N 512-пп) <http://docs.cntd.ru/document/550347302>.
21. Постановление Правительства Белгородской области от 20.01.2020 № 17 –пп «Об утверждении стратегии «Доброжелательная школа» на период 2020–2021» <http://www.consultant.ru/regbase/cgi/online.cgi?req=doc;base=RLAW404;n=71596#03895993982903>.
22. Рубцова О.Л., Гаврилина А.А. Опережающее развитие сферы образования в цифровой экономике // Молодой ученый. 2020. № 44 (334).

URL: <https://moluch.ru/archive/334/74570/> (дата обращения: 03.11.2020).

23. Чечель И.П., Перькова М.В., Чечель И.Н. Метод нормативно-ориентированного архитек-

турного проектирования (на примере проектирования общеобразовательной школы) // Архитектура и строительство России. 2020. №2. С. 68–73

Информация об авторах

Чечель Иван Павлович, ассистент кафедры архитектуры и градостроительства. E-mail: golden-line7@yandex.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Поступила 24.02.2021 г.

© Чечель И.П., 2021

Chechel I.P.

Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov

E-mail: golden-line7@yandex.ru

MODERN DESIGN CONDITIONS AND COMPONENTS OF THE ARCHITECTURAL CONCEPT OF SECONDARY SCHOOLS

Abstract. Today, large-scale programs for the construction of general education facilities are being implemented in the country. The Russian architecture of general educational buildings is gradually moving away from the standard architectural solutions approved by practice. This is influenced by the conditions of the current stage in the development of the state and society, and the tasks for the formation of an individual and a new generation of citizens. An analysis of the works of modern Russian architects suggests that the country has begun and is steadily gaining momentum in the process of forming the architecture of a new generation of school buildings. According to the author, the process is under the influence of a number of objective conditions. They are: the need to provide cost-effective architectural solutions of the design documentation for the mass construction of an object of General education in Russia; the continuation of the traditions of the author's architectural design for the public sector in education and the growing influence of the architecture of the non-public (private) sector to create innovative school buildings of the new generation; the impact of the reform processes in the field of pedagogical technologies in the system of General education and in solving complex issues of security and anti-terrorist protection of the object of General education on the formation of architecture of the school building; the operation of the object of General education in Emergency situation (pandemic) and transition to the information society in the era of digitalization,; the enforcement of Federal laws of the Russian Federation in the field of safety of object of General education. Based on the identified conditions, a new systematization of the components of the architectural concept is proposed and the principles necessary for the creation of a general education building that marks the end of time are formulated.

Keywords: secondary school, current conditions, next-gen architecture, components and principles.

REFERENCES

1. Klochko A.R., Korovina E.I. The development of school buildings architecture in Russia and in the world [Razvitie arxitektury` shkol`ny`x zdaniy v Rossii i v mire] 2017. No. 2 (39). Pp. 98–113. system requirements AdobeAcrobatReader URL:https://www.marhi.ru/AMIT/2017/2kvart17/PDF/08_AMIT_39_KLOCHKO_KOROVINA_PFF.
2. Solov'ev A.K., Bagratyan M.G. Review of typical School projects in the USSR [Obzor tipovy`x proektov Shkol v SSSR]. M.: Publishing House "Sputnik+", 2014, Pp. 560–561. (rus)
3. Lebedeva Yu.V., Zadvernyuk L.V. School education and architecture of school buildings in Russia XX–XXI centuries [Shkol`noe obrazovanie i arxitektura shkol`ny`x zdaniy v Rossii seredina. XX nachalo.XXI vv]. New ideas of the new century: materials of the international conference of the FAD TOGU. 2018. Pp. 247–251 (rus)
4. Chechel I.P. Formation and development of the functional-planning structure of general education schools of the Belgorod region (1904–2020) [Formirovanie i razvitie funkcional`no-planirovочноj struktury` obshheobrazovatel`ny`x shkol Belgorodskoj oblasti (1904–2020 gg.)]. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2020 No. 7. Pp. 49–65 DOI: 10.34031/2071-7318-2020-5-7-49-65 (rus)
5. Dukhanina L.N., Mertsalova T.A., Belikov A.A., Gorbovsky R.V., Zair-Bek S.I., Matyunenko Yu.A. Private schools in Russia: state, trends and prospects of development. Analytical report [Chastny`e shkoly` Rossii: sostoyanie, tendencii i perspektivy` razvitiya. Anali-ticheskij doklad]. Na-

tional Research University "Higher School of Economics", Institute of Education. - Moscow: Higher School of Economics, 2019. 80 p. (Modern Analytics of Education. No. 3 (24). (rus)

6. Register of cost-effective project documentation <https://minstroyrf.gov.ru/docs/14803/>.

7. School in Pushkino, m-n Mamontovka. <https://pushkino.tv/news/zhkhh-stroitelstvo-i-blagoustroystvo/121517/?itape=50459>.

8. General education school "Vector of Success" in p. Razumnoye, Belgorod district. Access mode: (Source:<http://vektor.uobr.ru> / MOE "Razumenskaya secondary school No. 4 "Vector of success").

9. School and leisure center in Paris, France. MIKOU DESIGN STUDIO, 2012. Mode of access: <https://www.pinterest.ru/pin/809944314207388489/>

10. Sentia School in Vietnam. Access mode: <https://www.archdaily.com/911411/sentiaschool-1-plus-1-2-architects>

11. School in Montreal, France. Access mode: https://www.archidizain.ru/2019/04/blog-post_46.html

12. Hangzhou Gudun Road School, China. Access mode: <https://archi.ru/projects/world/14771/shkola-haishu-v-gorode-budushego-nauki-i-tehniki-hanchzhou>

13. Rane Vidyalaya School in India. Access mode: <https://www.archidizain.ru/2020/05/rane-vidyalaya.html>

14. Experimental Elementary School, Shenzhen, China. O-office Architects. Access mode: <https://hqrroom.ru/eksperimentalnaia-nachalnaia-shkola-khonglyng-v-shenchzhene.html>

15. "Green School", Paris, France. Access mode: <https://yandex.ru/turbo/masterok.livejournal.com/s/2188395.html>.

16. National Educational Program "Our New School" (approved by the Government of the Russian Federation) .By the President of the Russian

Federation No. Pr-271 of February 4, 2010)/ (URL: <http://docs.cntd.ru/document/9032907>.

17. Chechel I.P., Chechel I.N. New trends in designing and designing schools in various countries [Novy'e tendencii proektirovaniya i dizajna shkol v razlichny'x stranax]. Technical Aesthetics and Design research. Vol. 1. No. 3. Pp. 19–29. (rus)

18. Shinkareva N.V. Inclusive education-education for all [Inklyuzivnoe obrazovanie – obrazovanie dlya vsekh]. Matrix of scientific research knowledge. A journal article is a scientific article.Ufa. 2019. P. 117–123

19. School in Irkutsk "Smart school"

20. State program " Creating New Places in General Education Organizations Resolution of the Government of the Belgorod Region of December 29, 2015 N 498-pp (as amended by the Resolution of the Government of the Belgorod Region of December 24, 2018 N 512-pp) <http://docs.cntd.ru/document/550347302>

21. Resolution of the Government of the Belgorod region of 20.01.2020 No. 17-pp " From Approval of the "Friendly School" strategy for the period 2020-2021" <http://www.consultant.ru/reg-base/cgi/online.cgi?req=doc;base=RLAW404;n=71596#03895993982903>

22. Rubtsova O.L., Gavrilina A.A. Advanced development of the sphere of education in the digital economy [Operezhayushhee razvitie sfery obrazovaniya v cifrovoj e'konomie]. Young scientist. 2020. No. 44 (334). URL: <https://moluch.ru/archive/334/74570/> (accessed: 03.11.2020). (rus)

23. Chechel I.P., Perkova M.V., Chechel I.N. The method of normative-oriented architectural design (on the example of designing a general education school) [Metod normativno-orientirovannogo arkhitekturnogo proektirovaniya (na primere proektirovaniya obshheobrazovatel'noj shkoly)]. Architecture and Construction of Russia. 2020. No. 2. Pp. 68–73 (rus)

Information about the authors

Chechel, Ivan P. Assistant. E-mail: golden-line7@yandex.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Received 24.02.2021

Для цитирования:

Чечель И.П. Современные условия проектирования и компоненты архитектурной концепции общеобразовательных школ // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2021. № 7. С. 73–88. DOI: 10.34031/2071-7318-2021-6-7-73-88

For citation:

Chechel I.P. Modern design conditions and components of the architectural concept of secondary schools. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2021. No. 7. Pp. 73–88. DOI: 10.34031/2071-7318-2021-6-7-73-88

ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ

DOI: 10.34031/2071-7318-2021-6-7-89-98

**Новоселов А.Г., Олянина И.В., Новоселова И.Н., Васина Ю.А., Ершова Ю.И.,
Куделина Я.И., Лоик Т.А.*

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

**E-mail: novosyolovag@yandex.ru*

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ СНИЖЕНИЯ ЦИРКУЛЯЦИИ ОКСИДА СЕРЫ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ БЕЛОГО ЦЕМЕНТА

Аннотация. В статье рассмотрены возможности снижения циркуляции оксида серы при производстве белого цемента путем ввода щелочных оксидов калия K_2O и натрия Na_2O . Снижение циркуляции оксида серы SO_3 достигается за счет увеличения выхода его в составе клинкера путем перевода SO_3 из более возгоняемого соединения сульфата кальция $CaSO_4$ в менее возгоняемые сульфаты калия K_2SO_4 и натрия Na_2SO_4 . Оксиды калия и натрия вводились в составе карбонатов и полевого шпата. Количество введенных щелочных оксидов регулировалось по молярному соотношению A/S между оксидом серы SO_3 и щелочными оксидами K_2O и Na_2O . Показано, что при одинаковом молярном соотношении между оксидом серы и щелочными оксидами количество выводимого с клинкером SO_3 зависит от соотношения между оксидами калия и натрия. Чем выше содержание оксида натрия, тем больше оксида серы выходит с клинкером и меньше остается циркулировать в печи. Возгонка оксида серы снижается с 70,5 % – без ввода щелочных оксидов, до 38,5 % при максимальном соотношении A/S при добавлении оксидов калия и натрия в соотношении 80:20 %. При добавлении оксидов калия и натрия в соотношении 20:80 % возгонка оксида серы снижается до 7,7 % при таком же соотношении A/S .

Ключевые слова: белый цемент, обжиг белого клинкера, снижение циркуляции оксида серы, щелочные оксиды, сухой способ производства, настыли.

Введение. Производство белого цемента – это особенная технология, требующая выполнения определенного рода требований. С учетом того, что основной характеристикой белого цемента является его цвет (белизна), который оценивается по коэффициенту отражения, то для производства белого цемента используются определенные сырьевые компоненты, содержащие минимальное количество красящих примесей (Fe_2O_3 , Mn_2O_3 , Cr_2O_3 , MgO), именно поэтому он имеет белую окраску [1–4]. Кроме того, для исключения присадки золы топлива в технологии белого цемента используется только беззольное топливо, к которому относятся газ, мазут, нефтяной кокс.

