

Научно-теоретический журнал
ВЕСТНИК

БГТУ им. В.Г. Шухова

ISSN 2071-7318

2

2022

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**

№ 2, 2022 год

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

Vol. 2. 2022

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
Е-mail:	VESTNIK@intbel.ru
Официальный сайт журнала:	https://bulletinbstu.editorum.ru
Подписка и распространение	Журнал распространяется бесплатно в открытом доступе и по подписке. Подписной индекс в Объединенном каталоге «Пресса России» – 44446. (+12) Online подписка: http://www.akc.ru/itm/2558104627/ Цена свободная.
Подписан в печать	14.02.2022
Выход в свет	22.02.2022

Формат 60×84/8. Усл. печ. л. 13,13. Уч.-изд. л. 14,13. Тираж 40 экз. Заказ № 5

Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov

scientific and theoretical journal

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

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

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

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

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

Founder / Publisher:	Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov” (BSTU named after V.G. Shukhov) 46 Kostyukova street, Belgorod, 308012, Russian Federation
Editorial office address:	46 Kostyukova street, Belgorod, 308012, Russian Federation BSTU named after V.G. Shukhov, of. 724/4
Printing house address:	46 Kostyukova street, Belgorod, 308012, Russian Federation Publishing Center, BSTU named after V.G. Shukhov
Tel:	+7 (4722) 30-99-77
E-mail:	VESTNIK@intbel.ru
Official website of the journal	https://bulletinbstu.editorum.ru
Подписка и распространение	Subscription index in the united catalogue of "Press of Russia" – 44446. Online subscription: http://www.akc.ru/itm/2558104627/
Signed for printing:	14.02.2022

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).

Давидок 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).

Ильвицкая 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).

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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).

Шапалов 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 NIIZH named after A.A. Gvozdeva AO «NIC «Stroitel'stvo» (Russian Federation, Moscow).

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

Ширяев А.О., Высоцкая М.А. МИНЕРАЛЬНЫЙ ПОРОШОК В СОВРЕМЕННОЙ СИСТЕМЕ ПРОЕКТИРОВАНИЯ АСФАЛЬТОБЕТОННЫХ СМЕСЕЙ	8
Чернильник А.А., Смачный В.Ю., Ельшаева Д.М., Жеребцов Ю.В., Доценко Н.А. ВЛИЯНИЕ ВИДА ПРИМЕНЯЕМЫХ ФИБРОВЫХ ВОЛОКОН НА ПРОЧНОСТЬ И ДЕФОРМАТИВНОСТЬ ДИСПЕРСНО-АРМИРОВАННЫХ ОБЛЕГЧЁННЫХ БЕТОНОВ	20
Серых И.Р., Чернышева Е.В., Гольцов А.Б. ОБСЛЕДОВАНИЕ НЕСУЩИХ КОНСТРУКЦИЙ ГЛАВНОГО КОРПУСА КОНСЕРВНОГО КОМБИНАТА	30
Абрамкина Д.В. ОБОСНОВАНИЕ ГРАНИЦ РЕЖИМОВ РАБОТЫ СИСТЕМ ГИБРИДНОЙ ВЕНТИЛЯЦИИ	38
Фетисова М.А., Коломыцева А.Ю. ГИБКИЙ ПОДХОД К ПРОЕКТИРОВАНИЮ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ОБЪЕКТА	47
Перекопская М.А. РОЛЬ ТЕРРИТОРИАЛЬНОГО ПЛАНИРОВАНИЯ В ОРГАНИЗАЦИИ ПОСЕЛЕНИЙ ЛЕСОПРОМЫШЛЕННОГО РАЙОНА	55
Ярмош Т.С., Краснопивцева П.В., Галдин Р.Е., Алейникова Н.В. ФОРМИРОВАНИЕ СОВРЕМЕННОГО ОБЩЕСТВЕННО-РЕКРЕАЦИОННОГО ПРОСТРАНСТВА ВДОЛЬ Р. СЕВЕРСКИЙ ДОНЕЦ В Г. БЕЛГОРОД	65
Горгорова Ю.В. ФОРМИРОВАНИЕ ГОРОДСКОЙ СРЕДЫ И БРЕНДА ГОРОДА НА ОСНОВЕ МНЕНИЯ ГОРОЖАН	76

ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ

Трубицын М.А., Япрынцев М.Н., Фурда Л.В., Воловичева Н.А., Кузин В.И., Зубашенко Р.В. ВЛИЯНИЕ РЕЖИМОВ ТЕРМООБРАБОТКИ НА ПРОЦЕСС СИНТЕЗА КАЛЬЦИЙ-АЛЮМИНАТНЫХ ФАЗ В ТЕХНОЛОГИИ ОСОБО ЧИСТОГО ВЫСОКОГЛИНОЗЕМИСТОГО ЦЕМЕНТА	84
---	----

МАШИНОСТРОЕНИЕ И МАШИНОВЕДЕНИЕ

Ханин С.И., Воронов В.П., Кикин Н.О., Мордовская О.С. ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ КОНЦЕНТРАЦИИ КЛЮЧЕВОГО КОМПОНЕНТА СУХОЙ СМЕСИ В ГОРИЗОНТАЛЬНОМ ЛОПАСТНОМ СМЕСИТЕЛЕ С ЦИЛИНДРИЧЕСКИМИ СТЕРЖНЯМИ	94
Шрубченко И.В., Хургасенко А.В., Дуюн Т.А., Воронкова М.Н. ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНЫХ ИЗМЕНЕНИЙ ЖЕСТКОСТИ БАНДАЖА В РЕЗУЛЬТАТЕ МОБИЛЬНОЙ ТЕХНОЛОГИИ ОБРАБОТКИ ПОВЕРХНОСТИ КАЧЕНИЯ	102

CONSTRUCTION AND ARCHITECTURE

Shiryaev A.O., Vysotskaya M.A. MINERAL POWDER IN A MODERN DESIGN SYSTEM OF ASPHALT CONCRETE	8
Chernilnik A.A., Smachney V.Y., Elshaeva D.M., Zherebtsov Y.V., Dotsenko N.A. INFLUENCE OF THE TYPE OF FIBERS USED ON THE STRENGTH AND DEFORMATION OF DISPERSED-REINFORCED LIGHTWEIGHT CONCRETE	20
Serykh I.R., Chernyshova E.V., Goltsov A.B. INSPECTION OF LOAD-BEARING STRUCTURES OF THE MAIN BUILDING OF THE CANNING FACTORY	30
Abramkina D.V. JUSTIFICATION OF HYBRID VENTILATION SYSTEMS OPERATING BOUNDARIES	38
Fetisova M.A., Kolomytseva A.Yu. FLEXIBLE APPROACH TO DESIGN OF A PRODUCTION FACILITY	47
Perekopskaya M.A. THE ROLE OF TERRITORIAL PLANNING IN THE ORGANIZATION OF SETTLEMENTS IN THE TIMBER INDUSTRY AREA	55
Yarmosh T.S., Krasnopivtseva P.V., Galdin R.E., Aleynikova N.V. FORMATION OF A MODERN PUBLIC AND RECREATIONAL SPACE ALONG THE SEVERSKY DONETS RIVER IN BELGOROD	65
Gorgorova Y.V. FORMATION OF URBAN ENVIRONMENT AND CITY BRAND BASED ON CITIZEN OPINIONS	76

CHEMICAL TECHNOLOGY

Troubitsin M.A., Yaprntsev M.N., Furda L.V., Volovicheva N.A., Kuzin V.I., Zubashenko R.V. INFLUENCE OF HEAT TREATMENT MODES ON THE PROCESS OF SYNTHESIS OF CALCIUM-ALUMINATE PHASES IN THE TECHNOLOGY OF SPECIAL HIGH PURITY ALUMINUM CEMENT	84
---	----

MACHINE BUILDING AND ENGINEERING SCIENCE

Khanin S.I., Voronov V.P., Kikin N.O., Mordovskaya O.S. CHANGE IN CONCENTRATION OF THE KEY COMPONENT OF THE MIXTURE DURING MIXING IN THE TRANSVERSE DIRECTION IN DUAL SHAFT MIXER WITH RODS INSTALLED IN FRONT OF THE BLADE	94
Shrubchenko I.V., Khurtasenko A.V., Duyun T. A., Voronkova M.N. STUDY OF POSSIBLE CHANGES IN RIGIDITY OF THE BANDAGE AS A RESULT OF MOBILE TECHNOLOGY OF TREATMENT OF THE ROLLING SURFACE	102

СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

DOI: 10.34031/2071-7318-2021-7-2-8-19

*Ширяев А.О., *Высоцкая М.А.**Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова***E-mail: roruri@rambler.ru*

МИНЕРАЛЬНЫЙ ПОРОШОК В СОВРЕМЕННОЙ СИСТЕМЕ ПРОЕКТИРОВАНИЯ АСФАЛЬТОБЕТОННЫХ СМЕСЕЙ

Аннотация. В рамках данной статьи проанализирована потенциальная сырьевая база получения минеральных порошков для производства асфальтобетонных смесей, рассмотрены основные этапы структурообразования в асфальтобетоне в процессе взаимодействия битумного вяжущего с минеральными материалами. В границах современных подходов к проектированию асфальтобетонных смесей проведена оценка актуальной нормативной базы в отношении требований, предъявляемых сегодня к показателям свойств минеральных порошков и методологии отбора проб для оценки их качества. В работе отмечается, что несмотря на увеличение внимания к характеристикам минеральных порошков, требования к методологическому подходу по отбору проб минерального порошка и оценка качества бинарной системы «битумное вяжущее – минеральный порошок» или асфальтового вяжущего вещества, являющегося наиболее значимой составляющей асфальтобетона, в настоящее время слабо проработана в нормативной документации. В связи с этим, в свете современных подходов к системе проектирования асфальтобетонных смесей, в том числе по методологии объёмно-функционального проектирования, представляет интерес разработка качественной и количественной оценки влияния различных по природе минеральных порошков на структурирование битумных вяжущих и, как следствие, изменение их реологических свойств.

Ключевые слова: минеральный порошок, асфальтовое вяжущее вещество, асфальтобетонные смеси, нормативная база, система объёмно-функционального проектирования

Введение. За последние полвека мировая автотромышленность претерпела огромные изменения. Автомобильный трафик постоянно растёт, а автомобили с каждым днём становятся быстрее, «умнее» и технически сложнее, что определяет необходимость соответствия инфраструктуры, которая их поддерживает, вызовам современности.

Автомобильные дороги перестают быть банальной комфортной средой для перемещения из пункта «А» в пункт «Б», а постепенно превращаются в многозадачные центры, непрерывное взаимодействие с которыми является неотъемлемой частью нашей жизни и во многом её формируют. Уже сейчас наша планета буквально покрыта глобальной сетью дорог, которая постоянно растёт и по предварительным прогнозам через 25–30 лет увеличится вдвое [1].

Что касается непосредственно строительства, то здесь дорожная отрасль всегда ставила для себя большие задачи по совершенствованию автомобильных дорог с точки зрения их безопасности, комфортности и долговечности. В настоящее время строительство автомобильных дорог по умолчанию подразумевает использование актуальных научных достижений и передовых технологий, направленных на увеличение периода их эксплуатации [2–10]. Таким образом, для дорожной отрасли открываются два пути дальней-

шего ее развития: копирование зарубежных подходов или разработка собственных. На сегодняшний день, в условиях дефицита временных ресурсов, в нашей стране начали активно использоваться оба варианта.

Наибольшую популярность набирает комплексная система объёмно-функционального проектирования, учитывающая климатические факторы и грузонапряженность для каждого отдельного участка строительства автомобильной дороги, а также индивидуальный подход к взаимосвязи структур подготавливаемых асфальтобетонных смесей.

Основная часть. Свойства всех строительных материалов, в том числе и асфальтобетона, определяются тремя главными критериями: составом, состоянием и структурой.

В широком смысле, состав – это качественная и количественная характеристика веществ, слагающих сырьевые материалы или готовое изделие. Принято выделять несколько видов составов [11]:

- а) элементный состав – совокупность химических элементов;
- б) химический состав – совокупность компонентов, из которых состоит вещество;
- в) минералогический состав – совокупность природных или искусственных химических соединений (минералов);

г) фазовый состав – совокупность гомогенных частей системы, однородных по свойствам и физическому строению;

д) зерновой или гранулометрический состав – состав сыпучей смеси, отражающий содержание в ней зерен, либо гранул различных размеров и формы;

е) фракционный состав – состав сыпучей смеси, в котором зерна, близкие по размерам, образуют фракции.

Физические свойства материала характеризуют какую-либо особенность его физического состояния или способность сопротивляться внешнему воздействию окружающей среды. Физическое состояние строительных материалов достаточно полно характеризуется средней и истинной плотностью и пористостью.

Огромное значение для асфальтобетона, как одного из самых сложных строительных конгломератов, играет его структура, которую в первую очередь определяет качество и соотношение минеральных компонентов системы и их взаимное расположение, к ключевым факторам также относятся и характер связей между ними.

Классическая отраслевая отечественная наука [12–18] всегда уделяла повышенное внимание исследованиям взаимодействия минеральных материалов с битумным вяжущим. Согласно теории искусственных конгломератов, разработанной И.А. Рыбьевым [13–14], было выделено три структуры в асфальтобетоне: микро-, мезо- и макроструктура, каждая из которых представляет собой двухкомпонентную систему, состоящую из среды и фазы.

Микроструктура – это дисперсная составляющая или асфальтовое вяжущее вещество (АВВ), формируемое следующими компонентами системы «битумное вяжущее: минеральный порошок». Именно присутствие специально подготовленной дисперсной части со стандартными свойствами выделяет асфальтобетон из семейства других битумо-минеральных композиций. Минеральный порошок в структуре асфальтобетона выполняет две основные роли: является заполнителем пор в каркасе, сложенном более крупными минеральными материалами, а также переводит битумное вяжущее из объемного в качественно иное состояние – плёночное. Прочность микроструктуры определяется, прежде всего, качеством и концентрацией минерального порошка, а также физико-химическим характером взаимодействия среды и фазы. Поскольку на долю минерального порошка приходится основная суммарная удельная поверхность из объёма всех минеральных зерен, слагающих асфальтобетон, для грамотного управления процессами структурообразования отдельное внимание

стоит уделять количеству вводимого порошка, которое в свою очередь зависит от тонкости помола и активности его зерен [12–18].

Песчаная составляющая упрочняет микроструктуру, в результате чего, в асфальтовом вяжущем формируется мезоструктура, представленная асфальтовым раствором – «асфальтовое вяжущее : песок». Для данного типа структуры характерна своя реология, однако при недостаточной концентрации песка свойства мезоструктуры будут определяться свойствами микроструктуры.

Крупная минеральная составляющая завершает формирование прочной структуры асфальтобетона, образуя его макроструктуру – «асфальтовый раствор : щебень». При предельном насыщении растворной части щебнем в реологической модели меняется соотношение между вязкими и упругими свойствами.

Однако, ряд исследователей установили [19–21], что именно взаимодействие вяжущего с минеральным порошком и, как следствие, качество формируемого АВВ оказывает наибольшее влияние на процессы структурообразования асфальтобетона, так процесс взаимодействия макро- и мезоструктур в композите осуществляется посредством его микроструктуры, а не битумного вяжущего.

Таким образом, важность АВВ в структуре асфальтобетона безусловна. Более того, в отрасли принято говорить о качестве битумных вяжущих в составе дорожных композитов и их влиянии на прочностные и эксплуатационные показатели качества асфальтобетона в покрытии, однако, при объединении компонентов смеси в смеси АБЗ, понятие битумное вяжущее становится не правомерным. Появляется мастичная часть или микроструктура – АВВ асфальтобетона, посредством которой осуществляется объединение и фиксация минеральных зерен в каркас и именно она и ее качество определяют характер когезионных и адгезионных связей в композите.

В общем виде, минеральный порошок для асфальтобетонных смесей (МП) – это материал, полученный путем помола горных пород, либо твердых отходов промышленного производства. Выпускается минеральный порошок двух видов: активированный (гидрофобный) и неактивированный (гидрофильный).

Простая и надежная технология получения минерального порошка заключается в нагреве и сушке горной породы с последующим ее размолотом в шаровой мельнице. По причине высокой производительности, в последние годы для полу-

чения минеральных порошков используется разное оборудование из цементной промышленности.

Для качественного производства минерального порошка могут быть использованы:

1) карбонатные породы – осадочные породы, состоящие более чем на 50 % из одного или нескольких карбонатных минералов (известняк, доломит и переходные между ними разновидности);

2) некарбонатные породы – осадочные или изверженные породы, состоящие более чем на 50 % из минералов кремнезема (туф, трепел, опока, песчаник, гранит);

3) твердые и порошковые отходы промышленного производства, не требующие измельчения (золы-уноса и золошлаковые смеси тепловых электростанций, пыль уноса цементных заводов и металлургические шлаки).

В качестве активирующих веществ используются рационально подобранные смеси поверхностно-активных веществ (ПАВ) или продуктов, содержащих поверхностно-активные вещества с битумом, применительно к химической природе сырья для производства минерального порошка.

Переход дорожно-строительной отрасли на объёмно-функциональное проектирование асфальтобетонных смесей (методологии евроасфальта и *supergravel*) послужил отправной точкой для разработки множества нормативных документов, в частности на минеральный порошок в настоящее время действует два ГОСТ.

Таким образом, минеральный порошок в зависимости от показателей свойств, применяемых исходных материалов и нормативного документа подразделяют на следующие марки:

По ГОСТ 32761-2014:

МП-1 – минеральный порошок активированный из карбонатных горных пород;

МП-2 – минеральный порошок неактивированный из карбонатных горных пород;

МП-3 – минеральный порошок неактивированный из некарбонатных горных пород, твердых и порошковых отходов промышленного производства.

По ГОСТ 52129-2003:

МП-1 – порошки неактивированные и активированные из осадочных (карбонатных) горных пород и порошки из битуминозных пород.

МП-2 – порошки из некарбонатных горных пород, твердых и порошковых отходов промышленного производства.

Наращивание темпа и объемов строительства дорог как федерального, так и местного значения, приводит к масштабному потреблению дорожной отрасли качественных наполнителей, что, в свою очередь, активно стимулирует

вовлечение в производственную деятельность, нацеленную на выпуск асфальтобетонных смесей, самых разнообразных отходов производств [22–26]. Такой подход способствует не только расширению минерально-сырьевой базы регионов, но и решению ряда задач экологического и экономического характера.

Большое распространение получили минеральные порошки из углеродсодержащих материалов [27–32]. Обобщая итоги этих работ, можно сделать вывод о том, что при грамотном подходе углеродсодержащие материалы, взамен традиционных известняковых, характеризуются большей адгезионной активностью, придают асфальтобетону повышенную водостойкость, коррозионную устойчивость, способствуют повышению его прочностных и сдвиговых характеристик.

Установлена возможность [33–34] применения в качестве минерального порошка боя асбестоцементных изделий и вторичных продуктов производства талька (талькомагнезита). Результаты исследований указывают, что полученные минеральные порошки не только соответствуют требованиям государственного стандарта, но и благодаря тонкодисперсному армированию структуры асфальтобетона увеличивает его прочностные характеристики.

Отдельно рассматривается применение минеральных порошков природного происхождения [35] и их производство из альтернативного природного сырья [36–40].

Активное внедрение в дорожную отрасль полимерной продукции стимулирует исследования в этом направлении. Известны труды [41–44], описывающие способ активации поверхности минерального порошка блоксополимером ДСТ-30-01, в результате которого наблюдается явно выраженный экстремум предела прочности асфальтобетона при сжатии при 50 °С.

Динамичность развития дорожно-строительной отрасли характеризуется не только числом публикаций, в которых изложены современные научные разработки и передовой отраслевой опыт, нацеленные на решение актуальных производственных задач, но и современными подходами к проектированию асфальтобетонных и щебеночно-мастичных смесей. Актуальность рассматриваемой тематики отражена в нормативной базе, которую можно условно разделить на три группы:

1) Классическая система проектирования, базирующаяся на расчете оптимального соотношения компонентов для заданного вида и соответствующей марки асфальтобетона, в резуль-

тате которого показатели основных характеристик композита будут отвечать техническим нормам и требованиям:

– ГОСТ 9128-2013 «Смеси асфальтобетонные, полимерасфальтобетонные, асфальтобетон, полимерасфальтобетон для автомобильных дорог и аэродромов. Технические условия»;

– ГОСТ 31015-2002 «Смеси асфальтобетонные и асфальтобетон щебеночно-мастичные. Технические условия»;

2) Метод проектирования асфальтобетонных смесей по Маршаллу, главный принцип которого заключается в предварительном установленном соответствии исходных минеральных материалов и их объемных свойств, а также битума требованиям технических условий:

– ГОСТ Р 58406.1-2020 «Дороги автомобильные общего пользования. Смеси щебеночно-мастичные асфальтобетонные и асфальтобетон. Технические условия»;

– ГОСТ Р 58406.2-2020 «Дороги автомобильные общего пользования. Смеси горячие асфальтобетонные и асфальтобетон. Технические условия»;

3) Система объемно-функционального проектирования («Supergrave»), представляющая собой технические условия и метод проектирования составов асфальтобетонных смесей с учетом процессов нелинейного деформирования и разрушения. В данной системе используется совершенно иной принцип уплотнения смеси, что дает возможность в лаборатории моделировать эксплуатационные характеристики дорожного покрытия:

– ГОСТ Р 58401.2-2019 «Дороги автомобильные общего пользования. Смеси асфальтобетонные дорожные и асфальтобетон щебеночно-мастичные. Система объемно-функционального проектирования. Технические требования»;

– ГОСТ Р 58401.1-2019 «Дороги автомобильные общего пользования. Смеси асфальтобетонные дорожные и асфальтобетон. Система объемно-функционального проектирования. Технические требования».

Несмотря на наличие трех отдельных групп нормативных документов по проектированию асфальтобетонных и щебеночно-мастичных смесей, отбор проб, методы испытаний и требования к минеральным порошкам в России регулируются, как отмечалось выше, двумя ГОСТ.

Также, в рамках методологии по объемно-функциональному проектированию разработан перечень нормативных документов по испытаниям минеральных материалов для пригото-

вления асфальтобетонных смесей, которые позволяют получить дополнительную информацию о минеральном порошке:

а) пустоты Ригдена – это общее количество пустот в образце из минерального порошка после его уплотнения в аппарате Ригдена, выраженное в процентах от объема (ГОСТ Р 58402.7-2019);

б) максимальная плотность минерального порошка – масса единицы объема материала без учета пор и воздушных пустот (ГОСТ Р 58402.8-2019).

Необходимо отметить, важную особенность, в соответствии с переходом отрасли на проектирование асфальтобетонных смесей по Маршаллу и методологии объемно-функционального проектирования, в технических условиях на асфальтобетоны в части требований к минеральному порошку появилась информация о допустимости использования материала из системы пылеулавливания полностью взамен минерального порошка или частично, чего ранее не допускалось.

Как известно, одним из важных этапов, предшествующих проведению испытаний, является отбор пробы материала. Точность и достоверность результата испытаний, во многом зависят не только от современного оборудования и опыта специалистов, но и от соблюдения требований к методологии отбора проб. Основные действующие требования по отбору проб минерального порошка представлены в таблице 1.

Для сравнения в американской и европейской нормативной базе (AASHTO, ASTM и EN) также прописывается необходимость получения объединенной усредненной пробы материала, но дополнительно приводятся различные методики отбора проб, зависящие, главным образом, от места, где происходит отбор:

- а) движущаяся конвейерная лента;
- б) неподвижная конвейерная лента;
- в) штабель;
- г) автомобильный и железнодорожный транспорт;
- д) мешки и другие мелкие контейнеры (только в EN 932-1).

Согласно стандартам AASHTO T 2 и ASTM D 75 объединенная проба формируется путем объединения не менее 3-х точечных проб приблизительно одинаковой массы, отобранных случайным образом в соответствии с ASTM D 3665.

Изучая список требований к любому минеральному порошку, входящему в состав строительного композита, можно сделать вывод о важности его роли в процессах формирования структуры и свойств конечной продукции.

Анализ таблицы 1 демонстрирует, что число пунктов отбора проб минерального порошка для испытания на соответствие требованиям ГОСТ

относительно иностранных аналогов крайне ограничено, несмотря на важность компонента в формировании структуры асфальтобетона. В данном случае наибольшую важность будет иметь влажность компонента и его гранулометрический состав, который может измениться

ввиду комкования дисперсной составляющей асфальтобетонной смеси. Таким образом, для получения стабильных характеристик АВВ в структуре асфальтобетонов необходимо увеличение числа пунктов отбора проб, включенных непосредственно в технологический процесс приготовления смеси.

Таблица 1

Отбор проб минерального порошка в соответствии с ГОСТ 32761-2014 и ГОСТ Р 52129-2003

Наименование критерия	Контроль качества МП осуществляет:	
	предприятие-изготовитель	потребитель
Вид пробы:	объединенная проба	
Масса пробы:	для приемочного контроля ≥ 1 кг для периодического контроля ≥ 3 кг.	≥ 7 кг
Состав пробы:	не менее 4 точечных проб: – масса каждой ≥ 500 г при интервале отбора в 1 ч; – масса каждой ≥ 1000 г при интервале отбора в 2 ч; – масса каждой ≥ 1500 г при интервале отбора в 3 ч;	точечные пробы: – по 1-ой точечной пробе при разгрузке каждого автомобиля; – 5-ть точечных проб при разгрузке каждого вагона
Место отбора пробы:	расходный (накопительный) бункер или технологическая линия	автомобильный транспорт железнодорожный транспорт
Частота отбора проб:	через 30 мин после начала выпуска порошка и далее через каждый час в течение смены (интервал отбора может быть увеличен)	при разгрузке каждого автомобиля; через равные интервалы времени 5-ть точечных проб при разгрузке каждого вагона (выбор вагона осуществляют методом случайного отбора)
Подготовка пробы:	точечные пробы тщательно перемешивают и сокращают методом последовательного квартования в два раза, в четыре раза и т.д. до получения объединенная проба необходимой массы	
Подготовка пробы для испытаний:	На каждую пробу составляют акт отбора, содержащий наименование и обозначение материала, место и дату отбора пробы и подписи лиц, ответственных за отбор проб. Отобранные пробы упаковывают таким образом, чтобы масса и свойства порошка не изменились до проведения испытания. Каждую пробу снабжают двумя этикетками с обозначением пробы: одну этикетку помещают внутрь упаковки, другую закрепляют на видном месте упаковки. При транспортировании пробы следует обеспечить сохранность упаковки и этикеток.	
Срок хранения пробы:	≥ 3 месяцев	

В рамках данного вопроса целесообразно провести анализ требований, предъявляемых сегодня к минеральным порошкам отечественной отраслевой наукой, таблица 2.

Наиболее важной из характеристик минеральных порошков является их гранулометрический состав. Как видно, ГОСТ 32761 более требователен к гранулометрическому составу, по сравнению с ГОСТ Р 52129, т.е. минеральный порошок стал более дисперсным, что свидетельствует в пользу необходимости более тщательно контролировать его качество в технологической цепочке приготовления смеси.

Кроме того, в ГОСТ 32761-2014 введены и расширены требования по показателям битумо-

емкости, влажности, содержания водорастворимых соединений и полуторных окислов для минеральных порошков всех марок. Остальные требования, предъявляемые к минеральным порошкам идентичны.

Важной отличительной чертой асфальтобетонов, проектируемых по системе объемно-функционального проектирования, является наличие нового отраслевого термина, ранее не используемого и неопределяемого - «отношение пыль/вяжущее». Это коэффициент Н, определяемый отношением содержания дисперсной части смеси, прошедшей через сито №0,063 мм к эффективному количеству битумного вяжущего в составе проектируемого композита. В соответствии с нормативной документацией, величина Н

должна находиться в интервале 0,8–1,6. Таким образом, привычное понятие АВВ, показатели свойств которого оценивались по водостойкости

и набуханию, табл. 2, несколько трансформируется.

Таблица 2

Требования НД, предъявляемые к минеральным порошкам

Наименование показателя		ГОСТ 9128; 31015			ГОСТ Р 58401.1; 58401.2, 58406.1; 58406.2			
		ГОСТ Р 52129-2003*			ГОСТ 32761-2014**			
		МП-1 актив.	МП-1 не-актив.	МП-2	МП-1	МП-2	МП-3	
Зерновой состав, [% по массе]	< 2,000 мм	—	—	—	100	100	100	основные требования
	< 1,250 мм	100	100	≥ 95	—	—	—	
	< 0,315 мм	≥ 90	≥ 90	80-95	—	—	—	
	< 0,125 мм	—	—	—	≥ 85	≥ 85	≥ 75	
	< 0,071 мм	≥ 80	70-80	≥ 60	—	—	—	
	< 0,063 мм	—	—	—	≥ 70	≥ 70	≥ 60	
Пористость, [%]		≤ 30	≤ 35	≤ 40	≤ 30	≤ 35	≤ 40	дополнительные требования
Битумоемкость, [г]		не норм.	не норм.	≤ 80	≤ 50	≤ 65	≤ 80	
Влажность, [% по массе]		не норм.	≤ 1,0	≤ 2,5	≤ 0,5	≤ 1,0	≤ 2,5	
Водостойкость образцов из смеси минерального порошка с битумом, [%]		не норм.	не норм.	≥ 0,7	не норм.	не норм.	≥ 0,7	
Набухание образцов из смеси минерального порошка с битумом, [%]		≤ 1,8	≤ 2,5	≤ 3,0	≤ 1,8	≤ 2,5	≤ 3,0	
Содержание водорастворимых соединений, [% по массе]		—	—	—	не норм.	не норм.	≤ 6,0	
Содержание полуторных окислов, [% по массе]		—	—	—	≤ 7,0	≤ 1,7	≤ 1,7	
Примечания:								
* – В минеральном порошке, получаемом из горной породы, прочность на сжатие которой выше 40 МПа, содержание зерен мельче 0,071 мм допускается на 5 % меньше указанного в таблице.								
** – В минеральном порошке, получаемом из горной породы, прочность на сжатие которой выше 40 МПа, содержание зерен мельче 0,063 мм допускается на 5 % меньше указанного в таблице.								

При этом, в соответствии с накопленным мировым опытом [45–49], было установлено, что величина показателя Н оказывает существенный вклад в формирование набора эксплуатационных параметров асфальтобетонных типов SP, таких как водостойкость, глубина колеи, число текучести и, в общем, на усталостные свойства композита.

Вывод. Подводя итог выполненному анализу роли минерального порошка в современной системе проектирования асфальтобетонных смесей необходимо отметить, что несмотря на увеличение внимания к характеристикам минеральных порошков, оценка качества асфальтового вяжущего вещества, являющегося наиболее значимой составляющей асфальтобетона, в настоящее время, не нашла должного отражения в нормативной документации.

В связи с этим, интерес представляет разработка качественной и количественной оценки

влияния различных по природе минеральных порошков на структурирование битумных вяжущих и, как следствие, изменение их реологических свойств.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ярмолинская Н.И. Дорожный асфальтобетон с применением минеральных порошков из техногенных отходов промышленности: учеб. пособие. 2-е изд., перераб. и доп. Хабаровск: Изд-во Тихоокеан. гос. ун-та, 2007. 337 с.
2. Ahverdieva T.A., Jafarov R. Modern Technologies in the Production of Hydrotechnical Concrete // Stroitel'nye Materialy (Construction Materials). 2020. № 3. 76. doi: 10.31659/0585-430X-2020-779-3-76-79
3. Vysotskaya M.A., Shekhovtsova S.Y. The application of nanostructured modifier additives based on zeolitebearing tuffs in asphalt // Materials

Science Forum. 2020. Vol. 974 MSF. Pp. 471–476. doi: 10.4028/www.scientific.net/MSF.974.471

4. Lebedev M. S., Kozhukhova M. I., Yakovlev E. A. The Effect of Composition and Fineness of Mineral Fillers on Structure of Asphalt Binder // Materials Science Forum. 2021. Vol. 1017. Pp. 81–90. doi: 10.4028/www.scientific.net/MSF.1017.81

5. Yadykina V. V., Kuznetsova E. V., Lebedev M. S. Effect of Mineral Filler Modification on the Intensity of Bitumen Aging // Lecture Notes in Civil Engineering. 2021. Vol. 147. Pp. 189–194. doi: 10.1007/978-3-030-68984-1_28

6. Shekhovtsova S., Korolev E., Inozemtcev S., Vysotskaya M. Sedimentationally resistant nanosuspension for efficient polymer modified bitumen // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 21, Construction. The Formation of Living Environment. 2018. P. 032008.

7. Inozemtsev S., Korolev E. Method of modifying of mineral fillers for asphalt concrete by calcium polysulfide // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. Collection of materials of the XXVIII R-P-S Seminar 2019. Faculty of Civil Engineering of University of Žilina. 2019. 012136.

8. Иноземцев С.С., Королев Е.В. Технико-экономическая эффективность применения наномодифицированного наполнителя для асфальтобетона // Вестник МГСУ. 2018. Т. 13. № 4(115). С. 536–443. doi: 10.22227/1997-0935.2018.4.536-543

9. Shekhovtsova S.Yu., Korolev E.V., Inozemtcev S.S., Yu J., Yu H. Method of forecasting the strength and thermal sensitive asphalt concrete // Magazine of Civil Engineering. 2019. №. 5(89). Pp. 129–140. doi: 10.18720/MCE.89.11

10. Inozemtsev S., Korolev E. Surface modification of mineral filler using nanoparticles for asphalt application // MATEC Web of Conferences, Rostov-on-Don, 17–21 september 2018 years. – Rostov-on-Don: EDP Sciences, 2018. 04052. doi: 10.1051/mateconf/201819604052

11. Горбунов Г.И. Основы строительного материаловедения (состав, химические связи, структура и свойства строительных материалов). Учеб. пособие для студентов вузов. М.: «АСВ», 2002 (ППП Тип. Наука). 167 с.

12. Волков М. И., Борщ И.М., Грушко И.М. Дорожно-строительные материалы. Издание 5-е, перераб. и доп. М.: «Транспорт», 1975. 528 с.

13. Рыбьев И. А. Асфальтовые бетоны. Учеб. пособие для строительных ВУЗов. М.: «Высшая школа», 1969. 399 с.

14. Рыбьев И.А. Строительные материалы на основе вяжущих веществ. М.: Высшая школа, 1978. 309 с.

15. Горельшев Н.В. Исследование асфальтобетона каркасной структуры и его эксплуатационных свойств в дорожных одеждах: автореф. дис. ... д-ра техн. Наук. М., 1978. 36 с.

16. Сахаров П.В. Способы проектирования асфальтобетонных смесей // Транспорт и дороги города. 1935. №12. С. 22–26.

17. Грушко И.М., Королёв И.В. Дорожно-строительные материалы. 2-е издание, перераб. и доп. М.: Транспорт, 1991. 357 с.

18. Гезенцевей Л.Б., Горельшев Н.В., Богуславский А.М., Королев И. В. Дорожный асфальтобетон. Под. ред. Л.Б. Гезенцевей. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Транспорт, 1985. 350 с.

19. Ликомаскина М.А., Алнаиф М.С.Р., Сальникова А.И., Миронов А.А. Исследование влияния минеральных порошков различного химико-минералогического состава на свойства асфальтобетонных смесей // Региональная архитектура и строительство. 2017. № 2. С. 53–63.

20. Мойсеенко С.В., Самайлова Е.Э. Изучение начальных стадий взаимодействия битума с поверхностью минерального порошка // Сборник докладов Седьмой Международной научной конференции «Химическая термодинамика и кинетика», Великий Новгород. 2017. С. 198–199.

21. Крестина М.О., Орехов С.А., Дергунов С.А., Сатюков А.Б. Современный подход к проектированию составов асфальтобетонов. Текст : непосредственный // Молодой ученый. 2017. № 21.1 (155.1). С. 144–145. URL: <https://moluch.ru/archive/155/44226/> (дата обращения: 28.06.2021).