В России для производства цемента чаще всего используют газообразное топливо, так как оно имеет сравнительно низкую стоимость, благодаря этому есть возможность осуществлять технологический процесс с минимальными затратами на подготовку топлива к сжиганию. Однако за рубежом возможности использования газообразного топлива ограничены в силу определенных причин, поэтому при производстве белого цемента отдают предпочтение в использовании именно нефтяному коксу.

Основной проблемой при использовании нефтяного кокса является повышенное содержание оксида серы SO_3 в его составе, который способен циркулировать и накапливаться во вращающейся печи, что приводит к образованию

настылей [5–13]. Образование настылей приводит к ежедневной очистке ступеней теплообменника от образовавшихся наростов, снижению коэффициента использования оборудования.

Одним из методов, который снижает настылеобразование и количество циркулирующих соединений в печи, является установка байпаса для отбора части отходящих газов, выходящих из печи, с последующим охлаждением и очисткой их в фильтре [14]. Однако работа байпаса по удалению оксида серы малоэффективна, в отличие от хлора. Так уже 2–5 % байпаса снижают концентрацию хлора более чем в 2 раза, а для того, чтобы снизить количество оксида серы SO_3 в материале на входе во вращающуюся печь всего на 0,5 % (с 3,3 до 2,8 %) необходимо отбирать 10 % отходящих газов [15]. При этом каждый процент объема отводимого газа повышает удельный расход условного топлива на 0,5...0,7 кг на тонну клинкера [16]. Поэтому чрезмерное увеличение количества отбираемого газового потока через байпасную систему может приводить к перерасходу топлива, т.е. затраты при работе байпаса будут превышать эффективность его работы.

Эффективным средством для вывода оксида серы из системы обжига клинкера является перевод его в менее возгоняемые соединения и вывод их вместе с клинкером. Такой способ применяется как при производстве серого портландцемента, так и белого. Количество SO_3 , которое мо-

жет быть выведено с клинкером можно регулировать вводом щелочесодержащих соединений. При этом будет обеспечиваться перевод оксида серы из более возгоняемого соединения сульфата кальция в менее возгоняемые соединения – сульфаты калия и натрия [17]. Для этого необходимо обеспечить отношение между K_2O , Na_2O и SO_3 – (A/S) в определенном интервале [18, 19]. A/S – это отношение суммы оксидов калия и натрия к оксиду серы, которое определяет, является ли достаточным содержание щелочей для удаления серы с клинкером. Соотношение A/S в клинкере

должно находиться в следующих пределах $0,8 < A/S < 1,2$ и определяется по формуле (1):

$$\frac{A}{S} = \frac{\left(\frac{K_2O + Na_2O}{94} - \frac{62}{80}\right)}{\left(\frac{SO_3}{80}\right)}, \quad (1)$$

где K_2O , Na_2O , SO_3 – массовые доли соответствующих компонентов в клинкере, %.

Материалы и методы. Для проведения исследований использовались сырьевые материалы: известняк, каолин, премикс, полевой шпат (табл. 1), а также реактивы: гидрат сульфата кальция $CaSO_4 \cdot 2H_2O$, карбонат калия K_2CO_3 и карбонат натрия Na_2CO_3 .

Таблица 1

Химический состав сырьевых компонентов, %

Компонент	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	R ₂ O	ППП	Прочие
Известняк	0,62	0,37	0,04	54,4	–	–	0	43	–
Каолин	53,1	33,6	0,61	0,28	–	–	0	10,8	0,31
Премикс	78	16,5	0,34	0,36	–	–	0	3,03	0,21
Полевой шпат	76,8	11,06	0,88	0,88	0,28	0,35	6,79	0,96	0,03

Обжиг клинкера осуществлялся в лабораторной печи при температуре 1450 °С с выдержкой материала в печи в течение 1 часа и дальнейшим резким охлаждением готового продукта в холодной воде. С учетом того, что для обжига белого клинкера используется особый температурный режим и способ охлаждения, из-за особенностей состава сырьевой смеси, то проводился предварительный обжиг сырьевой смеси. После этого в клинкере определялось содержание свободного оксида кальция $CaO_{св}$. Содержание свободного оксида кальция в клинкере составило 1,09 %, что является допустимым количеством для белого клинкера.

Определение содержания общей серы в клинкере осуществлялось путем растворения клинкера в смеси азотной и соляной кислот с дальнейшим осаждением материала хлористым барием [20].

Для исследования прочности лабораторных цементов изготавливались малые образцы 1,41×1,41×1,41 см из теста нормальной густоты состава 1:0, которые 1 сутки твердели в ванне с гидравлическим затвором над водой и затем – в воде с температурой 20 ± 2 °С. Испытания на прочность проводились в возрасте 2, 7 и 28 суток. Предел прочности при сжатии вычислялся как среднее арифметическое из трех характерных значений при испытании четырех образцов-близнецов.

Основная часть. Количество оксида серы SO_3 , которое может быть выведено с клинкером, зависит от исходного содержания SO_3 в сырье и количества вводимых щелочных оксидов K_2O и Na_2O . С учетом того, что количество возгоняе-

мого оксида серы SO_3 зависит от того, в какое соединение он переводится, K_2SO_4 или Na_2SO_4 [21], то путем изменения соотношения между щелочными оксидами K_2O и Na_2O можно изменять количество выводимого оксида серы с клинкером при сохранении соотношения A/S . Для проверки данного предположения было проведено исследование при изменении соотношения K_2O и Na_2O . Одна серия образцов готовилась с добавлением оксида калия K_2O и оксида натрия Na_2O в соотношении 80 к 20 %, другая – с соотношением K_2O и Na_2O 20 к 80 %. Оксиды калия и натрия вводились в составе карбонатов. Соотношение A/S составляло 0; 0,5; 1,0 и 1,5 и регулировалось изменением количества вводимых в сырьевую смесь щелочных карбонатов. При этом количество вводимого реактива гипса для всех смесей оставалось постоянным. Количество оксида серы в сырьевой смеси составляло 2 %. В пересчете на клинкер количество SO_3 составляло 3,12 %. Для того чтобы предотвратить образование свободного оксида кальция в клинкере из-за избыточного количества CaO , вводимого с гипсом, в сырьевые смеси добавлялся реактив SiO_2 в количестве необходимом для образования алита C_3S .

Расчетное соотношение между компонентами сырьевых смесей при добавлении реактивов карбонатов в соотношении $K_2O:Na_2O = 80:20$ % и $K_2O:Na_2O = 20:80$ % представлено в таблице 2. Химический состав сырьевой смеси и клинкера, минералогический состав и модульные характеристики клинкера представлены в таблице 3.

Количество возгоняющегося оксида серы SO_3 определялось по разнице между вводимым в сырьевую смесь SO_3 и оставшимся SO_3 в клинкере после обжига.

Таблица 2

Соотношение компонентов в сырьевых смесях с добавлением карбонатов калия и натрия, %

Компонент	Сырьевая смесь с соотношением A/S			
	A/S = 0	A/S = 0,5	A/S = 1	A/S = 1,5
Известняк	81,04	81,04	81,04	81,04
Каолин	0,12	0,12	0,12	0,12
Премикс	18,84	18,84	18,84	18,84
K ₂ O (80 %)	—	0,76	1,56	2,63
Na ₂ O (20 %)	—	0,19	0,39	0,66
K ₂ O (20 %)	—	0,19	0,39	0,66
Na ₂ O (80 %)	—	0,76	1,56	2,63
Оксид серы SO ₃	2	2	2	2
CaSO ₄ ·2H ₂ O	4,3	4,3	4,3	4,3

Таблица 3

Характеристика сырьевой смеси и клинкера, %

	Химический состав, %					Минералогический состав и модульные характеристики клинкера						
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	ППП	C ₃ S	C ₂ S	C ₃ A	C ₄ AF	KH	n	p
С. смесь	15,50	3,51	0,10	44,88	35,98							
Клинкер	24,21	5,48	0,16	70,10	—	64,40	20,84	14,25	0,49	0,90	4,29	34,25

Результаты определения остаточного количества SO₃ в клинкере при вводе смеси щелочных оксидов K₂O и Na₂O в соотношении 80:20 %

представлены в таблице 4, в соотношении 20:80 % в таблице 5 и на рисунке 1.

Таблица 4

Влияние соотношения A/S на возгонку SO₃ при вводе смеси оксидов K₂O:Na₂O = 80:20 %

A/S	Расчетное содержание SO ₃ в клинкере, %	Фактическое содержание SO ₃ в клинкере, %	Возгонка SO ₃ , %
0	3,12	0,92	70,5
0,5	3,12	1,37	56,1
1,0	3,12	1,73	44,6
1,5	3,12	1,92	38,5

Таблица 5

Влияние соотношения A/S на возгонку SO₃ при вводе смеси оксидов K₂O:Na₂O = 20:80 %

A/S	Расчетное содержание SO ₃ в клинкере, %	Фактическое содержание SO ₃ в клинкере, %	Возгонка SO ₃ , %
0	3,12	0,92	70,5
0,5	3,12	1,54	50,6
1,0	3,12	2,02	35,3
1,5	3,12	2,88	7,7

Фактическое содержание оксида серы SO₃ в клинкере увеличивается по мере увеличения соотношения A/S. При вводе оксидов калия и натрия в соотношении K₂O:Na₂O = 80:20 % содержание оксида серы в клинкере увеличивается более чем в 2 раза с 0,92 до 1,92 %. При вводе оксидов калия и натрия в соотношении K₂O:Na₂O = 20:80 % содержание оксида серы в клинкере увеличивается более чем в 3 раза с 0,92 до 2,88 %. Как и следовало ожидать, при одинаковом значении соотношения A/S, количество оксида серы SO₃ в клинкере увеличивается при увеличении содержания оксида натрия в сырьевой смеси.

Следует отметить, что максимальный прирост содержания оксида серы SO₃ в клинкере наблюдается при соотношении A/S = 0,5 для смеси с большим содержанием оксида калия. Об этом свидетельствует больший угол наклона кривой на участке от A/S = 0 до A/S = 0,5 (рис. 1). Дальнейшее увеличение соотношения A/S от 0,5 до 1 дает несколько меньший прирост содержания SO₃ в клинкере. Минимальный прирост содержания оксида серы в клинкере наблюдается при изменении соотношения A/S от 1 до 1,5. Угол наклона кривой на этом участке минимальный.

Для смеси с большим содержанием оксида натрия изменение содержания SO₃ в клинкере носит схожий характер. На участке от A/S = 0 до 0,5

происходит резкое увеличение содержания оксида серы в клинкере. Затем прирост несколько замедляется на участке кривой от $A/S = 0,5$ до

$A/S = 1$. Однако, в отличие от предыдущей кривой, максимальный прирост содержания оксида серы SO_3 в клинкере наблюдается на третьем участке от $A/S = 1$ до $A/S = 1,5$.