22. Доля А.Г., Попов Р.К., Северин Д.В., Терещенко А.О., Катерина А.В. Влияние минеральных порошков различной природы получения на свойства асфальтобетона // Вестник донбасской национальной академии строительства и архитектуры. 2018. № 1. С. 114–118.

23. Солдатов А.А., Субботин А.Е., Цуканов Н.Н. Опыт применения некондиционных порошкообразных материалов и техногенных отходов промышленности в качестве минерального порошка для дорожных асфальтобетонов // Научно-практические исследования. 2019. № 7-4. С. 88–90.

24. Иноземцев С.С., Поздняков М.К., Королев Е.В. Исследование адсорбционно-сольватного слоя битума на поверхности минерального порошка // Вестник МГСУ. 2012. № 11. С. 159–167. doi: 10.22227/1997-0935.2012.11.159-167

25. Иноземцев С.С., Королев Е.В. Эксплуатационные свойства наномодифицированных щебеночно-мастичных асфальтобетонов // Вестник МГСУ. 2015. № 3. С. 29–39. doi: 10.22227/1997-0935.2015.3.29-39

26. Высоцкая М.А., Ядыкина В.В., Кузнецов Д.А. Известь в асфальтобетоне – такая простая и сложная // *Строительные материалы*. 2006. № 3. С. 56–59.
27. Ковалев Н.С., Куликова Е.В. Прогнозирование сроков службы асфальтобетонных покрытий с углеродсодержащим материалом // *Вестник Воронежского государственного аграрного университета*. 2016. № 3. С. 165–174. doi: 10.17238/issn2071-2243.2016.3.165
28. Кривonos О.И., Терехова Е.Н., Галдина В.Д., Плаксин Г.В. Исследование минеральных компонентов горючих сланцев и их углеродминеральных остатков при термолизе // *Химия и химическая технология*. 2015. Т. 58. Вып. 3. С. 69–73.
29. Галдина В.Д., Гурова Е.В., Кривonos О.И., Плаксин Г.В. Асфальтобетоны на основе минеральных материалов из твердых углеродсодержащих продуктов горючих сланцев // *Развитие дорожно-транспортного и строительного комплексов и освоение стратегически важных территория Сибири и Арктики: вклад науки. Материалы международной научно-практической конференции: электронный ресурс, Омск*. 2014. С. 14–17.
30. Подольский В.П. Влияние углеродсодержащего минерального порошка на эксплуатационные свойства песчаного асфальтобетона // *Повышение долговечности транспортных сооружений и безопасности дорожного движения: сб. науч. тр. Всерос. науч.-практ. конф. Казань: КГАСУ, 2008*. С. 26–31.
31. Ковалев Н.С., Быкова Я.А. Исследование усталостной долговечности асфальтобетона с углеродсодержащим материалом при циклическом динамическом нагружении // *Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура*. 2008. Вып. 12. С. 62–67.
32. Надыкто Г.И., Галдина В.Д., Гурова Е.В. Минеральный порошок из угольных сланцев // *Сборник научных трудов национальной научно-практической конференции «Образование. Транспорт. Инновации. Строительство»*, Омск. 2018. С. 360–463.
33. Битуев А.В., Печерский С.А., Калашиков П.И. Применение молотого боя асбестоцементных изделий в качестве минерального порошка асфальтобетона // *Вестник ВСГУТУ*. № 4. 2017. С. 86–91.
34. Волченко А.И., Хиленко Е.П., Надыкто Г.И. Минеральный порошок для дорожных асфальтобетонов из вторичных продуктов производства талька // *Техника и технологии строительства*. 2017. № 1. С. 115–121.
35. Грехов П.И., Суханов А.М., Пономарев В.А., Смоленцов С.В. Применение минеральных порошков природного происхождения для производства асфальтобетонов // *Сборник статей по материалам II Всероссийской научно-практической конференции «Проблемы и перспективы развития инженерно-строительной науки и образования» под общей редакцией С.Ф. Сухановой, Курган*. 2018. С. 67–69.
36. Худякова Л.И., Войлошников О.В. Перспективы использования серпентинизированных пород в качестве минерального порошка для асфальтобетона // *Строительные материалы*. 2017. № 9. С. 50–53.
37. Vysotskaya M., Vdovin E., Kuznetsov D., Shiryayev A. Alternative mineral powders for asphalt concrete // *II International Scientific Conference on Socio-Technical Construction and Civil Engineering (STCCE-2021)*. 2021. Vol. 169. P. 297-307. doi: 10.1007/978-3-030-80103-8_32
38. Высоцкая М.А., Шеховцова С.Ю., Кузнецов Д.А. Особенности взаимодействия альтернативных дисперсных пористых минеральных материалов с органическим вяжущим // *Известия высших учебных заведений. Строительство*. 2019. № 4 (724). С. 35–46.
39. Высоцкая М.А., Шеховцова С.Ю., Кузнецов Д.А. Реакционная способность альтернативных минеральных дисперсных материалов как инструмент для разработки эффективных дорожных композитов // *Вестник воронежского государственного университета инженерных технологий*. 2019. Т. 81. № 1 (79). С. 282–288. doi: 10.20914/2310-1202-2019-1-282-288
40. Злобин С.В., Борисенко Ю.Г. Теоретические основы возможности использования в асфальтобетонах минеральных порошков на основе высокодисперсных пористых материалов // *Интернаука*. 2017. № 11-1 (15). С. 14–16.
41. Высоцкая М.А., Фёдоров М.Ю. Разработка наномодифицированного наполнителя для асфальтобетонных смесей // *Вестник БГТУ имени В. Г. Шухова*. 2013. № 6. С. 61–65.
42. Загородняя А.В. О целесообразности определения оптимальной концентрации полимера на поверхности минерального порошка в составе асфальтобетонной смеси // *Ресурсосберегающие технологии производства и обработки давлением материалов в машиностроении*. 2019. № 1. С. 84–89.
43. Manandhar C., Hossain M., Nelson P., Hobson C. Estimation of Lives of Deficient Superpave Pavements // *Transportation Research Record*. 2008. Is. 2081. №1. Pp. 83–91. doi:10.3141/2081-09
44. Nepomuceno M.C.S., Pereira-de-Oliveira L.A., Lopes S.M.R. Methodology for the mix design of self-compacting concrete using different mineral

additions in binary blends of powders // Construction and Building Materials. 2014. Is. 64. Pp. 82–94. doi: 10.1016/j.conbuildmat.2014.04.021

45. Duval J., Barnes S., Weber B., Liva G. Montana Moves to Volumetric Acceptance for Superpave // Asphalt. 2007. Т. 22. №. 2. Pp. 32–35.

46. Abdelrahman M.A., Jansen W.G., Salem H.M. Binder Flushing in Low Traffic Volume Superpave Mixes // International Journal of Pavement Research and Technology. 2008. Vol. 1. № 4. Pp. 121–128.

47. Tarefder R.A., Zaman A.M., Uddin W. Determining hardness and elastic modulus of asphalt by nanoindentation // International Journal of Geomechanics. 2010. Vol. 10. №. 3. Pp. 106–116. doi: 10.1061/(ASCE)GM.1943-5622.0000048

48. Hossain M., Chen J.Z. Optimization of Superpave mixture volumetric properties // International Journal of Pavement Engineering. 2002. Vol. 3. №. 2. Pp. 63–69.

49. Huber G. History of asphalt mix design in North America, Part II: Superpave // Asphalt. 2013. Vol. 28. №. 2. Pp. 25–29.

Информация об авторах

Ширяев Артём Олегович, аспирант кафедры строительного материаловедения, изделий и конструкций. E-mail: shiryayev.ao@mail.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

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

Поступила 04.10.2021 г.

© Ширяев А.О., Высоцкая М.А., 2022

Shiryayev A.O., *Vysotskaya M.A.

Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov

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

MINERAL POWDER IN A MODERN DESIGN SYSTEM OF ASPHALT CONCRETE

Abstract. *Within the framework of this article, the potential raw material base for obtaining mineral powders for the production of asphalt concrete mixtures is analyzed. The main stages of structure formation in asphalt concrete in the process of interaction of a bitumen binder with mineral materials are considered. Within the boundaries of modern approaches to the design of asphalt concrete mixtures, an assessment of the current regulatory framework is carried out in relation to the requirements for the indicators of the properties of mineral powders and the sampling methodology for assessing their quality. According to the research, despite the increased attention to the characteristics of mineral powders, the requirements for the methodological approach to sampling mineral powder and the quality assessment of the binary system "bituminous binder - mineral powder" or asphalt binder, which is the most significant component of asphalt concrete, is currently weak elaborated in the normative documentation. In the light of modern approaches to the design system of asphalt concrete mixtures, including the methodology of volumetric-functional design, it is of interest to develop a qualitative and quantitative assessment of the effect of mineral powders of different nature on the structuring of bituminous binders and, as a consequence, a change in their rheological properties.*

Keywords: *mineral powder, asphalt binder, asphalt concrete mixtures, regulatory framework, volumetric-functional design system*

REFERENCES

1. Yarmolinskaya N.I. Road asphalt concrete with the use of mineral powders from industrial waste products: textbook. allowance. 2nd ed., Rev. and add [Dorozhnyy asfaltobeton s primeneniym mineralnykh poroshkov iz tekhnogennykh otkhodov promyshlennosti: ucheb. posobiye. 2-e izd.. pererab. i dop.]. Khabarovsk: Pacific Publishing House. state University, 2007. 337 p. (rus)

2. Ahverdieva T. A., Jafarov R. Modern Technologies in the Production of Hydrotechnical Concrete // Stroitel'nye Materialy (Construction Materials). 2020. No. 3. Pp. 76. doi: 10.31659/0585-430X-2020-779-3-76-79

3. Vysotskaya M.A., Shekhovtsova S.Y. The application of nanostructured modifier additives based on zeolitebearing tuffs in asphalt. Materials Science Forum. 2020. Vol. 974 MSF. Pp. 471–476. doi: 10.4028/www.scientific.net/MSF.974.471

4. Lebedev M.S., Kozhukhova M.I., Yakovlev E.A. The Effect of Composition and Fineness of Mineral Fillers on Structure of Asphalt Binder. *Materials Science Forum*. 2021. Vol. 1017. Pp. 81–90. doi: 10.4028/www.scientific.net/MSF.1017.81
5. Yadykina V.V., Kuznetsova E.V., Lebedev M.S. Effect of Mineral Filler Modification on the Intensity of Bitumen Aging. *Lecture Notes in Civil Engineering*. 2021. Vol. 147. Pp. 189–194. doi: 10.1007/978-3-030-68984-1_28
6. Shekhovtsova S., Korolev E., Inozemtsev S., Vysotskaya M. Sedimentationally resistant nanosuspension for efficient polymer modified bitumen. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 21, Construction. The Formation of Living Environment. 2018. 032008.
7. Inozemtsev S., Korolev E. Method of modifying of mineral fillers for asphalt concrete by calcium polysulfide. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. Collection of materials of the XXVIII R-P-S Seminar 2019. Faculty of Civil Engineering of University of Žilina. 2019. 012136.
8. Inozemtsev S.S., Korolev E. V. Technical and economic efficiency of the use of nanomodified filler for asphalt concrete [Tekhniko-ekonomicheskaya effektivnost primeneniya nanomodifitsirovannogo napolnitelya dlya asfaltobetona]. *Vestnik MGSU*. 2018. Vol. 13. No. 4(115). Pp. 536–443. doi: 10.22227/1997-0935.2018.4.536-543 (rus)
9. Shekhovtsova S.Yu., Korolev E.V., Inozemtsev S.S., Yu J., Yu H. Method of forecasting the strength and thermal sensitive asphalt concrete. *Magazine of Civil Engineering*. 2019. No. 5(89). Pp. 129–140. doi: 10.18720/MCE.89.11
10. Inozemtsev S., Korolev E. Surface modification of mineral filler using nanoparticles for asphalt application. *MATEC Web of Conferences*, Rostov-on-Don, 17–21 september 2018 years. Rostov-on-Don: EDP Sciences, 2018. 04052. doi: 10.1051/mateconf/201819604052
11. Gorbunov G.I. Fundamentals of building materials science (composition, chemical bonds, structure and properties of building materials). Textbook. manual for university students [Osnovy stroitelnogo materialovedeniya (sostav. khimicheskiye svyazi. struktura i svoystva stroitelnykh materialov). Ucheb. posobiye dlya studentov vuzov]. M.: "ASV", 2002 (PPP Type. Science). 167 p. (rus)
12. Volkov M. I., Borshch I. M., Grushko I. M. Road construction materials. Edition 5, rev. and add [Dorozhno-stroitelnyye materialy. Izdaniye 5-e. pererab. i dop]. M.: "Transport", 1975. 528 p. (rus)
13. Rybiev I.A. Asphalt concrete. Textbook. manual for construction universities [Asfaltovyye betony. Ucheb. posobiye dlya stroitelnykh VUZov]. M.: "High school", 1969. 399 p. (rus)
14. Rybiev I.A. Building materials based on binders [Stroitelnyye materialy na osnove vyazhushchikh veshchestv]. M.: Higher school, 1978.309 p. (rus)
15. Gorelyshev N.V. Research of asphalt concrete frame structure and its operational properties in road clothes: author. dis. ... Dr. Tech. Science [Issledovaniye asfaltobetona karkasnoy struktury i ego ekspluatatsionnykh svoystv v dorozhnykh odezhdakh: avtoref. dis. ... d-ra tekhn.nauk]. M., 1978.36 p. (rus)
16. Sakharov P.V. Methods for designing asphalt concrete mixtures [Sposoby proyektirovaniya asfaltobetonnykh smesey. Transport i dorogi goroda]. *Transport and city roads*. 1935. No. 12. Pp. 22–26. (rus)
17. Grushko I.M., Korolev I.V. Road construction materials. 2nd edition, rev. and add. [Dorozhno-stroitelnyye materialy. 2-e izdaniye. pererab. i dop.] Moscow: Transport, 1991. 357 p. (rus)
18. Gezentsvey L.B., Gorelyshev N.V., Boguslavsky A.M., Korolev I.V. Road asphalt concrete. Under. ed. L. B. Gesenzvey. 2nd ed., Rev. and add. [Dorozhnyy asfaltobeton. Pod. red. L.B. Gezentsveya. 2-e izd.. pererab. i dop.] Moscow: Transport, 1985. 350 p. (rus)
19. Likomaskina M.A., Alnaif M.S., Salnikova A.I., Mironov A.A. Research of the influence of mineral powders of various chemical and mineralogical composition on the properties of asphalt concrete mixtures [Issledovaniye vliyaniya mineralnykh poroshkov razlichnogo khimiko-mineralogicheskogo sostava na svoystva asfaltobetonnykh smesey]. *Regional architecture and construction*. 2017. No. 2. Pp. 53–63. (rus)
20. Moiseenko S.V., Samaylova E.E. Study of the initial stages of interaction of bitumen with the surface of a mineral powder [Izucheniye nachalnykh stadiy vzaimodeystviya bituma s poverkhnostyu mineralnogo poroshka]. Collection of reports of the Seventh International Scientific Conference "Chemical Thermodynamics and Kinetics", Veliky Novgorod. 2017. Pp. 198–199. (rus)
21. Kretinina M.O., Orekhov S.A., Dergunov S.A., Satyukov A.B. Modern approach to the design of asphalt concrete compositions. Text: direct [Sovremennyy podkhod k proyektirovaniyu sostavov asfaltobetonov. Tekst : neposredstvenniy]. *Young scientist*. 2017. No. 21.1 (155.1). Pp. 144–145. URL: <https://moluch.ru/archive/155/44226/> (date accessed: June 28, 2021). (rus)
22. Dolya A.G., Popov R.K., Severin D.V., Tereshchenko A.O., Katerinina A.V. Influence of mineral powders of various nature of production on the properties of asphalt concrete [Vliyaniye mineralnykh poroshkov razlichnoy prirody polucheniya na

svoystva asfaltobetona]. Bulletin of the Donbass National Academy of Construction and Architecture. 2018. No.1. Pp. 114–118. (rus)

23. Soldatov A.A., Subbotin A.E., Tsukanov N.N. Experience in the use of substandard powdery materials and industrial waste as a mineral powder for road asphalt concrete [Opyt primeneniya nekon-ditsionnykh poroshkoobraznykh materialov i tekhnogennykh otkhodov promyshlennosti v kachestve mineralnogo poroshka dlya dorozhnykh asfaltobetonov]. Scientific and practical research. 2019. No. 7-4. Pp. 88–90. (rus)

24. Inozemtsev S.S., Pozdnyakov M.K., Korolev E.V. Research of the adsorption-solvation layer of bitumen on the surface of a mineral powder [Issledovaniye adsorbtsionno-solvatnogo sloya bituma na poverkhnosti mineralnogo poroshka]. Vestnik MGSU. 2012. No. 11. Pp. 159–167. doi: 10.22227 / 1997-0935.2012.11.159-167 (rus)

25. Inozemtsev S.S., Korolev E.V. Operational properties of nanomodified crushed stone-mastic asphalt concrete [Ekspluatatsionnyye svoystva nanomodifitsirovannykh shchebenochno-mastichnykh asfaltobetonov]. Vestnik MGSU. 2015. No. 3. Pp. 29–39. doi: 10.22227 / 1997-0935.2015.3.29-39 (rus)

26. Vysotskaya M.A., Yadykina V.V., Kuznetsov D.A. Lime in asphalt concrete - so simple and complex [Izvest v asfaltobetone – takaya prostaya i slozhnaya]. Stroitelnye materialy. 2006. No. 3. Pp. 56–59. (rus)

27. Kovalev N.S., Kulikova E.V. Forecasting the service life of asphalt concrete pavements with carbon-containing material [Prognozirovaniye srokov sluzhby asfaltobetonnykh pokrytiy s ugle-rod-soderzhashchim materialom]. Bulletin of the Voronezh State Agrarian University. 2016. No. 3. Pp. 165–174. doi: 10.17238 / issn2071-2243.2016.3.165 (rus)

28. Krivonos O.I., Terekhova E.N., Galdina V.D., Plaksin G.V. Study of mineral components of oil shale and their carbon-mineral residues during thermolysis [Issledovaniye mineralnykh komponentov goryuchikh slantsev i ikh ugle-rod-mineralnykh ostatkov pri termolize]. Chemistry and chemical technology. 2015. Vol. 58. Issue. 3. Pp. 69–73. (rus)

29. Galdina V.D., Gurova E.V., Krivonos O.I., Plaksin G.V. Siberia and the Arctic: the contribution of science [Asfaltobetonny na osnove mineralnykh materialov iz tverdykh ugle-rod-soderzhashchikh produktov goryuchikh slantsev]. Materials of the international scientific and practical conference: electronic resource, Omsk. 2014. Pp. 14–17. (rus)

30. Podolskiy V.P. Influence of carbon-containing mineral powder on the operational properties of

sandy asphalt concrete [Vliyaniye ugle-rod-soderzhashchego mineralnogo poroshka na ekspluatatsionnyye svoystva peschanogo asfaltobetona]. Increasing the durability of transport structures and road safety: collection of articles. scientific. tr. Vse-ros. scientific-practical conf. Kazan: KGASU, 2008. Pp. 26–31. (rus)

31. Kovalev N.S., Bykova Ya.A. Investigation of the fatigue life of asphalt concrete with carbon-containing material under cyclic dynamic loading [Issledovaniye ustalostnoy dolgovechnosti asfaltobetona s ugle-rod-soderzhashchim materialom pri tsiklicheskom dinamicheskom nagruzhении]. Bulletin of the Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Building and architecture. 2008. Issue. 12 Pp. 62–67. (rus)

32. Nadykto G.I., Galdina V.D., Gurova E.V. Mineral powder from coal shale [Mineralnyy poroshok iz ugolnykh slantsev]. Collection of scientific papers of the national scientific-practical conference "Education. Transport. Innovation. Construction ", Omsk. 2018. Pp. 360–463. (rus)

33. Bituev A.V., Pechersky S.A., Kalashikov P.I. Application of ground crushed asbestos cement products as a mineral powder of asphalt concrete [Primeneniye molotogo boya asbestotsementnykh izdeliy v kachestve mineralnogo poroshka asfaltobetona]. Vestnik VSGUTU. No. 4. 2017. Pp. 86–91. (rus)

34. Volchenko A.I., Khilenko E.P., Nadykto G.I. Mineral powder for road asphalt concrete from secondary products of talc production [Mineralnyy poroshok dlya dorozhnykh asfaltobetonov iz vtorichnykh produktov proizvodstva talka]. Engineering and construction technologies. 2017. No. 1. Pp. 115–121. (rus)

35. Grekhov P.I., Sukhanov A.M., Ponomarev V.A., Smolentsov S.V. The use of mineral powders of natural origin for the production of asphalt concrete [Primeneniye mineralnykh poroshkov prirodnogo proiskhozhdeniya dlya proizvodstva asfaltobetonov]. Collection of articles based on the materials of the II All-Russian scientific-practical conference "Problems and prospects of development civil engineering science and education "edited by S.F. Sukhanova, Kurgan. 2018. Pp. 67–69. (rus)

36. Khudyakova L.I., Voiloshnikov O.V. Prospects for the use of serpentized rocks as a mineral powder for asphalt concrete [Perspektivy ispolzovaniya serpentinirovannykh porod v kachestve mineralnogo poroshka dlya asfaltobetona]. Construction materials. 2017. No. 9. Pp. 50–53. (rus)

37. Vysotskaya M., Vdovin E., Kuznetsov D., Shiryaev A. Alternative mineral powders for asphalt concrete. II International Scientific Conference on Socio-Technical Construction and Civil Engineering

(STCCE-2021). 2021. Vol. 169. Pp. 297–307. doi: 10.1007 / 978-3-030-80103-8_32

38. Vysotskaya M.A., Shekhovtsova S.Yu., Kuznetsov D.A. Features of the interaction of alternative dispersed porous mineral materials with an organic binder [Osobennosti vzaimodeystviya alternativnykh dispersnykh poristykh mineralnykh materialov s organicheskim vyazhushchim]. Izvestiya vysshikh educational institutions. Construction. 2019. No. 4 (724). P. 35–46. (rus)

39. Vysotskaya M.A., Shekhovtsova S.Yu., Kuznetsov D.A. Reactivity of alternative mineral dispersed materials as a tool for the development of effective road composites [Reaktsionnaya sposobnost alternativnykh mineralnykh dispersnykh materialov kak instrument dlya razrabotki effektivnykh dorozhnykh kompozitov]. Bulletin of the Voronezh State University of Engineering Technologies. 2019. Vol. 81. No. 1 (79). Pp. 282–288. doi: 10.20914 / 2310-1202-2019-1-282-288 (rus)

40. Zlobin S.V., Borisenko Yu.G. Theoretical foundations of the possibility of using mineral powders based on highly dispersed porous materials in asphalt concrete [Teoricheskiye osnovy vozmozhnosti ispolzovaniya v asfaltobetonakh mineralnykh poroshkov na osnove vysokodispersnykh poristykh materialov]. Internauka. 2017. No. 11-1 (15). Pp. 14–16. (rus)

41. Vysotskaya M.A., Fedorov M.Yu. Development of nanomodified filler for asphalt concrete mixtures [Razrabotka nanomodifitsirovannogo napolnitelya dlya asfaltobetonnykh smesey]. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2013. No. 6. Pp. 61–65. (rus)

42. Zagorodnyaya A.V. On the expediency of determining the optimal concentration of the polymer on the surface of a mineral powder in the composition of an asphalt concrete mixture [O

tselesoobraznosti opredeleniya optimalnoy kontsentratsii polimera na poverkhnosti mineralnogo poroshka v sostave asfaltobetonnoy smesi]. Resource-saving technologies of production and processing of materials by pressure in mechanical engineering. 2019. No. 1. Pp. 84–89. (rus)

43. Manandhar C., Hossain M., Nelson P., Hobson C. Estimation of Lives of Deficient Superpave Pavements. Transportation Research Record. 2008. Is. 2081. No. 1. Pp. 83–91. doi: 10.3141 / 2081-09

44. Nepomuceno M.C.S., Pereira-de-Oliveira L.A., Lopes S.M.R. Methodology for the mix design of self-compacting concrete using different mineral additions in binary blends of powders. Construction and Building Materials. 2014. Is. 64. Pp. 82–94. doi: 10.1016/j.conbuildmat.2014.04.021

45. Duval J., Barnes S., Weber B., Liva G. Montana Moves to Volumetric Acceptance for Superpave. Asphalt. 2007. Vol. 22. No. 2. Pp. 32–35.

46. Abdelrahman M.A., Jensen W.G., Salem H.M. Binder Flushing in Low Traffic Volume Superpave Mixes. International Journal of Pavement Research and Technology. 2008. Vol. 1. No. 4. Pp. 121–128.

47. Tarefder R.A., Zaman A.M., Uddin W. Determining hardness and elastic modulus of asphalt by nanoindentation. International Journal of Geomechanics. 2010. Vol.10. No.3. Pp. 106–116. doi: 10.1061 / (ASCE) GM.1943-5622.0000048

48. Hossain M., Chen J. Z. Optimization of Superpave mixture volumetric properties. International Journal of Pavement Engineering. 2002. Vol. 3. No. 2. Pp. 63–69.

49. Huber G. History of asphalt mix design in North America, Part II: Superpave. Asphalt. 2013. Vol. 28. No.2. Pp. 25–29.

Information about the authors

Shiryayev, Artyom O. Postgraduate student. E-mail: shiryayev.ao@mail.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

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

Received 04.10.2021

Для цитирования:

Ширяев А.О., Высоцкая М.А. Минеральный порошок в современной системе проектирования асфальтобетонных смесей // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2022. № 2. С. 8–19. DOI: 10.34031/2071-7318-2021-7-2-8-19

For citation:

Shiryayev A.O., Vysotskaya M.A. Mineral powder in a modern design system of asphalt concrete. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2022. No. 2. Pp. 8–19. DOI: 10.34031/2071-7318-2021-7-2-8-19

DOI: 10.34031/2071-7318-2021-7-2-20-29

^{1,2} Чернильник А.А., ²Смачный В.Ю., ²*Ельшаева Д.М., ²Жеребцов Ю.В., ²Доценко Н.А.¹Ростовский государственный университет путей сообщения²Донской государственный технический университет

*E-mail: diana.elshaeva@yandex.ru

ВЛИЯНИЕ ВИДА ПРИМЕНЯЕМЫХ ФИБРОВЫХ ВОЛОКОН НА ПРОЧНОСТЬ И ДЕФОРМАТИВНОСТЬ ДИСПЕРСНО-АРМИРОВАННЫХ ОБЛЕГЧЁННЫХ БЕТОНОВ

Аннотация. *Широкое применение в строительстве находят фибробетоны, обладающие улучшенными прочностными и деформативными характеристиками. Целью данной работы являлось исследование напряженно-деформированного состояния облегченных фибробетонов, построение диаграмм напряжения – деформации и их анализ для выявления наиболее эффективного вида применяемой фибры. Всего было изготовлено и испытано 4 серии образцов-призм: первая серия – контрольный состав облегченного бетона; вторая серия – облегченный бетон с содержанием базальтовой фибры 3 %; третья серия – облегченный бетон с содержанием стеклянной фибры 3 %; четвертая серия – облегченный бетон с содержанием базальтовой фибры 1,5 % и 1,5 % стеклянной фибры. В результате проведенных экспериментальных исследований установлено, что наибольшей деформативностью обладает облегченный бетон, армированный базальтовой фиброй. В сравнении со стеклянной фиброй базальтовая имеет большую прочность при растяжении и более высокие значения модуля упругости. Факт лучшей совместной работы бетонной матрицы и базальтового волокна обусловлен прежде всего наилучшими механическими характеристиками базальтовой фибры. Определены дальнейшие перспективы исследований в части определения прочности сцепления различных видов фибр с матрицей и изучения влияния данного показателя как на прочностные, так и на деформативные характеристики облегченных бетонов.*

Ключевые слова: *облегченный бетон, прочность, предельные деформации, фибра, бетонная матрица.*

Введение. Разработка облегченных бетонов весьма актуальна в настоящее время в связи с возрастающей потребностью в современных строительных материалах и изделиях, имеющих одновременно необходимые проектные прочностные и деформативные характеристики и при этом обладающих существенно меньшей массой по сравнению с традиционным тяжелым бетоном.

Потребность в снижении массы конструкций и как следствие возводимых из них зданий и сооружений обусловлена разнообразием инженерно-геологических условий, уменьшением нагрузок на основания и фундаменты, плотностью застройки сложностью монтажных работ. Для решения проблемы эффективного снижения массы бетонов с сохранением их достаточной прочности и деформативности, необходимо тщательно подбирать компоненты и состав разрабатываемых новых облегченных изделий.

В данном исследовании был выбран бетон, облегченный за счет введения пористого заполнителя – шлаковой пемзы – вместо части крупного плотного заполнителя и применения менее плотных видов фибры по сравнению с металлической, а именно базальтовых и стеклянных волокон.

Фибробетон эффективно показал себя при изготовлении цокольных панелей многоэтажных зданий, несъемной опалубки для обоев укрепления свайных фундаментов, стеновых панелей и монолитных стен, малых архитектурных форм при благоустройстве городских парков, архитектурного декора зданий и многих других. Несмотря на востребованность, научная проблема разработки и применения, облегченного фибробетона остается нерешенной и привлекает внимание ученых всего мира [1–9].

Обычный бетон по своей природе является хрупким материалом с относительно слабыми характеристиками при растяжении. Чтобы изменить эти характеристики и избежать внезапного хрупкого разрушения бетонных конструкций, в матрицу бетона закладывают армирующие материалы. С древних времен люди помещали волокна, такие как солома и волосы, в строительные растворы и кирпичи, чтобы улучшить их прочностные и деформативные характеристики при растяжении. Эти древние и простые методы армирования бетона теперь преобразованы в передовые методы, которые включают использование коротких волокон, случайным образом распределенных по бетонной матрице. Полученный композитный материал называется цементным

композитом, армированным волокном, хотя известны и другие названия для бетонов, строительных растворов или паст, содержащих волокна в их матрицах [1–4].

Основные свойства волокна, которые определяют характеристики композита в свежем и затвердевшем состояниях, включают размеры волокна, модуль упругости, предел прочности при растяжении, предельную деформацию, а также сцепление и химическую совместимость с матрицей. Рассматривая различные волокнистые материалы, используемые в текущей практике, можно выделить четыре основные категории металлических, стеклянных, полимерных и натуральных волокон [5, 6].

Объектом исследований, приведенных в [10, 11], являлся дисперсно-армированный облегченный бетон, включающий в своем составе как тяжелый, так и легкий заполнитель, то есть часть тяжелого традиционного заполнителя из плотных горных пород заменена аналогом по объему, но существенно меньшим по массе легким пористым заполнителем. В качестве исходных компонентов были применены гранитный щебень и шлаковая пемза. Следует отметить, что в результате такого исследования решалась не только техническая проблема, то есть снижение веса зданий и сооружений за счет снижения плотности применяемого бетона при сохраненной его прочности, но также и проблема стоимости возводимых зданий и сооружений, так как в результате существенно снижается не только вес, но и стоимость применяемого бетона, ввиду более низкой стоимости шлаковой пемзы по сравнению с гранитом.

В [1, 4] проверялось влияние рубленого базальтового волокна в керамзитобетоне на улучшение его прочности. Были получены экспериментальные зависимости поведения бетона под нагрузкой с помощью испытаний на сжатие и изгиб. Дисперсное рубленое базальтовое волокно использовалось в качестве армирования образцов размерами $100 \times 100 \times 100$ мм и $100 \times 100 \times 400$ мм. Фактически, влияние непосредственно на характер разрушения наблюдалось на керамзитобетоне без базальтовой фибры и затем считывалось по значению прочности и предельной деформации образцов [1].

Искусственные нейронные сети активно применяются для предсказания механических свойств фибробетонов [12, 13]. В [12] с помощью искусственных нейронных сетей получена аналитическая модель, описывающая конечную прочность сцепления через средние значения касательных напряжений. В качестве объекта исследования выступает бетон различных классов

прочности, армированный металлической и композитной арматурой. Установлено, что величина сцепления связана с прочностными характеристиками бетона и видом применяемой арматуры. Техника искусственных нейронных сетей предложена в [13] для предсказания прочности связи фиброволокна и цементной матрицы.

В работе [10] исследовались прочностные свойства мелкозернистого бетона, армированного аморфным волокном на основе системы Fe-B-C и получаемого методом «пряжения», и бетонов, армированных доступными видами фибры: фиброй на основе минеральной ваты, базальтовым волокном, стекловолокном, стальными и полипропиленовыми волокнами. Наибольшие значения прочности на изгиб показали образцы с аморфным волокном, а наибольшую прочность на сжатие – со стальной фиброй. Добавление аморфных волокон приводит к увеличению прочности на изгиб на 56 %, но снижает прочность на сжатие на 30 % по сравнению с контрольными образцами. Добавление стальной фибры показывает увеличение прочности на изгиб на 20 % и увеличение прочности на сжатие на 14 %, что подтверждает положительный эффект от добавления коммерчески доступной фибры к мелкозернистому бетону. Авторами разработаны составы фибробетона с пределом прочности на сжатие до 38 МПа и пределом прочности при изгибе до 12 МПа, что позволяет использовать аморфную фибру в качестве компонента мелкозернистого бетона в строительстве [10].

Механические свойства и долговечность легкого бетона на основе пемзы, армированного базальтовым волокном и содержащего наноразмерный карбонат кальция (НКК) исследованы в [11]. НКК использовался в качестве замены портландцемента в различном процентном соотношении: от 5 до 25 с шагом 5 %. Базальтовые волокна длиной 6 мм были добавлены в двух количествах: 0,5 % и 1 % по объему. Результаты исследований показали, что смеси с добавлением НКК имели более низкие результаты по механической прочности в раннем возрасте и сопоставимые с контрольными смесями – в более позднем возрасте. Добавление НКК также привело к снижению водопоглощения, сорбционной способности и повышенной устойчивости к сульфату магния по сравнению с контрольным составом легкого бетона. Использование базальтового волокна улучшило механические свойства легкого бетона на основе пемзы, но ухудшило свойства свежеприготовленного бетона. Показано, что полученный вид бетона может применяться в промышленности по производству экологически чистых бетонных блоков наряду с геополимерными облегченными бетонами [10, 11].

Проанализированные публикации не дают всех ответов на вопросы, касающиеся прочностных и деформативных характеристик облегченных бетонов [14–21] с добавлением дисперсно-армирующих волокон [1–9, 22]. Не изучено влияние рецептурных факторов на диаграммы деформирования таких бетонов.

Таким образом, целью работы стало исследование напряженно-деформированного состоя-

ния облегченных фибробетонов, а также построение диаграмм напряжения – деформации и их анализ для выявления наиболее эффективного вида применяемой фибры.

Материалы и методы. При проведении экспериментальных исследований применялся портландцемент марки ПЦ 500 Д0, физико-механические характеристики которого представлены в таблице 1.

Таблица 1

Физико-механические характеристики портландцемента ПЦ 500 Д0

Наименование показателя	Фактические значения
Физико-механические показатели	
Предел прочности при сжатии в возрасте 28 суток, МПа	54,8
Сроки схватывания, мин	
- начало	155
- конец	220
Тонкость помола (проход через сито № 008), %	96,7
Удельная поверхность, см ² /г	2930
Нормальная густота цементного теста, %	23,5

В качестве крупного плотного заполнителя применялся щебень гранитный со следующими физико-механическими характеристиками: размер фракций – 5-20 мм; насыпная плотность – 1503 кг/м³; истинная плотность – 2620 кг/м³; дробимость – 11,4 % по массе; содержание зерен пластинчатой (лещадной) и игловатой форм – 8,1 % по массе; пустотность – 43 %.

В качестве крупного легкого заполнителя применялась шлаковая пемза: размер фракций – 5-20 мм; насыпная плотность – 612 кг/м³; истинная плотность – 1310 кг/м³; прочность по ГОСТ 32496 – 0,8 МПа; пустотность – 53 %.

В качестве мелкого заполнителя применялся песок кварцевый со следующими физическими характеристиками: модуль крупности – 1,66; содержание пылевидных и глинистых частиц – 1,2 %; насыпная плотность – 1438 кг/м³; истинная плотность – 2650 кг/м³.