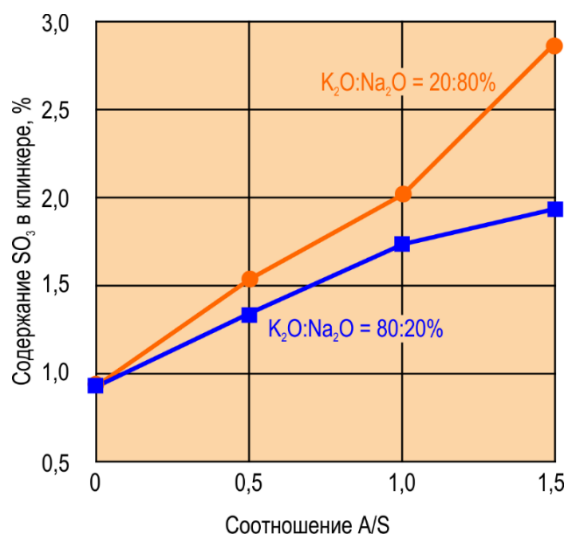


Рис. 1. Влияние щелочных оксидов и соотношения A/S на содержание SO_3 в клинкере

Возгонка оксида серы носит идентичный характер (табл. 4, табл. 5, рис. 2). С увеличением соотношения A/S от 0 до 1,5 возгонка SO_3 снижается в 1,8 раза при соотношении щелочных оксидов $K_2O:Na_2O = 80:20\%$ с 7,5 до 38,5 %. При соотношении щелочных оксидов $K_2O:Na_2O = 20:80\%$ возгонка оксида серы SO_3 снижается в 9 раз с 70,5 до 7,7 % с увеличением A/S от 0 до 1,5.

Дальнейшее увеличение соотношения A/S выше 1,5, скорее всего, приведет к снижению прироста содержания SO_3 в клинкере поскольку, для смеси с преобладающим количеством оксида

натрия, практически весь SO_3 , введенный в сырьевую смесь, не будет возгоняться, а будет входить в состав клинкера. Для смеси с большим количеством оксида калия наблюдается тенденция к выходу на постоянное значение содержания SO_3 в клинкере с увеличением соотношения A/S выше 1,5. Однако с изменением содержания оксида серы в сырьевой смеси его возгонка и содержание в клинкере могут изменяться. Поэтому рекомендуется осуществлять подбор оптимального соотношения A/S индивидуально для каждого вида сырья.

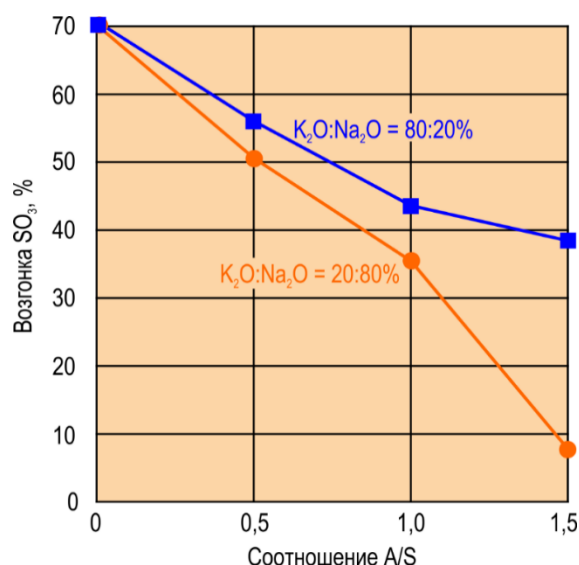


Рис. 2. Влияние щелочных оксидов и соотношения A/S на возгонку оксида серы SO_3

Для того, чтобы обеспечить снижение циркуляции оксида серы в промышленной печи при

производстве белого клинкера, в качестве природного источника щелочных оксидов может использоваться полевая шпат. Поэтому далее было

проведено исследование влияния добавки полевого шпата на возгонку оксида серы SO_3 .

Для проведения эксперимента была приготовлена сырьевая смесь, в состав которой входили: известняк, премикс, каолин и полевой

шпат, для получения белого клинкера. Химический состав сырьевой смеси и клинкера, минералогический состав и модульные характеристики клинкера представлены в таблице 6.

Таблица 6

Характеристика сырьевой смеси и клинкера с вводом полевого шпата, %

	Химический состав, %						Минералогический состав и модульные характеристики клинкера						
	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	R_2O	ППП	C_3S	C_2S	C_3A	C_4AF	КН	n	p
С. смесь	15,22	3,62	0,17	44,39	0,87	35,61							
Клинкер	23,64	5,62	0,26	68,94	1,35	—	62,88	20,35	14,45	0,79	0,90	4,02	21,3

Необходимо отметить, что количество R_2O в сырьевой смеси составляет 0,87 % или в пересчете на клинкер 1,35 %. Такое количество щелочесодержащих оксидов вводится с полевым шпатом. Увеличение количества R_2O в сырьевой смеси сделано целенаправленно для проведения эксперимента. С вводом полевого шпата изменился глиноземистый модуль по сравнению с характеристикой клинкера в предыдущем случае (см. табл. 3). Это связано с увеличением оксида железа Fe_2O_3 в клинкере с 0,16 до 0,26 %. Минералогический состав клинкера изменился незначительно.

С учетом того, что в составе полевого шпата уже содержатся оксиды калия K_2O и натрия

Na_2O , количество необходимого оксида серы SO_3 в сырьевой смеси вводилось в составе реактива гипса сверх 100 %. Количеством гипса, вводимым в сырьевую смесь, регулировалось молярное соотношение щелочей R_2O и оксида серы SO_3 A/S, которое составляло 0,5; 1 и 1,5. Количество полевого шпата для всех смесей оставалось постоянным. Для компенсации избыточного количества оксида кальция, вводимого с гипсом в сырьевые смеси, как и в предыдущем случае, добавлялся реактив SiO_2 в количестве необходимом для образования алита C_3S .

Количество остаточной серы в клинкере в пересчете на SO_3 представлено в таблице 7.

Таблица 7

Влияние соотношения A/S на возгонку SO_3 при вводе полевого шпата

A/S	Расчетное содержание SO_3 в клинкере, %	Фактическое содержание SO_3 в клинкере, %	Возгонка SO_3 , %
0,5	3,41	2,04	40,2
1	1,70	1,10	35,3
1,5	1,13	0,79	30,1

Как и следовало ожидать, количество оксида серы SO_3 в клинкере увеличивается по мере увеличения соотношения A/S по сравнению с расчетным содержанием. Об этом свидетельствует уменьшение разницы между расчетным и фактическим содержанием SO_3 в клинкере (рис. 3). Возгонка оксида серы SO_3 уменьшается при увеличении соотношения A/S от 0,5 до 1,5 с 40,2 до 30,1 % (рис. 4).

Таким образом, значительное количество введенного оксида серы SO_3 выводится вместе с клинкером в виде щелочных сульфатов K_2SO_4 и Na_2SO_4 и не остается циркулировать в печи. Это свидетельствует о том, что полевой шпат может быть использован в качестве регулятора количества оксида серы SO_3 , выходящего с клинкером, путем обеспечения соотношения щелочей к оксиду серы A/S.

Наличие в клинкере щелочных сульфатов в виде K_2SO_4 и Na_2SO_4 , образовавшихся в результате взаимодействия щелочных оксидов K_2O и

Na_2O с оксидом серы SO_3 , может привести к снижению прочности белого цемента и изделий на его основе.

Для определения зависимости прочности цемента от содержания сульфатов калия K_2SO_4 и натрия Na_2SO_4 было приготовлено 7 цементов. Содержание SO_3 в каждом цементе составляло 3 %. Количество вводимых щелочных сульфатов K_2SO_4 и Na_2SO_4 составляло 1, 2 и 3 % в пересчете на оксид серы SO_3 . Недостающее количество оксида серы при вводе сульфатов калия и натрия компенсировалось вводом реактива двуводного гипса $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$. В одном цементе содержался только $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$.

Количество вводимых в цемент щелочных сульфатов K_2SO_4 и Na_2SO_4 , а также $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ представлено в таблице 8.

Прочность при сжатии образцов с различным количеством вводимых сульфатов представлена на рисунке 5.

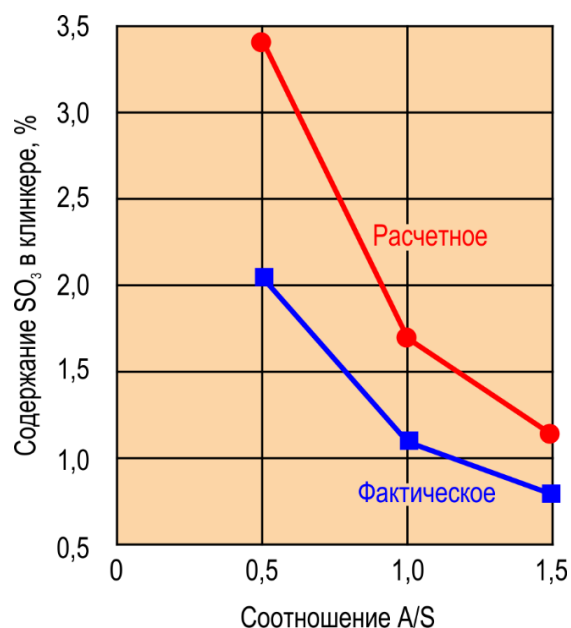


Рис. 3. Влияние соотношения A/S на содержание SO₃ в клинкере при вводе полевого шпата

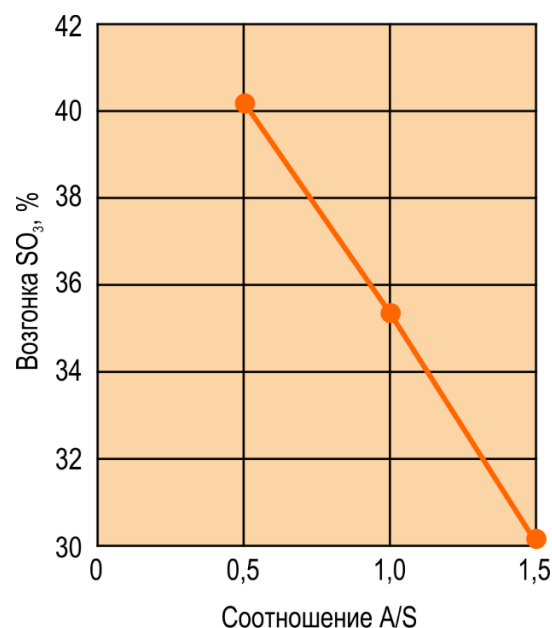


Рис. 4. Зависимость возгонки оксида серы от соотношения A/S при вводе полевого шпата

Таблица 8

Содержание вводимых в цемент щелочных сульфатов K₂SO₄, Na₂SO₄ и гипса, %

№ цемента	CaSO ₄ ·2H ₂ O (SO ₃ в цементе, %)	K ₂ SO ₄ (SO ₃ в цементе, %)	Na ₂ SO ₄ (SO ₃ в цементе, %)
Цемент №1	6,45 (3)	–	–
Цемент №2	4,30 (2)	2,18 (1)	–
Цемент №3	4,30 (2)	–	1,78 (1)
Цемент №4	2,15 (1)	4,35 (2)	–
Цемент №5	2,15 (1)	–	3,55 (2)
Цемент №6	–	6,53 (3)	–
Цемент №7	–	–	5,33 (3)

Как и следовало ожидать, на начальном этапе набора прочности – на вторые сутки твердения – прочность образцов белого цемента с введением щелочных сульфатов выше прочности цемента №1 (контрольный цемент) с добавлением гипса. Максимальная прочность наблюдается у образцов из цементов №2 и №3 с введением по 1 % K₂SO₄ и Na₂SO₄ в пересчете на SO₃ соответственно. Причем прочность цементов №2 и №3 превышает прочность цемента №1 примерно в 2 раза. При дальнейшем увеличении в цементах содержания щелочных сульфатов до 2 и 3 % в пересчете на SO₃ происходит снижение прочности образцов относительно цементов №2 и №3, при этом их прочность по-прежнему больше, чем прочность образцов из цемента №1.

К семи суткам твердения максимальной прочностью, 31 МПа, обладают образцы из цемента №1, с добавлением только гипса. Прочность образцов из цементов №2 и №3 на 36 и 27 % ниже, прочность цементов из образцов №4

и №5 – в 2 раза и на 29 % ниже, а образцов из цементов №6 и №7 – на 57 и 61 % ниже соответственно.

В 28-ми суточном возрасте наблюдается такая же зависимость, как и в возрасте семи суток. Максимальная прочность, 48 МПа, у образцов из цемента №1. Минимальная прочность у образцов из цементов №6 и №7 с добавлением 3 % K₂SO₄ и Na₂SO₄ в пересчете на SO₃. Для этих цементов прочность в 2 раза ниже, чем прочность контрольного цемента. Причем, чем меньше вводимых щелочных сульфатов в цемент, тем прочность выше.

Следует отметить, что прочность цементов с добавлением 1 и 2 % сульфата натрия Na₂SO₄ в пересчете на SO₃ во все сроки твердения выше, чем прочность цементов с добавлением такого же количества сульфата калия K₂SO₄. При добавлении 3 % щелочного сульфата прочность цементов практически одинаковая.

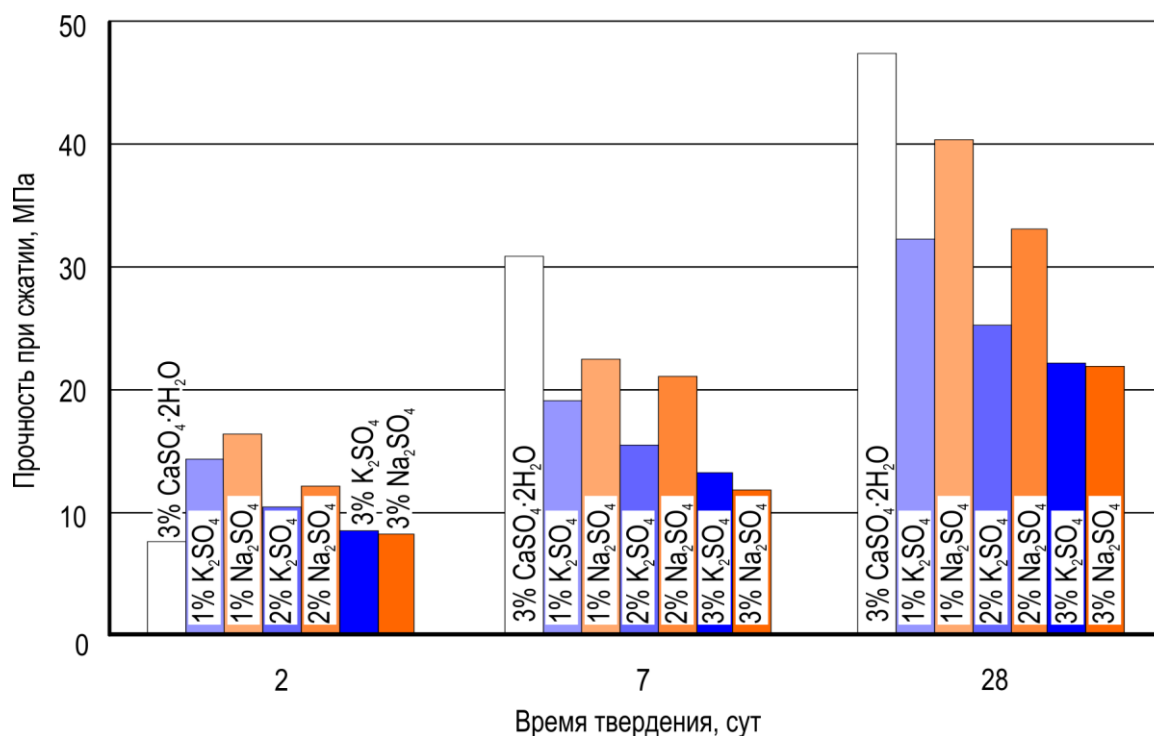


Рис. 5. Влияние количества щелочных сульфатов на прочность белого цемента

Выводы.

1. Количество выводимого с клинкером оксида серы SO_3 при производстве белого цемента возможно регулировать изменением соотношения между щелочными оксидами K_2O и Na_2O при сохранении соотношения A/S между K_2O , Na_2O и SO_3 постоянным. При одном и том же соотношении A/S количество оксида серы, выходящее с клинкером, будет увеличиваться по мере увеличения содержания оксида натрия.

2. Щелочные оксиды калия K_2O и натрия Na_2O , вводимые в сырьевую смесь в соотношении 80:20 %, способствуют увеличению содержания оксида серы SO_3 в клинкере с 0,92 до 1,92 %, при увеличении соотношения A/S от 0 до 1,5. Возгонка SO_3 при этом снижается с 70,5 до 38,5 %. Такое же изменение A/S способствует увеличению содержания оксида серы SO_3 с 0,92 до 2,88 % при вводе в сырьевую смесь оксидов калия K_2O и натрия Na_2O в соотношении 20:80 %. Возгонка SO_3 снижается с 70,5 до 7,7 %.

3. Применение полевого шпата в качестве источника щелочных оксидов при обжиге белого клинкера повышает выход оксида серы с клинкером и снижает его возгонку и циркуляцию в печи. Использование полевого шпата способствует снижению возгонки оксида серы SO_3 с 40,2 до 30,1 % при увеличении молярного отношения оксидов калия и натрия к оксиду серы от 0,5 до 1,5.

4. Прочностные характеристики образцов с добавлением в качестве источника оксида серы щелочных сульфатов в двухсуточном возрасте выше, чем прочность образцов из цемента без добавления щелочных сульфатов для всех опытных

образцов. В последующие сроки твердения, 7 и 28 суток, прочность образцов из цементов с вводом щелочных сульфатов ниже прочности контрольного цемента более, чем в 2 раза.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Зубехин А.П., Яценко Н.Д., Голованова С.П. Теоретические основы белизны и окрашивания керамики и портландцемента. М.: ООО РИФ «Стройматериалы». 2014. 152 с.
2. Зубехин А.П., Голованова С.П., Кирсанов П.В. Белый портландцемент. Под ред. А.П. Зубехина. Ростов н/Д.: Ред. ж. «Изв. вузов Сев.-Кавк. Регион». 2004. 264 с.
3. Зубехин А.П., Голованова С.П. Белый портландцемент, его роль в архитектурно-строительном дизайне, производство и применение // Цемент и его применение. 2010. № 3. С. 35-37.
4. Макфи Д.Е., Даффи Дон. А., Херфорт Д. Факторы, влияющие на цвет белых портландцементов // Цемент и его применение. 2010. № 3. С. 40-45.
5. Chatterjee A.K., Cement Production Technology. Principles and Practice. Boca Raton: Taylor & Francis Group. 2018. 419 p.
6. Klassen V.K., Ermolenko E.P., Novosyolov A.G., Mishin D.A. Problem of impurity of salts of alkali metals in cement raw materials // Middle-East Journal of Scientific Research. 2013. №17 (8). Pp. 1130-1137. URL: [http://idosi.org/mejst/mejsr17\(8\)13/18.pdf](http://idosi.org/mejst/mejsr17(8)13/18.pdf).
7. Классен В. К. Технология и оптимизация производства цемента: учебное пособие. Белгород: Изд-во БГТУ. 2012. 308 с.

8. Классен В.К. Технология портландцемента: избранные труды. Белгород: Изд-во БГТУ. 2017. 530 с.
9. Locher G., Klein H. Modeling circulating sulfur, chlorine and alkali systems in the clinker burning process; part 1: comparison of measurement and calculation // Cement International. 2009. №3. Pp. 74–87.
10. Locher G., Klein H. Modeling circulating sulfur, chlorine and alkali systems in the clinker burning process; part 2: theory and discussion // Cement International. 2009. №4. Pp. 64–75.
11. Enders M., Haeseli U. Reactions of alkalis, chlorine and sulfur during clinker production // Cement International. 2011. №3. Pp. 38–53.
12. Tokheim L.-A., Kiln system modification for increased utilization of alternative fuels at Norcem Brevik // Cement International. 2006. №4. Pp. 52–59.
13. Klein H., Hoenig V. Model calculations of the fuel energy requirement for the clinker burning process // Cement International. 2006. №3. Pp. 44–63.
14. Schneider C., Schulz M., Hamman B. Production of glass products – a possible new way of utilizing dusts from the cement industry // Cement International. 2007. №. 1. Pp. 64–73.
15. Nobis R. General report WDC Congress 2009: Burning Technology. Cement International. 2009. №5. Pp. 52–71.
16. Дуда В. Цемент. Пер с нем. Е.Ш. Фельдмана. Под ред. Б.Э. Юдовича. М.: Стройиздат. 1981. 464 с.
17. Лугинина И.Г. Избранные труды. Белгород: Изд-во БелГТАСМ. 2002. 302 с.
18. Капан М. Циркуляционные явления при обжиге клинкера. Часть I // Цемент и его применение. 2017. №5. С. 44–49.
19. Капан М. Циркуляционные явления при обжиге клинкера. Часть II // Цемент и его применение. 2017. №6. С. 34–41.
20. Ботвинкин О.К., Клюковский Г.И., Мануйлов Л.А. Лабораторный практикум по общей технологии силикатов и техническому анализу строительных материалов. Под ред. Косякина З. К. М.: Стройиздат. 1966. 400 с.
21. Новоселов А.Г., Васина Ю.А., Новоселова И.Н., Горяйнова Д.Н., Ершова Ю.И. Исследование возможности снижения циркуляции летучих соединений во вращающейся печи сухого способа производства // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2020. №7. С. 84–92.

Информация об авторах

Новоселов Алексей Геннадьевич, кандидат технических наук, доцент кафедры технологии цемента и композиционных материалов. E-mail: novosyolovag@yandex.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Олянина Ирина Валерьевна, магистрант. E-mail: irina.olianina@yandex.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Новоселова Инна Николаевна, кандидат технических наук, доцент кафедры технологии цемента и композиционных материалов. E-mail: grebenik_inna@mail.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Васина Юлия Андреевна, магистрант. E-mail: vasinajulia1511@gmail.com. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Ершова Юлия Ивановна, магистрант. E-mail: ershova.yulya10@mail.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Куделина Яна Ивановна, магистрант. E-mail: jana.kudolina@yandex.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Лоик Татьяна Андреевна, магистрант. E-mail: loik.tatiana0297@yandex.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Поступила 09.11.2020 г.