В качестве дисперсной арматуры применялась базальтовая и стеклянная фибра. В таблице 2 представлены физико-механические характеристики применяемой фибры.

Таблица 2

Физико-механические показатели фибры

Вид фибры	Прочность на растяжение, МПа	Длина волокна, мм	Модуль упругости, ГПа	Плотность, кг/м ³	Коэффициент удлинения, %
Базальтовая	3200	12	80	2600	3,2
Стеклянная	1800	12	70	2600	1,5

Для регулирования подвижности бетонных смесей использовался суперпластификатор Muraplast FK 48.

Всего было изготовлено и испытано 4 серии образцов с размерами 150x150x600 мм:

- первая серия – контрольный состав облегченного бетона;
- вторая серия – облегченный бетон с содержанием базальтовой фибры 3 %;
- третья серия – облегченный бетон с содержанием стеклянной фибры 3 %;
- четвертая серия – облегченный бетон с содержанием базальтовой фибры 1,5 % и стеклянной фибры – 1,5 %.

Параметры состава бетонной смеси для изготовления опытных образцов рассчитывались согласно [8, 23, 24] и приведены в таблице 3.

Примечание. В/Ц – водоцементное отношение; Ц – расход цемента; В – расход воды; Щ – расход щебня; П – расход песка; $\rho_{бс}$ – плотность бетонной смеси

Также для исследований были применены: испытательное оборудование (пресс гидравлический ИП-1000 (ООО НПК «ТЕХМАШ», г. Нефтекамск, Республика Башкортостан, Россия)), средства измерения (линейка измерительная металлическая, весы лабораторные, прибор для измерения отклонений от плоскости НПЛ-1, прибор для измерения отклонений от перпендикулярности НПП-1).

Применялась стандартная методика испытаний по ГОСТ 24452-80 «Методы определения

призменной прочности, модуля упругости и коэффициента Пуассона». Нагружение образцов производилось ступенями по 10 % от ожидаемой разрушающей нагрузки со скоростью $(0,6 \pm 0,2)$ МПа/с.

Испытания на осевое растяжение проводились в соответствии с требованиями ГОСТ

10180-2012 «Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам».

Измерения деформаций бетона опытных призм производились цепочкой тензодатчиков с базой 50 мм и индикаторами часового типа с ценой деления 0,001 мм.

Таблица 3

Параметры состава бетонной смеси

Наименование параметра	В/Ц	Ц, кг/м ³	В, л/м ³	Щ, кг/м ³		П, кг/м ³	$\rho_{бс}$, кг/м ³	Марка по удобоукладываемости (осадке конуса)
				гранитный щебень	шлаковая пемза			
Значение параметра	0,57	373	205	670 (60 % по объему)	180 (40 % по объему)	520	1948	П1

Основная часть. Результаты, полученные по итогам испытаний опытных образцов облегченных бетонов представлены в таблице 4.

По результатам испытаний были построены диаграммы сжатия « $\epsilon_b - \sigma_b$ » и растяжения « $\epsilon_{bt} - \sigma_{bt}$ ». Графические зависимости «напряжения – деформации» представлены на рисунках 1 и 2.

Таблица 4

Результаты определения прочностных и деформативных характеристик и их приростов опытных образцов облегченных бетонов

Характеристики бетона	1 серия	2 серия	3 серия	4 серия
R_b , МПа (ΔR_b , %)	33,7 (0)	38,5 (+14)	37,9 (+12)	36,2 (+7)
ϵ_{bR} , мм/м $\cdot 10^{-3}$ ($\Delta \epsilon_{bR}$, %)	2,65 (0)	3,92 (+45)	3,11 (+31)	3,03 (+24)
R_{bt} , МПа (ΔR_{bt} , %)	2,9 (0)	4,2 (+48)	3,8 (+17)	3,6 (+14)
ϵ_{btR} , мм/м $\cdot 10^{-4}$ ($\Delta \epsilon_{btR}$, %)	1,67 (0)	5,78 (+350)	5,56 (+330)	4,51 (+270)
E , ГПа (ΔE , %)	29,1 (0)	33,6 (+15)	32,8 (+12)	31,2 (+7)

Примечание. R_b – призменная прочность на сжатие; ϵ_{bR} – предельные деформации при осевом сжатии; R_{bt} – прочность на осевое растяжение; ϵ_{btR} – предельные деформации при осевом растяжении; E – модуль упругости; ΔR_b – прирост призменной прочности на сжатие; $\Delta \epsilon_{bR}$ – прирост предельных деформаций при осевом сжатии; ΔR_{bt} – прирост прочности на осевое растяжение; $\Delta \epsilon_{btR}$ – прирост предельных деформаций при осевом растяжении; ΔE – прирост модуля упругости.

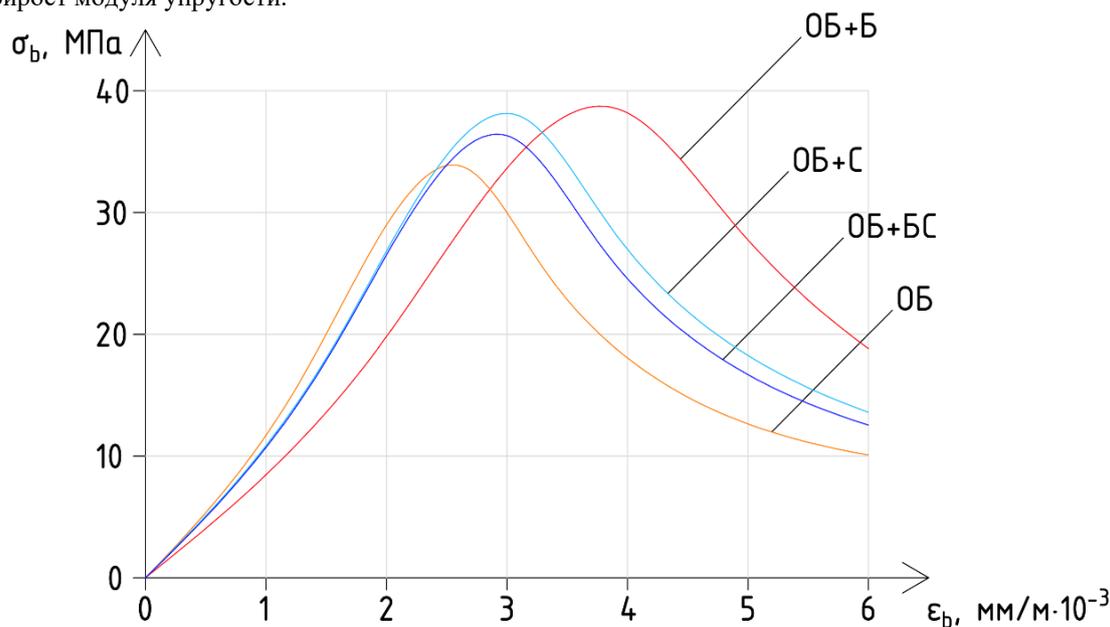


Рис. 1. Криволинейная диаграмма состояния сжатого бетона
 ОБ – облегченный бетон; ОБ+Б – облегченный фибробетон с содержанием фибры 3 %;
 ОБ+С – облегченный бетон с содержанием стеклянной фибры 3 %;
 ОБ+БС – облегченный бетон с содержанием базальтовой фибры 1,5 % и стеклянной фибры – 1,5 %

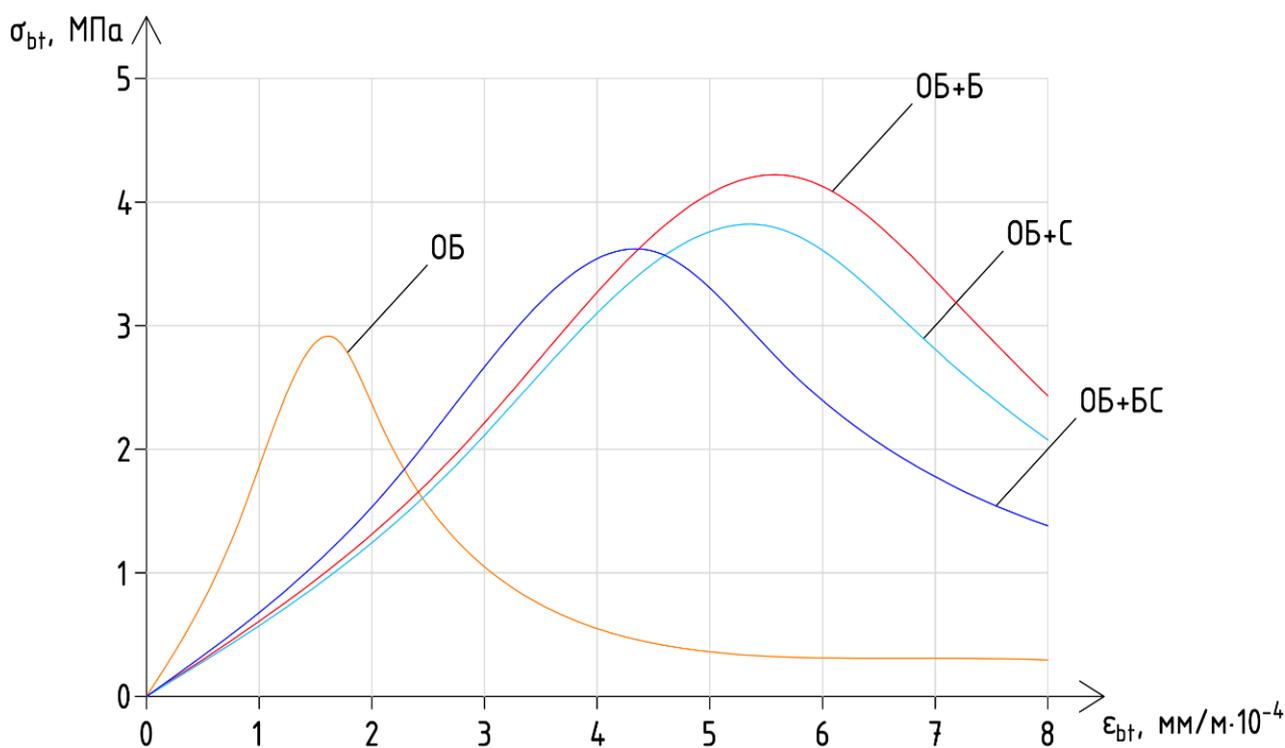


Рис. 2. Криволинейная диаграмма состояния растянутого бетона (см. рисунок 1)

Анализ построенных диаграмм «напряжения – деформации» всех четырех исследованных видов бетонов выявил следующее. Наименьшей деформативностью обладает неармированный облегченный бетон, выступавший в качестве контрольного состава, его пик диаграммы находится левее и ниже всех остальных пиков. Наибольшей деформативностью обладает облегченный бетон, дисперсно-армированный базальтовым фиброволокном. Его пик диаграммы находится правее и выше всех остальных пиков.

При распределении стеклянных и базальтовых волокон в бетоне наблюдалась тенденция неравномерного диспергирования волокон в матрице ввиду различий в характеристиках волокон, их поведении в механике процесса перемешивания и иных факторов, что требует дополнительных усилий по гомогенизации фибры в теле бетона. Данное обстоятельство приводит к увеличению водоцементного отношения до 0,6–0,62 или дополнительному перемешиванию, которое может потенциально повредить волокна и поставить под угрозу их долговременные характеристики. Следует отметить, что влияние фиброволокна на удобоукладываемость бетона сильно зависит от соотношения сторон и площади поверхности волокон. Марка по удобоукладываемости (осадке конуса) контрольного состава (первая серия образцов) составляла П2, у составов же с фиброй (вторая, третья и четвертая серии образцов) она изменялась до П1.

Выводы. В результате проведенных исследований сделаны следующие выводы. Наибольшей деформативностью обладает облегченный бетон, армированный базальтовой фиброй. Факт лучшей совместной работы бетонной матрицы и базальтового волокна обусловлен прежде всего наилучшими механическими характеристиками базальтовой фибры. В сравнении со стеклянной фиброй и с комбинированной (базальтовая и стеклянная) базальтовая имеет большую прочность при растяжении и более высокое значение модуля упругости.

Однако в дальнейшем планируется изучить прочность сцепления фибры с матрицей. Сцепление фибры с бетонной матрицей композита является результатом комбинированного проявления адгезии, трения и механического зацепления в зоне их контакта с цементным камнем. Влияние каждого из этих факторов на анкеровку волокон в матрице может быть различным и зависит от состава, структуры и свойств цементного камня, а также от материала фибр, их формы и размеров.

Полученные в ходе исследования результаты рекомендуются к внедрению в практику строительства и производства.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Galishnikova V.V., Kharun M., Koroteev D.D., Chiadighikaobi P.C. Basalt fiber reinforced expanded clay concrete for building structures // Magazine of Civil Engineering. 2021. № 101(1). 10107. [Электронный ресурс]. Систем. требования: AdobeAcrobatReader. URL:

<https://doi.org/10.34910/MCE.101.7> (дата обращения: 18.10.2021).

2. Kang I.-K., Kim S.-H. Compressive Strength Testing of Hybrid Concrete-Filled Fiber-Reinforced Plastic Tubes Confined by Filament Winding // *Applied Sciences*. 2021. № 11. 2900. [Электронный ресурс]. Систем. требования: AdobeAcrobatReader. URL: <https://doi.org/10.3390/app11072900> (дата обращения: 18.10.2021).

3. Fiore V., Scalici T., Di Bella G., Valenza A. A review on basalt fiber and its composite // *Composites Part B: Engineering*. 2015. № 74. Pp. 74–94.

4. Харун М., Коротеев Д.Д., Дхар П., Ждеро С., Елроба Ш.М. Физико-механические свойства базальто-волоконистого высокопрочного бетона // *Строительная механика инженерных конструкций и сооружений*. 2018. № 14(5). С. 396–403.

5. Ahmed W., Lim C. Production of sustainable and structural fiber reinforced recycled aggregate concrete with improved fracture properties: A review // *Journal of Cleaner Production*. 2021. Т. 279. 123832. [Электронный ресурс]. Систем. требования: AdobeAcrobatReader. URL: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123832> (дата обращения: 18.10.2021).

6. Zeyad A.M. Effect of fibers types on fresh properties and flexural toughness of self-compacting concrete // *Journal of Materials Research and Technology*. 2020. Т. 9. Pp. 4147–4158.

7. Elgabbas F., Ahmed E.A., Benmokrane B. Flexural behavior of concrete beams reinforced with ribbed basalt FRP bars under static loads // *Journal of Composites for Construction*. 2016. № 21(3). С. 195–230.

8. Mailyan L.R., Beskopylny A.N., Meskhi B., Stel'makh S.A., Shcherban E.M., Ananova O. Optimization of Composition and Technological Factors for the Lightweight Fiber-Reinforced Concrete Production on a Combined Aggregate with an Increased Coefficient of Structural Quality // *Applied Sciences*. 2021. № 11. 7284. [Электронный ресурс]. Систем. требования: AdobeAcrobatReader. URL: <https://doi.org/10.3390/app11167284> (дата обращения: 18.10.2021).

9. 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: 18.10.2021).

10. Begich Y.E., Klyuev S.V., Jos V.A., Cherkashin A.V. Fine-grained concrete with various types of fibers // *Magazine of Civil Engineering*.

2020. № 97(5). 9702. [Электронный ресурс]. Систем. требования: AdobeAcrobatReader. URL: <https://doi.org/10.18720/MCE.97.2> (дата обращения: 18.10.2021).

11. Karaburc S.N., Yildizel S.A., Calis G.C. Evaluation of the basalt fiber reinforced pumice lightweight concrete // *Magazine of Civil Engineering*. 2020. 94(2). Pp. 81–92.

12. Anysz H., Narloch P. Designing the Composition of Cement Stabilized Rammed Earth Using Artificial Neural Networks // *Materials*. 2019. Т. 12, 1396. [Электронный ресурс]. Систем. требования: AdobeAcrobatReader. URL: <https://doi.org/10.3390/ma12091396> (дата обращения: 18.10.2021).

13. Narloch P., Hassanat A., Tarawneh A.S., Anysz H., Kotowski J., Almohammadi K. Predicting Compressive Strength of Cement-Stabilized Rammed Earth Based on SEM Images Using Computer Vision and Deep Learning // *Applied Sciences*. 2019. № 9. 5131. [Электронный ресурс]. Систем. требования: AdobeAcrobatReader. URL: <https://doi.org/10.3390/app9235131> (дата обращения: 18.10.2021).

14. Холодняк М.Г., Стельмах С.А., Маилян Л.Р., Щербань Е.М., Нажуев М.П. Изучение характера механизма дрейфа компонентов бетонной смеси при производстве центрифугированных колонн вариатропной структуры на примере физической модели движения заполнителей // *Строительство и архитектура*. 2017. Т. 5. № 4. С. 229–233.

15. Абдыкалыков Т.А., Джамаева А.М. Облегченные мелкозернистые бетоны на основе композиционных вяжущих веществ // *Материаловедение*. 2017. № 2(22). С. 20–23.

16. Гаврилов А.В., Алоян К.Д., Доброхотов В.Б., Придатко Ю.М. Совершенствование технологии получения облегченных бетонов // *Шестьдесят восьмая всеросс. науч.-технич. конф. студентов, магистрантов и аспирантов высших учебных заведений с международным участием: сборник материалов конференции*. Ярославский государственный технический университет. 2015. С. 765–767.

17. Рылова Т.С., Лахтарина С.В., Егорова Е.В. Легкий конструкционный бетон с повышенным коэффициентом конструктивного качества // *Вестник Донбасской национальной академии строительства и архитектуры*. 2018. Т. 4. № 2(132). С. 221–226.

18. Савенков А.И., Савенков В.А. Облегченные вариатропные железобетонные перекрытия // *Сборник научных трудов Ангарского государственного технического университета*. 2016. Т. 1. № 1. С. 288–293.