© Новоселов А.Г., Олянина И.В., Новоселова И.Н., Васина Ю.А., Ершова Ю.И., Куделина Я.И., Лоик Т.А., 2021

***Novosyolov A.G., Olianina I.V., Novoselova I.N., Vasina Y.A., Ershova Y.I., Kudelina Ja.I., Loik T.A.**

Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov

**E-mail: novosyolovag@yandex.ru*

RESEARCH OF THE POSSIBILITY OF REDUCING THE CIRCULATION OF SULFUR OXIDE IN THE PRODUCTION OF WHITE CEMENT

Abstract. The article discusses the possibility of reducing the circulation of sulfur oxide in the production of white cement by introducing alkaline potassium oxides K_2O and sodium Na_2O . A decrease in the circulation of sulfur oxide SO_3 is achieved by increasing its yield in the clinker by transferring SO_3 from a more sublimated compound of calcium sulfate $CaSO_4$ to less sublimated potassium sulfates K_2SO_4 and sodium Na_2SO_4 . Potassium and sodium oxides are introduced in the composition of carbonates and feldspar. The amount of introduced alkali oxides is controlled by the molar ratio A/S between sulfur oxide SO_3 and alkaline oxides K_2O and Na_2O . It is shown that with the same molar ratio between sulfur oxide and alkaline oxides, the amount of SO_3 removed with clinker depends on the ratio between potassium and sodium oxides. The higher the sodium oxide content, the more sulfur oxide comes out with the clinker and less remains to circulate in the kiln. The sublimation of sulfur oxide decreases from 70,5 % – without the introduction of alkaline oxides, to 38,5 % at the maximum A/S ratio with the addition of potassium and sodium oxides in a ratio of 80:20 %. When potassium and sodium oxides are added in a ratio of 20:80 %, the sublimation of sulfur oxide is reduced to 7,7 % at the same A/S ratio.

Keywords: white cement, white clinker burning, reduced sulfur oxide circulation, dry production, covering.

REFERENCES

1. Zubekhin A.P., Jatsenko N.D., Golovanova S.P. Theoretical Foundations of Whiteness and Coloring of Ceramics and Portland Cement [Teoreticheskie osnovy belizny i okrashivaniya keramiki i portlandtsementa]. M.: OOO Riph "Stroymaterialy". 2014. 152 p. (rus)
2. Zubekhin A.P., Golovanova S.P., Kirsanov P.V. White Portland cement [Belyi portlandtsement]. Edited by A.P. Zubekhin. Rostov-on-Don: Editorial office "Proceedings of universities North Caucasus region". 2004. 264 p.
3. Zubekhin A.P., Golovanova S.P. White Portland cement, its role in architectural and construction design, production and application [Belyi portlandtsement, ego rol' v arhitekturno-stroitel'nom dizaine, proizvodstvo i primeneniye]. Cement and its application. 2010. No. 3. Pp. 35–37. (rus)
4. Makphi D.E., Daffi Don. A., Kherfort D. Factors Affecting the Color of White Portland Cements [Fakty, vliyayushchie na tsvet belyh portlandtsementov]. Cement and its application. 2010. No. 3. Pp. 40–45. (rus)
5. Chatterjee A.K., Cement Production Technology. Principles and Practice. Boca Raton: Taylor & Francis Group. 2018. 419 p.
6. Klassen V.K., Ermolenko E.P., Novosyolov A.G., Mishin D.A. Problem of impurity of salts of alkali metals in cement raw materials. Middle-East Journal of Scientific Research. 2013. No 17 (8). Pp. 1130–1137. URL: [http://idosi.org/mejsr/mejsr17\(8\)13/18.pdf](http://idosi.org/mejsr/mejsr17(8)13/18.pdf).
7. Klassen V.K. Technology and optimization of cement production: a training manual [Tekhnologiya i optimizatsiya proizvodstva tsementa: uchebnoe posobie]. Belgorod: publishing house of BSTU named after V.G. Shukhov. 2012. 308 p. (rus)
8. Klassen V.K. Portland Cement Technology: Selected Works [Tekhnologiya proizvodstva tsementa: izbrannye trudy]. Belgorod: publishing house of BSTU named after V.G. Shukhov. 2017. 530 p. (rus)
9. Locher G., Klein H. Modeling circulating sulfur, chlorine and alkali systems in the clinker burning process; part 1: comparison of measurement and calculation. Cement International. 2009. No. 3. Pp. 74–87.
10. Locher G., Klein H. Modeling circulating sulfur, chlorine and alkali systems in the clinker burning process; part 2: theory and discussion. Cement International. 2009. No. 4. Pp. 64–75.
11. Enders M., Haeseli U. Reactions of alkalis, chlorine and sulfur during clinker production. Cement International. 2011. No. 3. Pp. 38–53.
12. Tokheim L.-A., Kiln system modification for increased utilization of alternative fuels at Norcem Brevik. Cement International. 2006. No. 4. Pp. 52–59.
13. Klein H., Hoenig V. Model calculations of the fuel energy requirement for the clinker burning process. Cement International. 2006. No. 3. Pp. 44–63.
14. Schneider C., Schulz M., Hamman B. Production of glass products – a possible new way of utilizing dusts from the cement industry. Cement International. 2007. No. 1. Pp. 64–73.

15. Nobis R. General report WDC Congress 2009: Burning Technology. Cement International. 2009. No. 5. Pp. 52–71.

16. Duda V. Cement [Tsement]. German translation E.Sh. Feldman. Edited by B.A. Judovich. M.: Stroyizdat. 1981. 464 p. (rus)

17. Luginina I.G. Selected Works [Izbrannye trudy]. Belgorod: publishing house of BSTU named after V.G. Shukhov. 2002. 302 p. (rus)

18. Kapan M. Circulation phenomena during clinker burning. Part I [Tsirkulatsionnye iavlenia pri obzjige klinkera. Chast' I]. Cement and its application. 2017. No. 5. Pp. 44–49. (rus)

19. Kapan M. Circulation phenomena during clinker burning. Part II [Tsirkulatsionnye iavlenia pri obzjige klinkera. Chast' II]. Cement and its application. 2017. No. 6. Pp. 34–41. (rus)

20. Botvinkin O.K., Klyukovsky G.I., Manuylov L.A. Laboratory workshop on general technology of silicates and technical analysis of building materials [Laboratornyi praktikum po obshchei tekhnologii silikatov i tekhnicheskomu analizu stroitel'nykh materialov]. Edited by Kosyakina Z.K. M.: Stroyizdat. 1966. 400 p. (rus)

21. Novosyolov A.G., Vasina Yu.A., Novoselova I.N., Goriaynova D.N., Ershova Yu.I. Research of the possibility of reducing the circulation of volatile compounds in the rotary kiln of the dry method of production [Issledovanie vozmozhnosti snizheniia tsirkulatsii letuchih soedineniy vo vroschayushchiesia pechi suhogo sposoba proizvodstva]. Bulletin of BSTU named after V. G. Shukhov. 2020. No.7. Pp. 84–92. (rus)

Information about the authors

Novosyolov, Alexey G. PhD. E-mail: novosyolovag@yandex.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Olianina, Irina V. Undergraduate. E-mail: irina.olianina@yandex.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Novoselova, Inna N. PhD. E-mail: grebenik_inna@mail.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Vasina, Yulia A. Undergraduate. E-mail: vasinajulia1511@gmail.com. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Ershova, Yulya I. Undergraduate. E-mail: ershova.yulya10@mail.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Kudelina, Jana I. Undergraduate. E-mail: jana.kudelina@yandex.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Loik, Tatiana A. Undergraduate. E-mail: loik.tatiana0297@yandex.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Received 09.11.2020

Для цитирования:

Новоселов А.Г., Олянина И.В., Новоселова И.Н., Васина Ю.А., Ершова Ю.И., Куделина Я.И., Лоик Т.А. Исследование возможности снижения циркуляции оксида серы при производстве белого цемента // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2021. № 7. С. 89–98. DOI: 10.34031/2071-7318-2021-6-7-89-98

For citation:

Novosyolov A.G., Olianina I.V., Novoselova I.N., Vasina Y.A., Ershova Y.I., Kudelina Ja.I., Loik T.A. Research of the possibility of reducing the circulation of sulfur oxide in the production of white cement. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2021. No. 7. Pp. 89–98. DOI: 10.34031/2071-7318-2021-6-7-89-98

МАШИНОСТРОЕНИЕ И МАШИНОВЕДЕНИЕ

DOI: 10.34031/2071-7318-2021-6-7-99-106

Васильев А.А.

Санкт-Петербургский Политехнический университет имени Петра Великого

E-mail: const333@mail.ru

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ РАСЧЕТА ПОЛЯ ДАВЛЕНИЙ ДЛЯ НЕИЗОТЕРМИЧЕСКОГО ТЕЧЕНИЯ ВЯЗКОЙ ЖИДКОСТИ В ГИРОСТАТИЧЕСКИХ ПОДШИПНИКАХ ПРИ ОБРАБОТКЕ КРУПНОГАБАРИТНЫХ ВАЛОВ ПАРОВЫХ ТУРБИН

Аннотация. Разработана математическая модель расчета поля давлений гидростатической опоры с неполным углом обхвата для неизотермического течения вязкой рабочей жидкости с использованием метода итераций. В модели использованы фундаментальные законы гидродинамики и гидродинамической теории смазки. Расчет поля давлений произведен путем совместного решения уравнений Рейнольдса, баланса энергии и баланса расходов, а также дополнительными соотношениями для теплофизических параметров рабочей жидкости, полученными путем аппроксимации табличных значений. Математическая модель поля давлений учитывает все характеристики и рабочие параметры гидростатической опоры с неполным углом обхвата путем задания граничных условий и геометрических параметров рабочей поверхности вкладыша опоры. Разработанная система решена численным методом конечных разностей. Проведен сравнительный анализ статических характеристик разных конструктивных исполнений гидростатической опоры с неполным углом обхвата. Даны рекомендации по выбору числа карманов при проектировании вкладышей для гидростатической опоры с неполным углом обхвата для обеспечения гарантированного всплытия и поддержания заданного значения рабочего зазора в зоне жидкостного трения шейки вала и опорной поверхности вкладыша гидростатической опоры при токарной обработке валов паровых турбин.

Ключевые слова: гидростатический подшипник с неполным углом обхвата, уравнение Рейнольдса, несущая способность, коэффициент динамической вязкости, температура, потери мощности на трение, расход.

Введение. Для крепления вала при токарной обработке используется планшайба или патрон со стороны шпинделя, в качестве второй опоры применяют задние бабки, роликовые опоры и люнеты. При обработке крупногабаритных валов роторов турбин массой от 1 до 250 тонн на токарном станке, в связи с ограничением по габаритам люнетов и большой массой роторов, используются гидростатические опоры (ГСО), являющие собой люнеты с вкладышами неполного угла обхвата (100 – 120 градусов). Преимущество таких опор заключается в простоте конструкции, малых габаритах (относительно точечных люнетов), надежности, отсутствии касания чистовых поверхностей (шеек вала), высокой точности положения центра шейки вала, при выдерживании заданного масляного зазора, меньшее значение прогиба вала в сравнении с установкой в центра или кулачковые патроны. Схема ГСО с неполным углом обхвата с тремя карманами представлена на рис. 1.

При использовании ГСО с неполным углом обхвата возникает ряд проблем, таких как боль-

шой расход и нагрев рабочей жидкости, непостоянное значение зазора, трение об баббит шеек вала (полужидкостное трение). В настоящее время конструктивное исполнение рабочих поверхностей ГСО с неполным углом обхвата выбирается исходя из практических рекомендаций, методики расчета полей давления ГСО с неполным углом обхвата в неизотермической постановке задачи не было разработано. Для решения проблем, связанных с конструктивным исполнением рабочей поверхности вкладыша ГСО для оптимизации и улучшения технологических параметров токарной обработки крупногабаритных валов, предлагается методика расчета полей давления и сравнение конструктивных исполнений рабочих поверхностей ГСО с неполным углом обхвата.

Функция полного зазора определяется из рассмотрения геометрии опорного узла. Определение функции $h(\varphi)$ осуществляется вначале в радиальной плоскости (рис. 1). При учете перекоса вала функция радиального зазора принимает вид:

$$h(z, \varphi) = h_0 - X \sin\left(\varphi - \frac{\varphi_0}{2}\right) - Y \cos\left(\varphi - \frac{\varphi_0}{2}\right) - z \tan \gamma, \quad (1)$$

где h_0 – начальный зазор, φ_0 – угол обхвата опоры, γ – угол прогиба вала.

Представим область интегрирования (опорную поверхность развтки) в виде прямоугольной сетки, каждый узел которой будет иметь координаты x_i, z_i [9, 10, 13–15].

Шаги сетки назначаются так, чтобы линии сетки совпадали с краями камер. Дискретизация

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\rho h^3}{\mu} \frac{\partial p}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{\rho h^3}{\mu} \frac{\partial p}{\partial z} \right) = 12h \frac{\partial p}{\partial t} + 6 \frac{\partial}{\partial x} (\rho h V_x) + 6 \frac{\partial}{\partial z} (\rho h V_z) + 12\rho V_y, \quad (2)$$

где

$$V_x = \dot{X}; V_y = \dot{Y}; V_z = \dot{Z}. \quad (3)$$

Для решения уравнения Рейнольдса (2) задаются следующие граничные условия: заданное давление слива p_s и давление в камерах p_H :

$$\begin{aligned} p(0, z) &= p_s; p(x, 0) = p_s; p(x, N) = p_s; \\ p(M, z) &= p_s; p(x_{Hn}, z_{Hn}) = p_{Hn}, \end{aligned} \quad (4)$$

где x_H, z_H, n – координаты и номер текущего кармана; M, N – максимальные значения узлов сетки по координатам x и z .

$$\frac{\partial p}{\partial x}(0, z) = \frac{\partial p}{\partial x}(R\varphi_0, z); \frac{\partial p}{\partial z}(x, 0) = \frac{\partial p}{\partial z}(x, L_0). \quad (5)$$

При расчете поля давлений в рабочем зазоре

опорной поверхности и схемы представления граничных условий ГСО с тремя карманами изображены на рисунке 2.

Математическая модель поля давлений в ГСО с неполным углом обхвата. Уравнение Рейнольдса, для ламинарного течения вязкой сжимаемой рабочей жидкости [1–4, 8, 10, 14]:

принимаются допущения:

- 1) смазочный материал заполняет весь радиальный зазор;
- 2) смазочная среда является изотропной;
- 3) в связи с малым значением зазора пренебрегаем изменением термодинамических параметров по толщине рабочего зазора;
- 4) не учитывается изменение объема смазочного материала из-за изменения температуры в рабочем зазоре;
- 5) отсутствие проскальзывания смазочного материала по рабочим поверхностям опоры и шейки вала ротора;
- 6) не учитываем шероховатость шейки вала и вкладыша, считаем форму поперечного сечения постоянной вдоль оси подшипника.

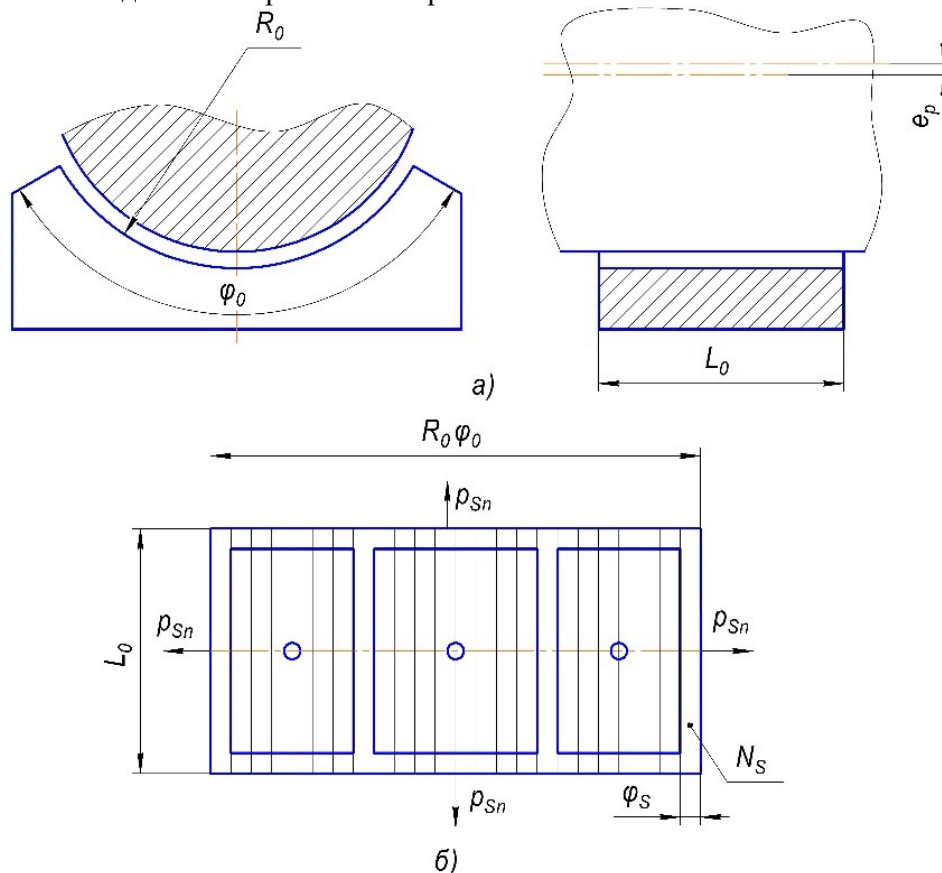


Рис. 1. Гидростатический подшипник с неполным углом обхвата:
а) расчетная схема; б) развртка опорной поверхности

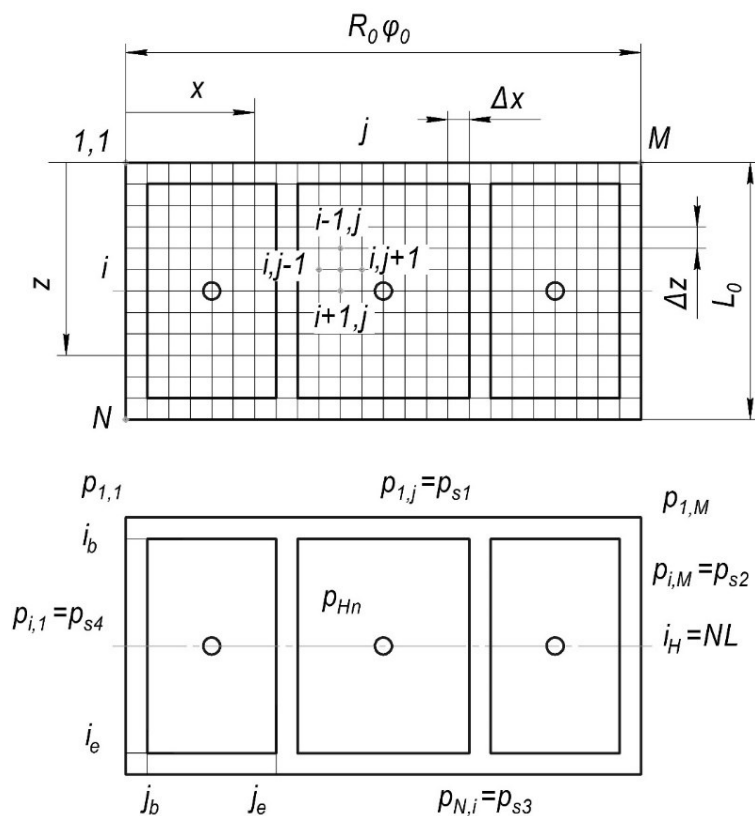


Рис. 2. Дискретизация опорной поверхности ГСО с неполным углом обхвата, с тремя камерами

Для неизотермической постановки задачи требуется включение в математическую модель уравнения баланса энергий. Энергетический баланс при условии отсутствия теплообмена с со-

пряжёнными поверхностями шейки вала и корпуса вкладыша в адиабатной постановке задачи для течения вязкой жидкости описывается формулой [2, 5, 6]:

$$\rho C_p \left[\left(1 - \frac{h^2}{6\mu U} \frac{\partial p}{\partial x} \right) \frac{\partial T}{\partial x} - \frac{h^2}{6\mu U} \frac{\partial p}{\partial z} \frac{\partial T}{\partial z} \right] = \frac{2\mu U}{h^2} \left[1 + \frac{h^4}{12(\mu U)^2} \left(\left(\frac{\partial p}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial p}{\partial z} \right)^2 \right) \right], \quad (6)$$

где C_p – удельная теплоемкость, U – скорость вращения.

В уравнении (6) заменим производные температуры в каждом узле сетки (i,j) центральными разностями:

$$\frac{\delta \bar{T}}{\delta \bar{z}_i} \approx \frac{\bar{T}_{i+1,j} - \bar{T}_{i,j}}{\Delta \bar{z}}, \quad \frac{\delta \bar{T}}{\delta \bar{x}_j} \approx \frac{\bar{T}_{i,j+1} - \bar{T}_{i,j}}{\Delta \bar{x}}.$$

Граничными условиями для определения поля температуры является задание начального значения температуры и значение в питающих камерах.

Для решения уравнения (6) используется итерационный метод Зейделя [2, 11, 15]. Данный метод имеет быструю сходимость по сравнению с другими методами итераций.

Справочные данные по теплофизическим свойствам гидравлических масел [16] и спецификация на рабочее масло позволяют найти аналитическую зависимость коэффициента динамического трения в виде функции $\mu(T)$ путем аппроксимации по методу наименьших квадратов.

$$A = \frac{1}{\bar{\rho}} \frac{\delta \bar{p}}{\delta \bar{z}} + \frac{3}{\bar{h}} \frac{\delta \bar{h}}{\delta \bar{z}} - \frac{1}{\bar{\mu}} \frac{\delta \bar{\mu}}{\delta \bar{z}}; \quad C = \frac{1}{\bar{\rho}} \frac{\delta \bar{p}}{\delta \bar{x}} + \frac{3}{\bar{h}} \frac{\delta \bar{h}}{\delta \bar{x}} - \frac{1}{\bar{\mu}} \frac{\delta \bar{\mu}}{\delta \bar{x}};$$

Давление в питающих камерах p_H рассчитывается исходя из уравнения баланса расходов [2–4, 6, 8, 9, 13, 14]:

$$Q_H = Q_z + Q_x + Q_y, \quad (7)$$

где

1) Q_H – суммарный массовый расход рабочей жидкости [2, 6, 13, 14];

2) Q_z и Q_x – массовые расходы рабочей жидкости через контур карманов опор, в соответствующих направлениях [13, 14];

3) Q_y – массовый расход рабочей жидкости, возникающий из-за радиального смещения шейки вала ротора [9, 13].