19. Stel'makh S.A., Shcherban' E.M., Beskopylny A.N., Mailyan L.R., Meskhi B., Butko D., Smolyanichenko A.S. Influence of Composition and Technological Factors on Variatropic Efficiency and Constructive Quality Coefficients of Lightweight Vibro-Centrifuged Concrete with Alkalized Mixing Water // Applied Science. 2021. Т. 11. 9293. [Электронный ресурс]. Систем. требования: AdobeAcrobatReader. URL: <https://doi.org/10.3390/app11199293> (дата обращения: 18.10.2021).

20. Маилян Л.Р., Стельмах С.А., Холодняк М.Г., Халюшев А.К., Щербань Е.М., Нажуев М.П. Рекомендации по учету вариатропии при расчете, проектировании и изготовлении центрифугированных конструкций из тяжелого бетона // Вестник Евразийской науки. 2018. № 4. [Электронный ресурс]. Систем. требования: AdobeAcrobatReader. URL: <https://esj.today/PDF/07SAVN418.pdf> (дата обращения: 18.10.2021).

21. Маилян Л.Р., Стельмах С.А., Щербань Е.М., Доценко Н.А. Особенности расчета центрифугированных и виброцентрифугированных железобетонных конструкций по дифференци-

альным конструктивным характеристикам бетона // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2020. № 12. С. 32–46.

22. Щербань Е.М., Стельмах С.А., Холодняк М.Г., Нажуев М.П., Рымова Е.М., Лиев Р.А. Влияние вида заполнителя и дисперсного армирования на деформативность виброцентрифугированных бетонов // Вестник евразийской науки. 2018. № 5. [Электронный ресурс]. Систем. требования: AdobeAcrobatReader. URL: www.esj.today/PDF/51SAVN518.pdf (дата обращения: 18.10.2021).

23. Черных Д.С., Строев Д.А., Чернильник А.А., Ельшаева Д.М., Жеребцов Ю.В., Доценко Н.А. Зависимость коэффициентов прочностной и деформативной вариатропной эффективности центрифугированного бетона от зернового состава крупного заполнителя // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. Том 11. № 3. 2021. С. 470–479.

24. 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.

Информация об авторах

Чернильник Андрей Александрович, аспирант, инженер. E-mail: chernila_a@mail.ru. Ростовский государственный университет путей сообщения, Россия, 344038, Ростов-на-Дону, пл. Ростовского Стрелкового Полка Народного Ополчения, д. 2; Донской государственный технический университет, Россия, 344003, Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, д. 1.

Смачный Владислав Юрьевич, магистрант кафедры технологического инжиниринга и экспертизы в стройиндустрии. E-mail: smachney87@mail.ru. Донской государственный технический университет. Россия, 344003, Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, д. 1.

Ельшаева Диана Михайловна, магистрант кафедры технологического инжиниринга и экспертизы в стройиндустрии. 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 стройиндустрии. E-mail: yuri.zherebtsov@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 стройиндустрии. E-mail: natalya_1998_dotsenko@mail.ru. Донской государственный технический университет. Россия, 344003, Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, д. 1.

Поступила 22.10.2021 г.

© Чернильник А.А., Смачный В.Ю., Ельшаева Д.М., Жеребцов Ю.В., Доценко Н.А., 2022

^{1,2}Chernil'nik A.A., ²Smachney V.Yu. ^{2,*}El'shaeva D.M., ²Zherebtsov Yu.V., ²Dotsenko N.A.,

¹Rostov State Transport University

²Don State Technical University

*E-mail: diana.elshaeva@yandex.ru

INFLUENCE OF THE TYPE OF FIBERS USED ON THE STRENGTH AND DEFORMATION OF DISPERSED-REINFORCED LIGHTWEIGHT CONCRETE

Abstract. Fiber-reinforced concretes with improved strength and deformation characteristics are widely used in construction. The research is aimed to study the stress-strain condition of lightweight fiber-reinforced concrete, to plot stress-strain diagrams and analyze them. In total, four series of prism specimens are manufactured and tested. The first series is the control composition of lightweight concrete; the second series is lightweight concrete with a basalt fiber content of 3%; the third series is lightweight concrete with a glass fiber content of 3%; the fourth series is lightweight concrete with a basalt fiber content of 1.5% and 1.5% glass fiber. The experimental studies demonstrate that lightweight concrete reinforced with basalt fiber has the highest deformability. In comparison with glass fiber, basalt fiber has a higher tensile strength and a higher elastic modulus. The fact that the concrete matrix and basalt fiber work together better is primarily due to the best mechanical characteristics of the basalt fiber. Further research prospects are determined in terms of determining the adhesion strength of various types of fibers with a matrix and studying the effect of this indicator on both the strength and deformation characteristics of lightweight concrete.

Keywords: lightweight concrete, strength, ultimate deformation, fiber, concrete matrix.

REFERENCES

- Galishnikova V.V., Kharun M., Koroteev D.D., Chiadighikaobi P.C. Basalt fiber reinforced expanded clay concrete for building structures. Magazine of Civil Engineering. 2021. No. 101(1). 10107. AdobeAcrobatReader. URL: <https://doi.org/10.34910/MCE.101.7> (date of treatment: 18.10.2021).
- Kang I.-K., Kim S.-H. Compressive Strength Testing of Hybrid Concrete-Filled Fiber-Reinforced Plastic Tubes Confined by Filament Winding. Applied Sciences. 2021. No. 11. 2900. AdobeAcrobatReader. URL: <https://doi.org/10.3390/app11072900> (date of treatment: 18.10.2021).
- Fiore V., Scalici T., Di Bella G., Valenza A. A review on basalt fiber and its composite. Composites Part B: Engineering. 2015. No. 74. Pp. 74–94.
- Kharun M., Koroteev D.D., Dkhar P., Zdero S., Elroba S.M. Physical and mechanical properties of basalt-fibered high-strength concrete [Fiziko-mekhanicheskie svoystva bazal'to-voloknistogo vysokoprochnogo betona]. Structural Mechanics of Engineering Constructions and Buildings. 2018. No. 14(5). Pp. 396–403. (rus)
- Ahmed W., Lim C. Production of sustainable and structural fiber reinforced recycled aggregate concrete with improved fracture properties: A review. Journal of Cleaner Production. 2021. Vol. 279. 123832. AdobeAcrobatReader. URL: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123832> (date of treatment: 18.10.2021).
- Zeyad A.M. Effect of fibers types on fresh properties and flexural toughness of self-compacting concrete. Journal of Materials Research and Technology. 2020. Vol. 9. Pp. 4147–4158.
- Elgabbas F., Ahmed E.A., Benmokrane B. Flexural behavior of concrete beams reinforced with ribbed basalt FRP bars under static loads. Journal of Composites for Construction. 2016. No. 21(3). Pp. 195–230.
- Mailyan L.R., Beskopylny A.N., Meskhi B., Stel'makh S.A., Shcherban E.M., Ananova O. Optimization of Composition and Technological Factors for the Lightweight Fiber-Reinforced Concrete Production on a Combined Aggregate with an Increased Coefficient of Structural Quality. Applied Sciences. 2021. No. 11. 7284. AdobeAcrobatReader. URL: <https://doi.org/10.3390/app11167284> (date of treatment: 18.10.2021).
- Shcherban' E.M., Stel'makh S.A., Nazhnev M.P., Nasevich A.S., Geras'kina V.E., Poshev A.U.-B. The effect of various types of fibers on the physico-mechanical properties of centrifuged concrete [Vliyaniye razlichnykh vidov fibry na fiziko-mekhanicheskiye svoystva tsentrifugirovannogo betona]. The Eurasian Scientific Journal. 2018. Vol. 6. AdobeAcrobatReader. URL: <https://esj.today/PDF/14SAVN618.pdf> (date of treatment: 18.10.2021). (rus)
- Begich Y.E., Klyuev S.V., Jos V.A., Cherkashin A.V. Fine-grained concrete with various types of fibers. Magazine of Civil Engineering. 2020. No. 97(5). 9702. AdobeAcrobatReader. URL: <https://doi.org/10.18720/MCE.97.2> (date of treatment: 18.10.2021).
- Karaburc S.N., Yildizel S.A., Calis G.C. Evaluation of the basalt fiber reinforced pumice lightweight concrete. Magazine of Civil Engineering. 2020. No. 94(2). Pp. 81–92.
- Anysz H., Narloch P. Designing the Composition of Cement Stabilized Rammed Earth Using

Artificial Neural Networks. Materials. 2019. Vol. 12. 1396. AdobeAcrobatReader. URL: <https://doi.org/10.3390/ma12091396> (date of treatment: 18.10.2021).

13. Narloch P., Hassanat A., Tarawneh A.S., Anysz H., Kotowski J. Almohammadi, K. Predicting Compressive Strength of Cement-Stabilized Rammed Earth Based on SEM Images Using Computer Vision and Deep Learning. Applied Sciences. 2019. No. 9. 5131. AdobeAcrobatReader. URL: <https://doi.org/10.3390/app9235131> (date of treatment: 18.10.2021).

14. Kholodnyak M.G., Stel'makh S.A., Mailyan L.R., Shcherban' E.M., Nazhuev M.P. Study of the nature of the drift mechanism of the components of a concrete mixture in the production of centrifuged columns of a variatropic structure on the example of a physical model of the movement of aggregates [Izuchenie kharaktera mekhanizma dreifa komponentov betonnoi smesi pri proizvodstve tsentrifugirovannykh kolonn variatropnoi struktury na primere fizicheskoi modeli dvizheniya zapolnitelei]. Construction and architecture. 2017. Vol. 5. No. 4. Pp. 229–233. (rus)

15. Abydykalykov T.A., Dzhamayeva A.M. Lightweight fine-grained concrete based on composite binders [Oblegchennyye melkozernistyie betony na osnove kompozitsionnykh vyazhushchikh veshchestv]. Materials Science. 2017. No. 2(22). Pp. 20–23. (rus)

16. Gavrilov A.V., Aloyan K.D., Dobrokhotov V.B., Pridatko Yu.M. Improving the technology for producing lightweight concrete [Sovershenstvovanie tekhnologii polucheniya oblegchennykh betonov]. Shest'desyat vos'maya vsereoss. nauch.-tekhnich. konf. studentov, magistrantov i aspirantov vysshikh uchebnykh zavedenii s mezhdunarodnym uchastiem: sbornik materialov konferentsii. Yaroslavl State Technical University. 2015. Pp. 765–767. (rus)

17. Rylova T.S., Lahtarina S.V., Egorova E.V. Lightweight structural concrete with an increased coefficient of structural quality [Legkiy konstruktivnyy beton s povyshennym koeffitsiyentom konstruktivnogo kachestva]. Bulletin of the Donbass National Academy of construction and architecture. 2018. Vol. 4(132). No. 2. Pp. 221–226. (rus)

18. Savenkov A.I., Savenkov V.A. Lightweight variatropic reinforced concrete slabs [Oblegchennyye variatropnye zhelezobetonnye perekrytiya]. Collection of scientific papers of the Angarsk State Technical University. 2016. Vol. 1. No. 1. Pp. 288–293. (rus)

19. Stel'makh S.A., Shcherban' E.M., Beskopylny A.N., Mailyan L.R., Meskhi B., Butko D., Smolyanichenko A.S. Influence of Composition and Technological Factors on Variatropic Efficiency

and Constructive Quality Coefficients of Lightweight Vibro-Centrifuged Concrete with Alkalized Mixing Water. Applied Science. 2021. Vol. 11. 9293. AdobeAcrobatReader. URL: <https://doi.org/10.3390/app11199293> (date of treatment: 18.10.2021).

20. Mailyan L.R., Stel'makh S.A., Kholodnyak M.G., Khalyushev A.K., Shcherban' E.M., Nazhuev M.P. Recommendations on accounting variatropy the calculation, design and manufacture of centrifuged structures of heavy concrete [Rekomendatsii po uchetu variatropii pri raschete, proyektirovanii i izgotovlenii tsentrifugirovannykh konstruktivnykh iz tyazhelogo betona]. The Eurasian Scientific Journal. 2018. Vol. 10. No. 4. AdobeAcrobatReader. URL: <https://esj.today/PDF/07SAVN418.pdf> (date of treatment: 18.10.2021). (rus)

21. Mailyan L.R., Stel'makh S.A., Shcherban' E.M., Dotsenko N.A. Features of calculation of centrifuged and vibro-centrifuged reinforced concrete structures by differential construction characteristics of concrete [Osobennosti rascheta tsentrifugirovannykh i vibrotsentrifugirovannykh zhelezobetonnykh konstruktivnykh po differentsial'nym konstruktivnym kharakteristikam betona]. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2020. No. 12. Pp. 32–46. (rus)

22. Shcherban' E.M., Stel'makh S.A., Kholodnyak M.G., Nazhuev M.P., Rymova E.M., Liev R.A. Influence of the type of aggregate and dispersed reinforcement on the deformability of vibrocentrifuged concretes [Vliyanie vida zapolnitelya i dispersnogo armirovaniya na deformativnost' vibrotsentrifugirovannykh betonov]. The Eurasian Scientific Journal. 2018. Vol. 10. No. 5. AdobeAcrobatReader. URL: www.esj.today/PDF/51SAVN518.pdf (date of treatment: 18.10.2021). (rus)

23. Chernykh D.S., Stroev D.A., Chernil'nik A.A., El'shaeva D.M., Zhrebtsov Yu.V., Dotsenko N.A. Dependence of the coefficients of strength and deformative variatropic efficiency of centrifuged concrete on the grain composition of a large aggregate. [Zavisimost' koeffitsiyentov prochnostnoy i deformativnoy variatropnoy effektivnosti tsentrifugirovannogo betona ot zernovogo sostava krupnogo zapolnitelya]. Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate. 2021. Vol. 11. No. 3. Pp. 470–479. (rus)

24. Nazhuev 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. [Vliyaniye retsepturnykh faktorov na prochnostnyye kharakteristiki bazal'tofibrobetonov]. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2021. No. 7. Pp. 24–32. (rus)

Information about the authors

Chernil'nik, Andrei A. Postgraduate student, Engineer. E-mail: chernila_a@mail.ru. Rostov State Transport University. Russian Federation, 344038, Rostov-on-Don, Rostovskogo Strelkovogo Polka Narodnogo Opolcheniya Square, 2; Don State Technical University. Russian Federation, 344003, Rostov-on-Don, Gagarin Square, 1.

Smachney, Vladislav Y. Master student. E-mail: diana.elshaeva@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, Yuriy 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.

Received 22.10.2021

Для цитирования:

Чернильник А.А., Смачный В.Ю., Ельшаева Д.М., Жеребцов Ю.В., Доценко Н.А. Влияние вида применяемых фибровых волокон на прочность и деформативность дисперсно-армированных облегченных бетонов // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2022. № 2. С. 20–29. DOI: 10.34031/2071-7318-2021-7-2-20-29

For citation:

Chernil'nik A.A., Smachney V.Yu., El'shaeva D.M., Zherebtsov Yu.V., Dotsenko N.A. Influence of the type of fibers used on the strength and deformation of dispersed-reinforced lightweight concrete. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2022. No. 2. Pp. 20–29. DOI: 10.34031/2071-7318-2021-7-2-20-29

DOI: 10.34031/2071-7318-2021-7-2-30-37

Серых И.Р., Чернышева Е.В., Гольцов А.Б.Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова***E-mail: inna_ad@mail.ru*

ОБСЛЕДОВАНИЕ НЕСУЩИХ КОНСТРУКЦИЙ ГЛАВНОГО КОРПУСА КОНСЕРВНОГО КОМБИНАТА

Аннотация. В рамках технического переоснащения главного корпуса консервного комбината возникла необходимость замены емкостного оборудования, в результате чего нагрузка на перекрытие первого этажа увеличилась на 40,5 тонн. В этой связи было проведено комплексное обследование несущих конструкций. Обнаруженные при обследовании дефекты и повреждения могут в дальнейшем в процессе эксплуатации привести к снижению несущей способности элементов каркаса, а, следовательно, и к физическому износу здания. Поэтому с учетом полученных результатов рекомендовано выполнить комплекс мер по восстановлению конструкций, пребывающих в ограниченно работоспособном состоянии.

Поверочный расчет несущих конструкций первого этажа в помещении восстановления выполнялся программным комплексом «ЛИРА-САПР», в основу которого положен метод конечных элементов. При определении усилий для монолитной безбалочной плиты учитывали наименее выгоднейшие комбинации загрузки. Самым опасным загружением в данном случае считается полосовая нагрузка, распределенная через весь пролет, и сплошная, когда давление распределяется по всей площади конструкции. Учитывая возможность одновременного разрушения надколонной и пролетной части перекрытия, расчет прочности последнего производился на полосовое разрушение.

На основании поверочного расчета с учетом текущего состояния строительных конструкций комбината, а также с учетом предполагаемого увеличения нагрузки на них, связанного с установкой нового технологического оборудования, можно сделать вывод о том, что несущая способность конструкций не обеспечена.

Ключевые слова: *пластический шарнир, безбалочное перекрытие, техническое состояние, оценка технического состояния конструкций, дефекты и повреждения.*

Введение. Как известно несущими конструкциями монолитного каркасного здания являются в основном колонны, перекрытия и фундаменты. Данная рамная конструкция способна воспринимать любые вертикальные и горизонтальные нагрузки, действующие на сооружение. С позиции требования технологии строительства и архитектуры проектируемого объекта перекрытия таких зданий чаще всего выполняются сплошными и плоскими. При этом толщина перекрытия принимается из условия жесткости и прочности на продавливание в месте ее опирания на колонны. Достаточно часто для снижения риска разрушения перекрытия в результате продавливания, а также для восприятия приопорных моментов от перекрытия в верхней части колонны устраиваются капители. Помимо вышесказанного их назначение заключается в обеспечении необходимой жесткости сопряжения перекрытия с колоннами в системе каркаса здания; увеличении прочности и жесткости перекрытия [1–11].

В рамках технического переоснащения главного корпуса консервного комбината возникла необходимость замены емкостного оборудования, в результате чего нагрузка на перекрытие первого этажа увеличилась на 40,5 тонн. В этой

связи было проведено комплексное обследование несущих конструкций, которое включало в себя в первую очередь оценку технического состояния здания в целом и отдельных конструкций в частности. Для этого был выполнен анализ конструктивного решения, определены действительные нагрузки с учетом новых условий эксплуатации, учтены выявленные в процессе обследования дефекты и повреждения, степень их опасности при дальнейшем развитии.