Дифференцирование и введение безразмерных параметров приводят уравнение Рейнольдса (2) к следующему виду:

$$\frac{\delta^2 \bar{p}}{\delta \bar{z}^2} + A \frac{\delta \bar{p}}{\delta \bar{z}} + \frac{\delta^2 \bar{p}}{\delta \bar{x}^2} + C \frac{\delta \bar{p}}{\delta \bar{x}} = E + F, \quad (8)$$

где

$$F = \frac{12\mu_0\omega_0 L_0^2}{p_0 h_0^2} \bar{\mu} \left[\frac{\bar{V}_y}{\bar{h}^3} + \frac{1}{\bar{\rho} \bar{h}^2} \frac{\delta \bar{\rho}}{\delta \bar{t}} \right];$$

$$E = \frac{12\mu_0\omega_0 L_0^2}{p_0 h_0^2} \frac{\bar{\mu}}{\bar{\rho} \bar{h}^3} \left[\left\{ \bar{V}_z \left(\bar{h} \frac{\delta \bar{\rho}}{\delta \bar{z}} + \bar{\rho} \frac{\delta \bar{h}}{\delta \bar{z}} + \frac{\bar{h} \bar{\rho}}{\bar{z}} \right) + \bar{h} \bar{\rho} \frac{\delta \bar{V}_z}{\delta \bar{z}} \right\} + \left\{ \bar{V}_x \left(\bar{h} \frac{\delta \bar{\rho}}{\delta \bar{x}} + \bar{\rho} \frac{\delta \bar{h}}{\delta \bar{x}} + \frac{\bar{h} \bar{\rho}}{\bar{x}} \right) + \bar{h} \bar{\rho} \frac{\delta \bar{V}_x}{\delta \bar{x}} \right\} \right].$$

В уравнении (8) заменим производные давления в каждом узле сетки (i, j) центральными разностями:

$$\frac{\delta \bar{p}}{\delta \bar{z}_i} \approx \frac{\bar{p}_{i+1,j} - \bar{p}_{i-1,j}}{2\Delta \bar{z}}; \quad \frac{\delta^2 \bar{p}}{\delta \bar{z}_i^2} \approx \frac{\bar{p}_{i+1,j} - 2\bar{p}_{i,j} + \bar{p}_{i-1,j}}{\Delta \bar{z}^2};$$

$$\frac{\delta \bar{p}}{\delta \bar{x}_j} \approx \frac{\bar{p}_{i,j+1} - \bar{p}_{i,j-1}}{2\Delta \bar{x}}; \quad \frac{\delta^2 \bar{p}}{\delta \bar{x}_j^2} \approx \frac{\bar{p}_{i,j+1} - 2\bar{p}_{i,j} + \bar{p}_{i,j-1}}{\Delta \bar{x}^2}.$$

После подстановки приближенных представлений производных уравнение (1.8), примет вид:

$$\left(-\frac{2}{\Delta \bar{z}^2} - \frac{2}{\Delta \bar{x}^2} \right) \bar{p}_{i,j} + \left(\frac{1}{\Delta \bar{x}^2} + \frac{c}{2\Delta \bar{x}} \right) \bar{p}_{i,j+1} + \left(\frac{1}{\Delta \bar{z}^2} + \frac{A}{2\Delta \bar{z}} \right) \bar{p}_{i+1,j} + \left(\frac{1}{\Delta \bar{x}^2} - \frac{c}{2\Delta \bar{x}} \right) \bar{p}_{i,j-1} + \left(\frac{1}{\Delta \bar{z}^2} - \frac{A}{2\Delta \bar{z}} \right) \bar{p}_{i-1,j} - (E + F) = 0. \quad (9)$$

Для решения уравнения (9) используется итерационный метод Зейделя [6]. Процесс расчета давлений прекращается при выполнении условия:

$$\max \left| \frac{\bar{p}_{i,j} - \bar{p}_{i,j}^{пред}}{\bar{p}_{i,j}} \right| \leq \xi; \quad i = \overline{1, M}; \quad j = \overline{1, N},$$

где $\bar{p}_{i,j}^{пред}$ – давление, вычисленное на предыдущей итерации; ξ – заданная точность расчета.

Эпюры давлений, полученные по разработанной методике расчета характеристик ГСО с неполным углом обхвата, представлены на рисунке 4.

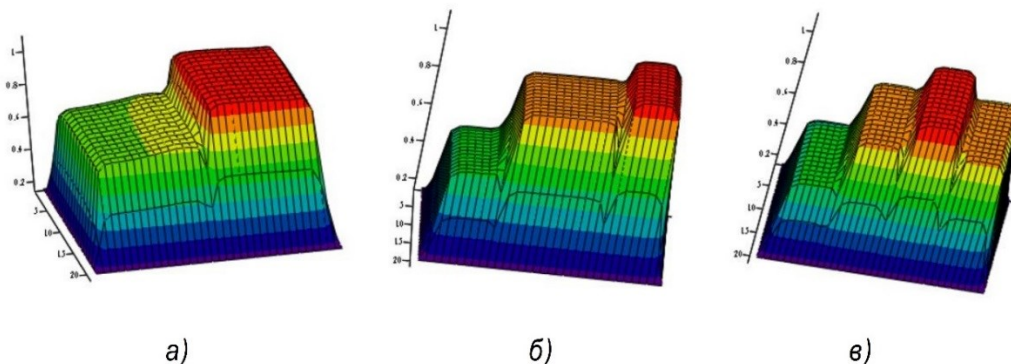


Рис. 4. Характерные эпюры давлений для ГСО с неполным углом обхвата:
а) с 2-мя карманами; б) с 3-мя карманами; в) с 4-мя карманами

Статические характеристики. Интегрирование найденного поля давлений позволяет определить статические характеристики ГСО с неполным углом обхвата по следующим зависимостям [11, 13, 14]:

1) несущая способность ГСО:

$$W = \sqrt{R_X^2 + R_Y^2}, \quad (10)$$

где

$$R_X = \int_0^{R_o\varphi_0} \int_0^B p \sin \beta \, dx dz; \quad R_Y = \int_0^{R_o\varphi_0} \int_0^B p \cos \beta \, dx dz, \quad (11)$$

2) потери мощности на трение:

$$N_{mp} = M_{mp} \omega_0, \quad (12)$$

$$M_{mp} = \int_0^B \int_0^{R_o\varphi_0} R_o \tau dz dx, \quad \tau = \frac{h}{2} \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\mu V_x}{h},$$

3) массовый расход рабочей жидкости рассчитывается по формуле [3, 4, 9, 13, 14]:

$$Q_m = \frac{\pi d_H^4}{128 l_H} \sum_{n=1}^{N_k} \left(\frac{(p_0 - p_H)(\rho_0 + \rho_H)}{K(\mu_0 + \mu_H)} \right)_n, \quad (13)$$

где N_k – число камер.

Результаты расчета статических характери-

стик ГСО с неполным углом обхвата для трех вариантов конструктивного исполнения опор приведены на рис. 5–7. Опоры имеют следующие рабочие и геометрические параметры: длина опоры $L_0 = 0,2$ м; радиус опоры $R_0 = 0,455$ м; средний радиальный зазор $h_0 = 100 \cdot 10^{-6}$ м; масса вала ротора $m = 90 \cdot 10^3$ кг; давление подачи $p_0 = 6$ МПа.

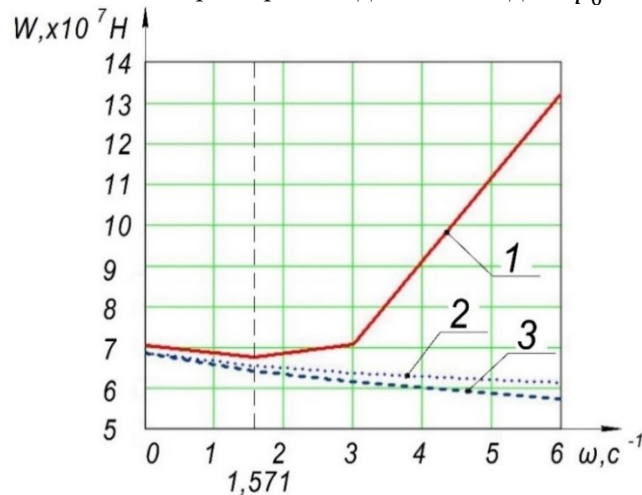


Рис. 5. Несущая способность ГСО с числом карманов: 1 – двумя, 2 – тремя, 3 – четырьмя

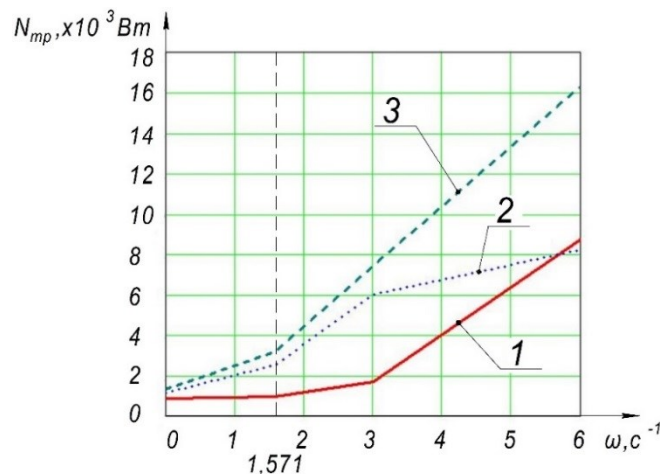


Рис. 6. Потери мощности на прокачку в ГСО с числом карманов: 1 – двумя, 2 – тремя, 3 – четырьмя

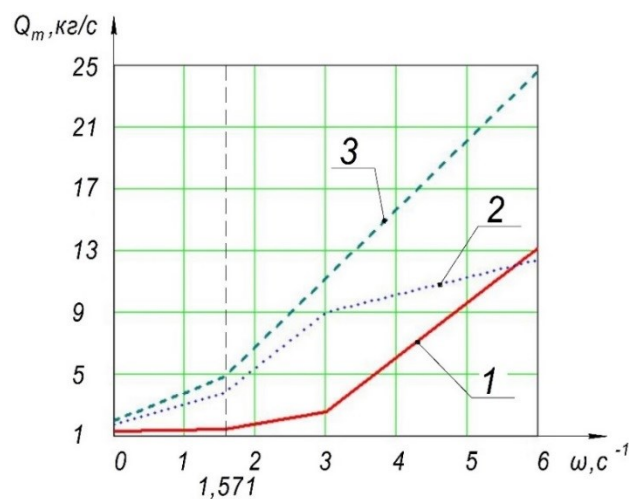


Рис. 7. Расход масла в ГСО с числом карманов: 1 – двумя, 2 – тремя, 3 – четырьмя

Как видно из рисунка 5, несущая способность опоры для варианта с двумя карманами выше, чем для двух других вариантов, при повышении скорости вращения вала при обработке несущая способность данного варианта возрастает, когда для двух других вариантов снижается. Потери мощности на прокачку значительно меньше для случая с двумя карманами, чем для двух других вариантов (рис. 6), но с ростом скорости вращения вала потери мощности на прокачку в варианте с тремя карманами становится меньше, чем с двумя. Конструкция с двумя карманами имеет значительно меньший расход, чем конструкции с тремя и четырьмя карманами (рис. 7).