Обследование основных несущих конструкций комбината касалось отделения восстановления, расположенного на первом этаже здания площадью 259 м². Конструкция здания представляет собой комбинированную схему с безбалочным монолитным перекрытием. Причем высота сечения плиты составляет 445 мм, где основная несущая плита имеет толщину 230 мм и выполнена из керамзитобетона, армирована. Все остальные верхние слои подливались вероятно во время выполнения текущих ремонтных работ. Их общая толщина составляет 215 мм. Колонны сборные железобетонные квадратного поперечного сечения 500×500 мм с шагом 6×6 м. Стены – самонесущие кирпичные толщиной 510 мм. Пространственная жесткость каркаса обеспе-

чивается жестким диском перекрытия, что позволяет характеризовать данное конструктивное решение как функциональное и надежное.

Обследуемое промышленное здание – отапливаемое. Ограждающие конструкции здания (кровля и наружные стены) испытывают незначительное циклическое воздействие суточного и сезонного изменения температуры наружного воздуха. Кровля и, в меньшей степени, наружные поверхности стен подвергаются воздействию атмосферных осадков. Строительные конструкции подвергаются воздействию твердой среды в виде пыли, загрязняющей атмосферу и осаждающейся на наружных поверхностях конструкций. Перекрытия обследуемых помещений подвергаются ежедневному замачиванию, что связано со спецификой технологического процесса.

Методика проведения обследования. Программа работ включала в себя следующие этапы: ознакомление с исполнительной документацией; техническое освидетельствование строительных конструкций; контрольное измерение и инструментальная съемка; определение фактической прочности материалов несущих строительных конструкций и степени их коррозионного износа; анализ выявленных дефектов и причин их возникновения; оценка эксплуатационной надежности и пригодности конструкций к дальнейшей эксплуатации; составление отчетной документации; разработка рекомендаций по эксплуатации.

Оценка технического состояния строительных конструкций по внешним признакам производилась на основе следующих параметров: определение геометрических размеров конструкций и их сечений; сопоставление фактических размеров конструкций с проектными размерами; соответствие фактической статической схемы работы конструкций принятой при расчете; наличие трещин, механических повреждений, отколов и разрушений; месторасположение, характер трещин и ширина их раскрытия; состояние защитных покрытий; прогибы и деформации конструкций; признаки нарушения сцепления арматуры с бетоном; наличие разрывов арматуры; степень и характер коррозии арматуры, элементов и соединений [12–17].

В процессе обследования определение размеров выполнялось рулеткой, линейкой и штангенциркулем. Прочность материала строительных конструкций определялась полевым неразрушающим методом контроля. Установление дефектов и повреждений конструкций производилось визуально с выборочным вскрытием отдельных элементов.

Поверочный расчет несущих конструкций первого этажа в помещении восстановления выполнялся программным комплексом «ЛИРА-САПР», в основу которого положен метод конечных элементов.

Основная часть. При определении усилий для монолитной безбалочной плиты учитывали наименее выгодные комбинации загрузки. Самым опасным нагружением в данном случае считается полосовая нагрузка, распределенная через весь пролет, и сплошная, когда давление распределяется по всей площади конструкции. В случае воздействия полосовой нагрузки в предельном состоянии образуются три линейных шарнира, соединяющих элементы в точках излома. В самих пролетах шарниры будут возникать по оси нагруженных конструкций, поэтому трещины образуются снизу перекрытия. Вблизи опор шарниры образуются на некотором расстоянии от оси колонн. Оно зависит от размеров и конфигурации капителей. Поэтому образование трещин наблюдается сверху. На наружных участках при условии опирания на стену образуется два пластических шарнира в пролете и рядом с опорой вблизи первого промежуточного ряда колонн. В случае сплошного нагружения появляются линейные пластические шарниры, которые будут взаимно перпендикулярны и параллельны рядам колонн. Они образуются в средних плитах, а трещинообразование при этом происходит снизу. Возникающие пластические шарниры разбивают каждую условную панель на четыре элемента, вращающихся вокруг данных опорных пластических шарниров с осями в зоне капителей, которые расположены под углом 45° относительно ряда колонн. Раскрытие трещин в средних панелях над шарнирами происходит вверх, а по линиям колонн трещины проходят по всей толщине перекрытия.

Учитывая возможность одновременного разрушения надколонной и пролетной части перекрытия, расчет прочности последнего производился на полосовое разрушение. Схема нагружения представлена на рис. 1, расчетная схема – на рис. 2. Несущая способность определялась по наибольшему значению (рис. 3, 4). Колонны рассчитывались на продавливание, на внецентренное и косое внецентренное сжатие.

Как видно, наиболее нагруженными являются участки в области капителей в четвертом и пятом пролете, что связано с увеличением нагрузки в этой зоне. Расчеты показали, что прочность в этом случае не обеспечивается. Перенапряжение составляет около 10 %.

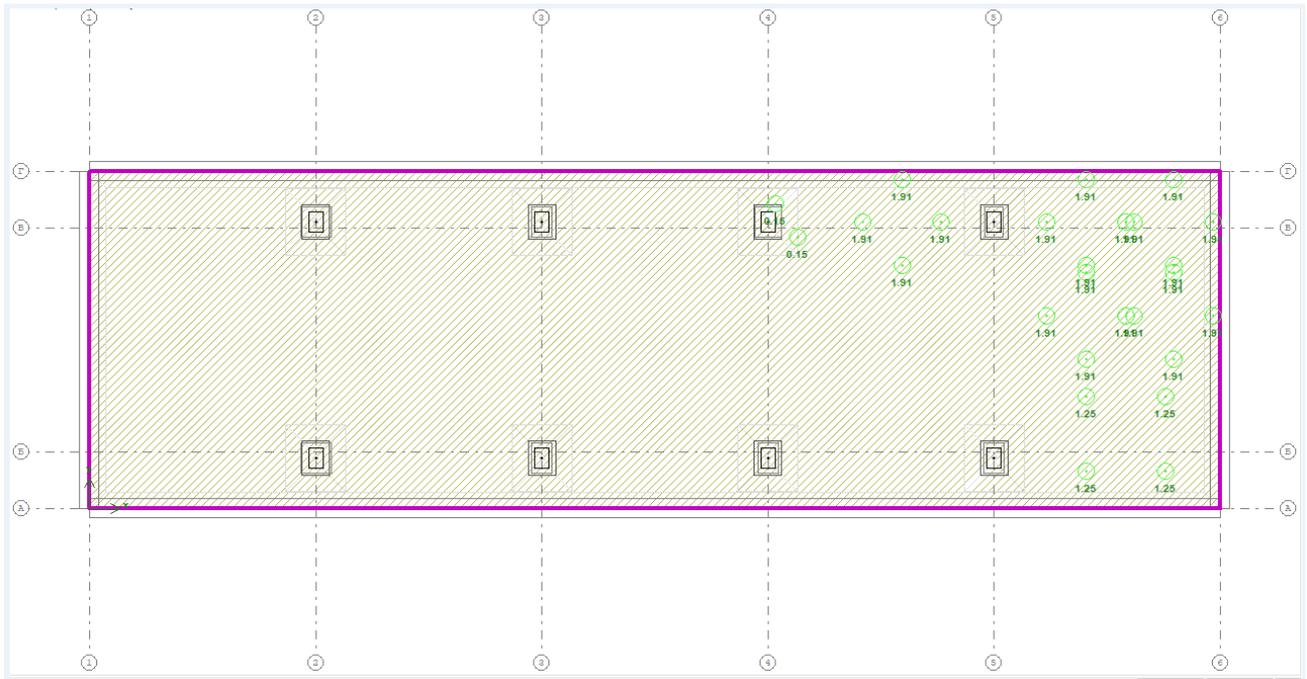


Рис. 1. Схема точечного приложения усилий

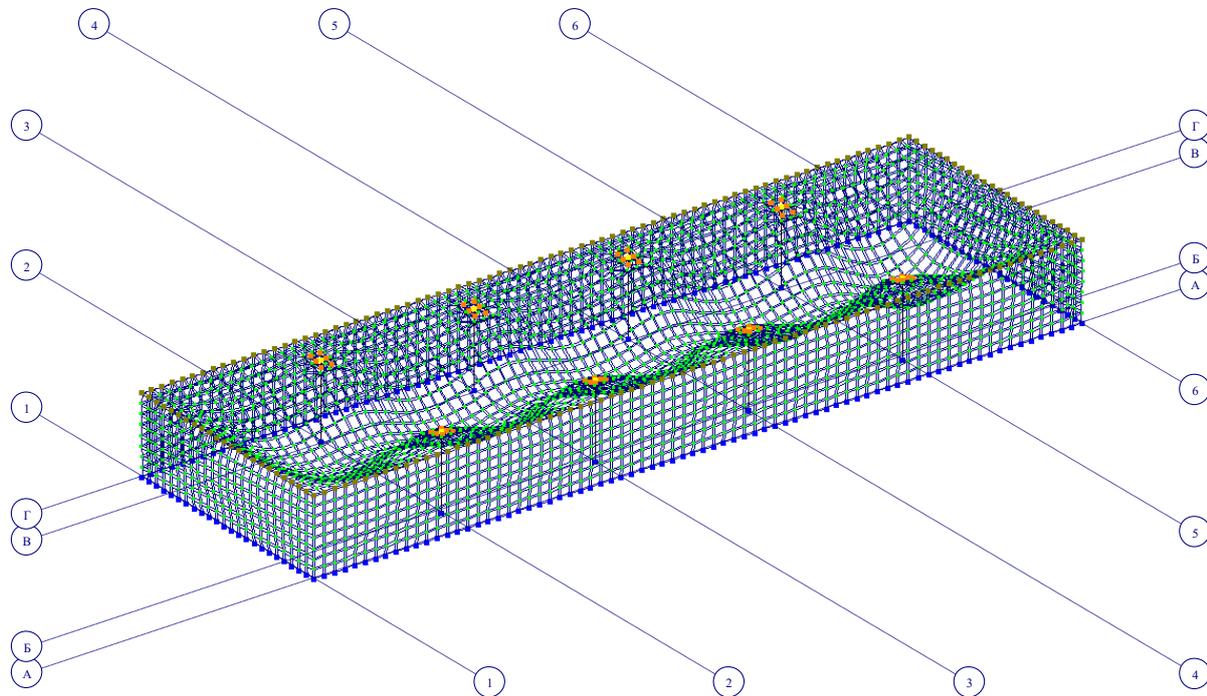


Рис. 2. Расчетная схема

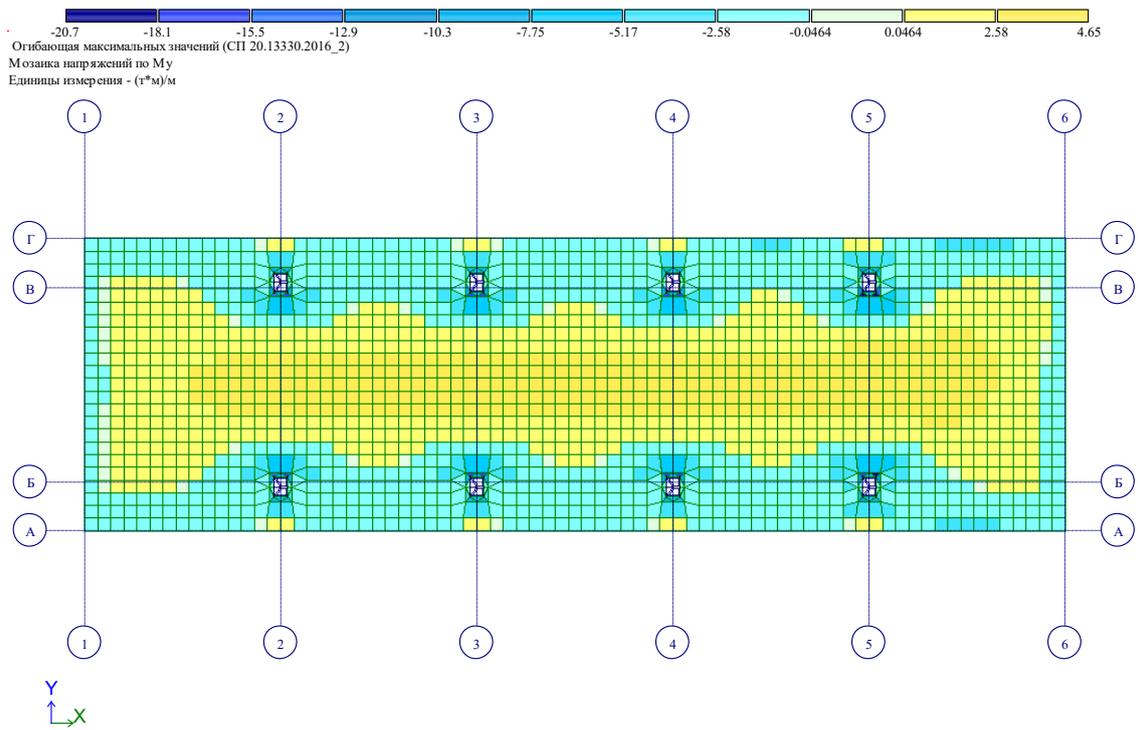


Рис. 3. Картина изгибающих моментов M_y

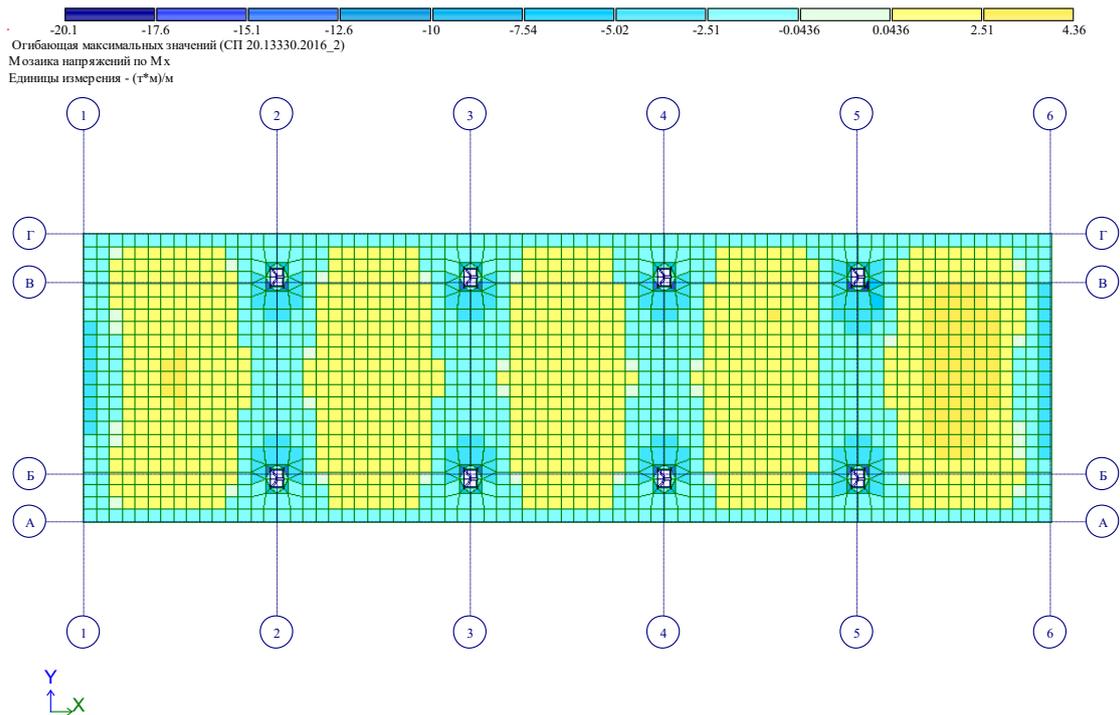


Рис. 4. Картина изгибающих моментов M_x

При проверке планировочного и конструктивного решения здания, его основных размеров в плане и по высоте было установлено, что они соответствуют обмерным чертежам технического паспорта. Виды строительных конструкций, а также размеры их поперечных сечений применены на основании требований проекта с отклонением в пределах разрешенных допусков. В целом, планировочное и конструктивное решения удовлетворяют технологическим.

В качестве основных конструкций и материалов использованы надежные и долговечные, что обеспечило удовлетворительную эксплуатацию здания в процессе прошедшего периода. В то же время при обследовании, в отдельных конструкциях и элементах были выявлены дефекты и повреждения, к числу которых относятся: трещины в защитном слое, отколы, разрушения кислотоупорной плитки, разрушения защитного слоя бетона колонн, оголение арматуры.

Визуальным обследованием колонн зафиксировано отсутствие деформаций, свидетельствующих о силовом разрушении бетона. Однако имеются поверхностные разрушения защитного слоя бетона и частичное оголение арматуры (рис. 5).

Не смотря на повреждения результаты опытного определения прочности бетона колонн позволяют сделать вывод об их достаточной несущей способности на эксплуатационные нагрузки,

соответствующие функциональному назначению здания, хотя и без ощутимого запаса прочности.

Обследование помещений показало, что конструкция пола находится в ограниченно работоспособном состоянии. Бетонное покрытие пола находится в неудовлетворительном состоянии – оно просело, образовались трещины. По изъятым кернам было выявлено замачивание верхних слоев пола, отсутствие гидроизоляции (рис. 5).



Рис. 5. Состояние пола (слева) и колонны (справа)

Обследование стен толщиной 510 мм показало, что они выполнены из керамического рядового полнотелого кирпича. Их состояние удовлетворительное (работоспособное), они могут эксплуатироваться по назначению.

В помещении отгрузки второго этажа выявлены деформации дверного проема в месте установки перемычки, к которой крепится кранбалка. Состояние данного участка стены является ограниченно работоспособным, нуждается в усилении.

Выводы. Обнаруженные при обследовании дефекты и повреждения могут в дальнейшем в процессе эксплуатации привести к снижению несущей способности элементов каркаса, а, следовательно, и к физическому износу здания. Поэтому с учетом полученных результатов необходимо выполнить комплекс мер по восстановлению конструкций, пребывающих в ограниченно работоспособном состоянии.