Выводы. Разработанная методика расчета полей давлений в ГСО с неполным углом обхвата в неизотермической постановке задачи позволяет рассчитывать статические характеристики опоры и учесть нагрев масла для корректной работы гидравлической системы станка. Исходя из результатов, можно сделать вывод, что оптимальным вариантом конструктивного исполнения вкладыша для ГСО с неполным углом обхвата является вариант с двумя карманами.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Srinivasan V. Analysis of Dynamic Load Characteristics on Hydrostatic Bearing with Variable Viscosity and Temperature using Simulation Technique // *Indian Journal of Science and Technology*. 2013. № 6. Pp. 4797–4803.
2. Waheed Ur Rehman, Guiyun Jiang, Yuanxin Luo, Yongqin Wang, Wakeel Khan, Shafiq Ur Rehman, Nadeem Iqbal. Control of active lubrication for hydrostatic journal bearing by monitoring bearing clearance // *Advances in Mechanical Engineering*. 2018. № 10. Pp. 1–17.
3. Xibing Li, Xun Wang, Ming Li, Yunshi Ma, and Ying Huang. The Research Status and Progress of Heavy/Large Hydrostatic Thrust Bearing // *Advances in Mechanical Engineering*. 2014. №8. Pp. 1–9.
4. Jian Cao¹, Xiaocong Zhu, Feiteng Li, Xin Jin. Modeling and constrained optimal design of an ultra-low-friction pneumatic cylinder with air bearing // *Advances in Mechanical Engineering*. 2019. №11. Pp. 1–13.
5. Nebojsa N., Zivota A., Jovan D., Dragan R., Stjepan G., Mitar J., Velibor K. An Analytical Method for the Determination of Temperature Distribution in Short Journal Bearing Oil Film // *Symmetry*. 2020. № 12. Pp. 1–19.
6. Feng Shen, Cong-Lian Chen, Zhao-Miao Liu. Effect of Pocket Geometry on the Performance of a Circular Thrust Pad Hydrostatic Bearing in Machine Tools // *Tribology Transactions*. 2014. № 57. Pp. 700–714.
7. Лазарев С.А., Савин Л.А., Соломин О.В. Аппроксимация термодинамических свойств криогенных рабочих тел // *Сборник научных трудов ученых Орловской области*. 1996. С. 24–28.
8. Максимов В.А., Баткис Г.С. Высокооборотные опоры скольжения гидродинамического трения. К.: издательство «Фэн», 2004. 406 с.
9. Шатохин С.Н., Г.Б. Золотпрева. Опоры скольжения с внешним источником давления. Красноярский политехнический институт, 1974. 157 с.
10. Попикова. А.А., Бучко И.А. Динамика ротора на управляемых гидростатодинамических опорах // *Проблемы механики современных машин*. 2012. Т. 3. С. 1–3.
11. Самарский А. А., Гулин А.В. Численные методы. М.: Наука. 1989. 432с.
12. Седов Л.И. Механика сплошной среды. Том 1. Наука. 1970. 492 с.
13. Темис М.Ю. Расчет статических и динамических коэффициентов подшипника скольжения с учетом деформативности его рабочих поверхностей // *Вестник Гомельского технологического университета им. П. О. Сухого*. 2004. № 4. С. 25–32.
14. Корнеев А.Ю., Шенбо Ли. Расчёт полей давлений и температур в смазочном слое конических гидростатодинамических подшипников // *Вестник Брянского государственного технологического университета*. 2017. №1. С. 12–24.
15. Коннор Дж., Бреббия К. Метод конечных элементов в механике жидкости. Л.: Судостроение, 1979. 264 с.
16. Варгафтик Н.Б. Справочник по теплофизическим свойствам газов и жидкостей. М.: Наука, 1972. 720 с.

Информация об авторах

Васильев Андрей Андреевич, аспирант. E-mail: const333@mail.ru. Санкт-Петербургский Политехнический университет имени Петра Великого. Россия, 195251, г. Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д. 29

Поступила 12.04.2021 г.

© Васильев А.А., 2021

Vasilyev A.A.

Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University

E-mail: const333@mail.ru

DEVELOPMENT OF A METHODOLOGY FOR CALCULATING THE PRESSURE DEVELOPMENT OF A METHOD FOR CALCULATING THE PRESSURE FIELD FOR THE NONISOTHERMAL FLOW OF A VISCOUS LIQUID IN GYROSTATIC BEARINGS WHEN PROCESSING LARGE-SIZED STEAM TURBINE SHAFTS

Abstract. A mathematical model for calculating the pressure field of a hydrostatic support with an incomplete girth angle for a non-isothermal flow of a viscous working fluid using the iteration method is developed. The fundamental laws of hydrodynamics and the hydrodynamic theory of lubrication are used. The pressure field is calculated by jointly solving the Reynolds equation, the energy balance equation and the flow rate balance equation, as well as additional relationships for the thermophysical parameters of the working fluid, obtained by approximating the tabular values. The mathematical model of the pressure field takes into account all the characteristics and operating parameters of the hydrostatic support with an incomplete range angle, by setting the boundary conditions and geometric parameters of the working surface of the support liner. The developed system is solved by the numerical method of finite differences. A comparative analysis of the static characteristics of different designs of a hydrostatic support with an incomplete range angle is carried out. Recommendations are given on the choice of the number of pockets in the design of liners for a hydrostatic support with an incomplete range angle to ensure guaranteed floatation and maintain a given value of the working clearance in the fluid friction zone of the shaft journal and the bearing surface of the hydrostatic support liner when turning shafts of steam turbine.

Keywords: hydrostatic bearing with incomplete range angle, Reynolds equation, bearing capacity, dynamic viscosity, temperature, density, friction power loss, flow rate.

REFERENCES

1. Srinivasan V. Analysis of Dynamic Load Characteristics on Hydrostatic Bearing with Variable Viscosity and Temperature using Simulation Technique. Indian Journal of Science and Technology. 2013. No. 6. Pp. 4797–4803.
2. Waheed Ur Rehman, Guiyun Jiang, Yuanxin Luo, Yongqin Wang, Wakeel Khan, Shafiq Ur Rehman, Nadeem Iqbal. Control of active lubrication for hydrostatic journal bearing by monitoring bearing clearance. Advances in Mechanical Engineering. 2018. No. 10. Pp. 1–17.
3. Xibing Li, Xun Wang, Ming Li, Yunshi Ma, and Ying Huang. The Research Status and Progress of Heavy/Large Hydrostatic Thrust Bearing. Advances in Mechanical Engineering. 2014. No. 8. Pp. 1–9.
4. Jian Cao, Xiaocong Zhu, Feiteng Li, Xin Jin. Modeling and constrained optimal design of an ultra-low-friction pneumatic cylinder with air bearing. Advances in Mechanical Engineering. 2019. No. 11. Pp. 1–13.
5. Nebojsa N., Zivota A., Jovan D., Dragan R., Stjepan G., Mitar J., Velibor K. An Analytical Method for the Determination of Temperature Distribution in Short Journal Bearing Oil Film. Symmetry. 2020. No. 12. Pp. 1–19.
6. Feng Shen, Cong-Lian Chen, Zhao-Miao Liu. Effect of Pocket Geometry on the Performance of a Circular Thrust Pad Hydrostatic Bearing in Machine Tools. Tribology Transactions. 2014. No. 57. Pp. 700–714.
7. Lazarev S.A., Savin L.A., Solomin O.V. Approximation of thermodynamic properties of cryogenic working bodies [Approximaciya termodinamicheskikh svoystv kriogennykh rabochih tel]. Collection of scientific works of scientists of the Oryol region. 1996. Pp. 24–28. (rus)
8. Maksimov V.A., Batkis G.S. High-speed sliding bearings of hydrodynamic friction [Visokoskorostnii jpori gidrodinamicheskogo trenia]. Kazan: publishing house "Feng", 2004. 406 p. (rus)
9. Shatokhin S.N., Zolotpreva G.B. Sliding bearings with an external source of pressure [Opori skolizhenia s vneshnim istochnikom pitania]. Krasnoyarsk Polytechnic Institute, 1974. 157 p. (rus)
10. Popikova. A.A., Buchko I.A. Rotor dynamics on controlled hydrostatodynamic supports [Dinamika rotora na upravlyaemyh gidrostatodinamicheskikh oporah]. Problems of mechanics of modern machines. 2012. Vol. 3. Pp. 1–3. (rus)
11. Samarskiy A.A., Gulin A.V. Numerical Methods [Chislenii metodi]. Mechanical Engineering: Science. 1989. 432 p. (rus)
12. Sedov L.I. Continuum Mechanics. Vol. 1 [Mechanika splochnoi sredi]. Science. 1970. 492 p. (rus)
13. Temis M.Yu. Calculation of static and dynamic coefficients of a sliding bearing taking into account the deformability of its working surfaces [Raschet staticheskikh i dinamicheskikh koeffitsientov

podshipnika skol'zheniya s uchetom deformativnosti ego rabochnih poverhnostej]. Bulletin of the Gomel Technological University named after P.O. Sukhoi. 2004. No. 4. Pp. 25–32. (rus)

14. Korneev A.Yu., Shenbo Li. Calculation of pressure and temperature fields in the lubricating layer of conical hydrostatodynamic bearings [Raschyot polej davlenij i temperatur v smazochnom sloe konicheskikh gidrostatodinamicheskikh podshipnikov]. Bulletin of the Bryansk State Technological University. 2017. No. 1. Pp. 12–24. (rus).

15. Connor J. Brabbia K. Finite element method in fluid mechanics [Metod konechnich elementov v mechanike gidkosti i gaza]. Leningrad: Shipbuilding. 1979. 264 p. (rus)

16. Vargaftik N.B. Handbook on thermophysical properties of gases and liquids [Spravochnik po teplofizicheskim svoistvam gazov i gidkostei]. Moscow: Science, 1972. 720 p. (rus).

Information about the authors

Vasilyev, Andrei A. Postgraduate student. E-mail: const333@mail.ru. Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University. Russia, 195251, St. Petersburg, st. Polytechnic, 29.

Received 12.04.2021

Для цитирования:

Васильев А.А. Разработка методики расчета поля давлений для неизотермического течения вязкой жидкости в гидростатических подшипниках при обработке крупногабаритных валов паровых турбин // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2021. № 7. С. 99–106. DOI: 10.34031/2071-7318-2021-6-7-99-106

For citation:

Vasilyev A.A. Development of a methodology for calculating the pressure development of a method for calculating the pressure field for the nonisothermal flow of a viscous liquid in gyrostatic bearings when processing large-sized steam turbine shafts. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2021. No. 7. Pp. 99–106. DOI: 10.34031/2071-7318-2021-6-7-99-106