Рекомендуется демонтировать дефектное бетонное покрытие пола толщиной ориентировочно до 150 мм. Выполнить новое усиленное покрытие пола, предусмотрев дополнительное армирование на месте опирания технологического оборудования.

С учетом технологического процесса рекомендовано предусмотреть мероприятия по гидроизоляции конструкции перекрытия.

Необходимо выполнить усиление проема в помещении отгрузки второго этажа по разработанному проекту

На основании поверочного расчета, выполненного программным комплексом «ЛИРА-САПР», с учетом текущего состояния строительных конструкций комбината, а также с учетом предполагаемого увеличения нагрузки на них, связанного с установкой нового технологического оборудования, можно сделать вывод о том, что несущая способность конструкций не обеспечена. Согласно выполненным программным расчетам наибольший прогиб, определяемый исходя из схемы излома перекрытия при длительном действии нагрузки, превышает допустимый 1/200. Необходимо выполнить усиление по разработанному проекту.

Все работы по капитальному ремонту следует вести силами строительной организации, имеющей соответствующие допуски, при строгом соблюдении правил пожарной безопасности и техники безопасности при производстве работ на объекте.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Шарипов Л.Ш., Муминов И.С. Безбалочное перекрытие для строительства многоэтажных зданий из монолитного железобетона // Вестник Таджикского технического университета. 2014. № 4 (28). С. 107–110.

2. Кремнев В.А., Кузнецов В.С., Талызов Ю.А. Расчет прочности на продавливание плиты безбалочного безкапитального перекрытия // Вестник МГСУ. 2014. № 10. С. 34–40.
3. Дехтярь А.С. Проектирование безбалочных перекрытий // Строительная механика и расчет сооружений. 2018. № 2 (277). С. 9–12.
4. Смоляго Г.А., Дрокин С.В., Дронов В.В., Белоусов А.П., Пушкин С.А., Широкий В.В., Смоляго Е.Г. Реконструкция сборных железобетонных безбалочных перекрытий // Строительство и реконструкция. 2019. № 2 (82). С. 116–122.
5. Свинцов А.П., Малов А.Н., Николенко Ю.В., Ганин А.А. Безбалочные железобетонные перекрытия: особенности конструкции и технологии возведения // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. 2009. № 2. С. 74–80.
6. Смоляго Г.А., Дрокин С.В., Дронов В.В., Пушкин С.А., Смоляго Е.Г. Оценка остаточного ресурса несущей способности сборных железобетонных перекрытий // Известия Юго-западного государственного университета. 2016. № 6. С. 66–73.
7. Кузнецов В.С., Шапошникова Ю.А. К определению напряженно-деформированного состояния безбалочного перекрытия со смешанным армированием // Промышленное и гражданское строительство. 2016. № 2. С. 54–57.
8. Кочерженко В.В., Сулейманова Л.А., Солодов Н.В. Инновационная технология возведения многоэтажного каркасно-монолитного здания и ее влияние на формирование команды проекта // Управление проектами: идеи, ценности, решения. Материалы I Международной научно-практической конференции. 2019. С. 59–65.
9. Смоляго Г.А., Дрокин С.В., Дронов В.В., Белоусов А.П., Пушкин С.А., Смоляго Е.Г. Техническое состояние сборных балочных перекрытий с применением керамзитобетонных пустотных плит // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2019. № 11. С. 35–42.
10. Смоляго Г.А., Дрокин С.В., Дронов В.В., Белоусов А.П., Пушкин С.А., Широкий В.В., Смоляго Е.Г. Реконструкция сборных железобетонных безбалочных перекрытий // Строительство и реконструкция. 2019. № 2 (82). С. 116–122.
11. Смоляго Г.А., Дрокин С.В., Дронов В.В., Белоусов А.П., Смоляго Е.Г. Конструктивная безопасность монолитных железобетонных перекрытий по несущей способности и деформативности // Строительство и реконструкция. 2019. № 4 (84). С. 83–92.
12. Рекомендации по оценке надежности строительных конструкций зданий и сооружений по внешним признакам. М.: ЦНИИПромзданий, 2001.
13. Отчет № 01-02/ от 10.03.2021 г. Оценка несущей способности конструкций главного корпуса Волоконовского консервного комбината (отделения восстановления), 2021. 60 с.
14. Дегтярь А.Н., Серых И.Р., Панченко Л.А., Чернышева Е.В. Остаточный ресурс конструкций зданий и сооружений // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2017. № 10. С. 94–97.
15. Serykh I. R., Chernysheva E. V., Degtyar A. N. Inspection of sugar factory brick wall // Innovations and Technologies in Construction (BUILD-INTECH BIT 2021). Journal of Physics: Conference Series. 1926(2021)012006. С. 012006. DOI: 10.1088/1742-6596/1926/1/012006.
16. Serykh I. R., Chernysheva E. V., Degtyar A. N. Examination of the Safety of the Centrifuge Site of a Sugar Factory in the Belgorod Region in Order to Assess the Technical Condition of Structures // Lecture Notes in Civil Engineering. 2020. Vol. 95. P. 92–99. DOI:10.1007/978-3-030-54652-6_14.
17. Юрьев А.Г., Панченко Л.А., Серых И.Р., Чернышева Е.В. Оптимизация структуры пола промышленного здания // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2020. Т. 5. № 7. С. 26–32. DOI: 10.34031/2071-7318-2020-5-7-26-32.

Информация об авторах:

Серых Инна Робертовна, кандидат технических наук, доцент кафедры теоретической механики и сопротивления материалов. E-mail: seryh.ir@bstu.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Чернышева Елена Владимировна, кандидат технических наук, доцент кафедры стандартизации и управления качеством. E-mail: bellena_74@mail.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Гольцов Александр Борисович, кандидат технических наук, доцент кафедры теплогазоснабжения и вентиляции. E-mail: abgolcov@gmail.com. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Поступила 13.10.2021 г.

© Серых И.Р., Чернышева Е.В., Гольцов А.Б., 2022

***Serykh I.R., Chernyshova E.V., Goltsov A.B.**

Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov

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

INSPECTION OF LOAD-BEARING STRUCTURES OF THE MAIN BUILDING OF THE CANNING FACTORY

Abstract. *Within technical re-equipment of the main building of canning plant there was a need of replacement of the capacitive equipment therefore load of overlapping of the first floor increased by 40.5 tons. In this regard, a comprehensive survey of structural structures was carried out. Defects and damages detected during the examination can in the future during operation lead to a decrease in the bearing capacity of the frame elements, and therefore to physical wear of the building. Therefore, taking into account the results obtained, it was recommended to implement a set of measures to restore structures that were in a limited working condition.*

The check calculation of the structural structures of the first floor in the restoration room was carried out by the LIRA-CAD software complex, which is based on the method of co-engineering elements. When determining the forces for a monolithic beam-free plate, the most suitable loading combinations were taken into account. The most dangerous load in this case is considered to be the band load distributed over the entire span, and continuous when the pressure is distributed over the entire area of the structure. Considering the possibility of simultaneous collapse of the above column and span part of the floor, the calculation of the strength of the latter was carried out for strip destruction.

Based on the verification calculation taking into account the current state of the mill's construction structures, as well as taking into account the expected increase in the load on them associated with the installation of new technological equipment, it can be concluded that the load-bearing capacity of the structures is not provided.

Keywords: *plastic hinge, beam-free flooring, technical condition, assessment of technical condition of structures, defects and damage.*

REFERENCES

1. Sharipov L.Sh., Muminov I.S. Beam-free floor for the construction of multi-storey buildings made of monolithic reinforced concrete [Bezbalochnoe perekry'tie dlya stroitel'stva mnogoe'tazhny'x zdaniy iz monolitnogo zhelezobeta]. Bulletin of Tajik Technical University. 2014. No. 4 (28). Pp. 107–110. (rus)

2. Kremnev V.A., Kuznetsov V.S., Talyzov Yu.A. Calculation of the pressing strength of the slab of a beam-free capital-free floor [Raschet prochnosti na prodavlivanie plity' bezbalochnogo bezkapitel'nogo perekry'tiya]. Vestnik MGSU. 2014. No. 10. Pp. 34–40. (rus)

3. Dekhtyar A.S. Design of beam-free floors [Proektirovanie bezbalochny'x perekry'tij]. Construction mechanics and the number of structures. 2018. No. 2 (277). Pp. 9–12. (rus)

4. Smolyago G.A., Drokin S.V., Dronov V.V., Belousov A.P., Pushkin S.A., Shirokaya V.V., Smolyago E.G. Reconstruction of prefabricated reinforced concrete beam-free floors [Rekonstrukciya sborny'x zhelezobetonny'x bezbalochny'x perekry'tij]. Construction and reconstruction. 2019. No. 2 (82). Pp. 116–122. (rus)

5. Svintsov A.P., Malov A.N., Nikolenko Yu.V., Ganin A.A. Beam-free reinforced concrete floors: structural features and construction technologies [Bezbalochny'e zhelezobetonny'e perekry'tiya: osobennosti konstrukcii i texnologii vozvedeniya].

Construction mechanics of engineering structures and structures. 2009. No. 2. Pp. 74–80. (rus)

6. Smolyago G.A., Drokin S.V., Dronov V.V., Pushkin S.A., Smolyago E.G. Assessment of residual resource of bearing capacity of precast reinforced concrete floors [Ocenka ostatochnogo resursa nesushhej sposobnosti sborny'x zhelezobetonny'x perekry'tij]. News of Southwestern State University. 2016. No 6. Pp. 66–73. (rus)

7. Kuznetsov V.S., Shaposhnikova Y.A. To the definition of a stressed-deformed co-standing of a beam-free floor with mixed reinforcement [K opredeleniyu napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya bezbalochnogo perekry'tiya so smeshanny'm armirovaniem]. Industrial and citizen-quick construction. 2016. No. 2. Pp. 54–57. (rus)

8. Kocherzhenko V.V., Suleymanova L.A., Solodov N.V. Innovative technology for the construction of a multi-storey frame-monolithic building and its influence on the formation of a project team [Innovacionnaya texnologiya vozvedeniya mnogoe'tazhnogo karkasno-monolitnogo zdaniya i ee vliyanie na formirovanie komandy' proekta]. Project management: ideas, values, solutions. Proceedings of the I International Scientific and Practical Conference. 2019. Pp. 59–65. (rus)

9. Smolyago G.A., Drokin S.V., Dronov V.V., Belousov A.P., Pushkin S.A., Smolyago E.G. Technical condition of prefabricated beam floors using ceramic concrete pu-hundred slabs [Texnicheskoe

sostoyanie sborny`x balochny`x perekry`tij s primeneniem keramzitobetonny`x pustotny`x plit]. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2019. No. 11. Pp. 35–42. (rus)

10. Smolyago G.A., Drokin S.V., Dronov V.V., Belousov A.P., Pushkin S.A., Shirokaya V.V., Smolyago E.G. Reconstruction of prefabricated reinforced concrete beam-free floors [Rekonstrukciya sborny`x zhelezobetonny`x bezbalochny`x perekry`tij]. Construction and reconstruction.. 2019. No. 2 (82). Pp. 116–122. (rus)

11. Smolyago G.A., Drokin S.V., Dronov V.V., Belousov A.P., Smolyago E.G. Structural safety of monolithic reinforced concrete floors in bearing capacity and deformability [Konstruktivnaya bezopasnost` monolitny`x zhelezobetonny`x perekry`tij po nesushhej sposobnosti i deformativnosti]. Construction and reconstruction. 2019. No. 4 (84). Pp. 83–92. (rus)

12. Recommendations for evaluation of reliability of building structures of buildings and structures by appearance. [Rekomendacii po ocenke nadezhnosti stroitel`ny`x konstrukcij zdaniy i sooruzhenij po vneshnim priznakam]. M.: Tsniipromzdany, 2001. (rus)

13. Report No 01-02 dated 10.03.2021 y. Assessment of the bearing capacity of the structures of the main building of the Volokonovsky canning room (restoration department) [Ocenka nesushhej

sposobnosti konstrukcij glavnogo korpusa Volokonovskogo konservnogo kombinata (otdeleniya vosstanovleniya)], 2021. 60 p. (rus)

14. Degtyar A.N., Serykh I.R., Panchenko L.A., Chernysheva E.V. Residual life of structures of buildings and structures. [Ostatochny`j resurs konstrukcij zdaniy i sooruzhenij]. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2017. No. 10. Pp. 94–97. (rus)

15. Serykh I. R., Chernysheva E. V., Degtyar A. N. Inspection of sugar factory brick wall. Innovations and Technologies in Construction (BUILD-INTECH BIT 2021). Journal of Physics: Conference Series. 1926(2021)012006. P. 012006. DOI: 10.1088/1742-6596/1926/1/012006.

16. Serykh I. R., Chernysheva E. V., Degtyar A. N. Examination of the Safety of the Centrifuge Site of a Sugar Factory in the Belgorod Region in Order to Assess the Technical Condition of Structures. Lecture Notes in Civil Engineering. 2020. Vol. 95. Pp. 92–99. DOI:10.1007/978-3-030-54652-6_14.

17. Yuryev A.G., Panchenko L.A., Serykh I. R., Chernysheva E. V. Optimizing the floor structure of an industrial building [Optimizaciya struktury` pola promy`shlennogo zdaniya]. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2020. Vol. 5. No 7. Pp. 26–32. DOI: 10.34031/2071-7318-2020-5-7-26-32. (rus)

Information about the authors

Serykh, Inna R. PhD, Assistant professor. E-mail: inna_ad@mail.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Chernyshova, Elena V. PhD, Assistant professor. E-mail: bellena_74@mail.ru Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Goltsov, Alexander B. PhD, Assistant professor. E-mail: abgolcov@gmail.com Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Received 13.10.2021

Для цитирования:

Серых И.Р., Чернышева Е.В., Гольцов А.Б. Обследование несущих конструкций главного корпуса консервного комбината // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2022. № 2. С. 30–37. DOI: 10.34031/2071-7318-2021-7-2-30-37

For citation:

Serykh I.R., Chernyshova E.V., Goltsov A.B. Inspection of load-bearing structures of the main building of the canning factory. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2022. No. 2. Pp. 30–37. DOI: 10.34031/2071-7318-2021-7-2-30-37

DOI: 10.34031/2071-7318-2021-7-2-38-46

Абрамкина Д.В.

Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет

E-mail: dabramkina@ya.ru

ОБОСНОВАНИЕ ГРАНИЦ РЕЖИМОВ РАБОТЫ СИСТЕМ ГИБРИДНОЙ ВЕНТИЛЯЦИИ

Аннотация. В статье представлены результаты теоретического исследования существующих терминов гибридной вентиляции. Составлена классификация стратегий функционирования гибридных систем вентиляции, включающих в себя одновременный и попеременный режим работы. К одновременному режиму работы относятся случаи совместного использования систем механической и естественной вентиляции, например, при организации естественного притока и удалением загрязненного воздуха из помещения с помощью осевых крышных вентиляторов; механические системы, оборудованные низконапорными вентиляторами, используемые совместно с технологиями, направленными на увеличение естественного давления (тепловое и ветровое побуждение). К попеременному режиму относятся: сезонная работа, ночное охлаждение и местная попеременная работа. Анализ климатических характеристик, выполненный на основе данных метеорологической станции № 27612 (г. Москва, ВДНХ), показывает, что средняя температура наружного воздуха большую часть года превышает расчетную для проектирования систем естественной вентиляции. Значения среднегодовых коэффициентов обеспеченности воздухообмена для периода с 2016 по 2020 гг. составляют менее 50 %, что доказывает необходимость применения гибридных систем вентиляции сезонной работы. На основе расчётов среднемесячных коэффициентов обеспеченности воздухообмена был сделан вывод, что в период с марта по ноябрь включительно, рекомендуется использовать механическое побуждение.

Ключевые слова: гибридная вентиляция, естественная вентиляция, коэффициент обеспеченности воздухообмена, тепловое побуждение, ветровое побуждение

Введение. Стратегии функционирования систем гибридной вентиляции. Потребление энергии зданиями составляет около 40% от общего объема мирового расхода энергетических ресурсов. Таким образом, минимизация энергопотребления зданий имеет значительный потенциал. Проектирование современного здания подразумевает комплексный подход, включающий в себя создание устойчивой архитектуры: разработку оптимальной конструкции и планировки, внедрение модулярности, мобильности и гибкости отдельных элементов объекта, применение экологичных материалов и энергоэффективных технологий, позволяющих создать качественную внутреннюю среду [1]. Главная задача инженеров – найти оптимальное решение, при котором в здании будут обеспечены комфортные параметры микроклимата в помещениях при минимальных затратах энергии [2].

Согласно СП 60.13330.2020, в жилых зданиях необходимо предусматривать механическую вентиляцию или гибридные системы, если параметры и качество внутреннего воздуха невозможно обеспечить естественной вентиляцией.

Гибридная вентиляция представляет собой систему, сочетающую в себе эффективную комбинацию технологий механической и естествен-

ной вентиляции. В зарубежной научно-технической литературе равноценно используются два термина: «hybrid ventilation», который был сформулирован в рамках международного исследовательского проекта HubVent [3] и «mixed-mode ventilation», используемый в руководстве Application Manual 13 CIBSE [4]. Гибридные системы вентиляции подходят, как и для проектирования новых зданий, так и для переоборудования и реконструкции существующих старых зданий с естественной вентиляцией.

В публикации CIBSE [4] выделено несколько режимов работы систем гибридной вентиляции:

1. Одновременная работа – системы механической и естественной вентиляции работают параллельно. Примером данного случая может являться помещение, обслуживаемое сбалансированной системой механической вентиляции, где в дополнение могут открываться окна.

2. Попеременная работа – системы механической и естественной вентиляции используются в зависимости от потребностей, их работа не является совместной.

Существует несколько стратегий попеременной работы [4]:

1. Сезонная работа представляет собой режим, при котором помещение часть года обслуживается системой естественной вентиляции, часть года – механической.

2. Ночное охлаждение, при котором в дневное время используется вентиляция с механическим побуждением, а в ночной период организуется естественное проветривание, позволяющее снизить температуру внутреннего воздуха и ограждающих конструкций помещения. Способность аккумулирования холода в поверхностном слое оборудования и конструкции здания позволяет снизить энергопотребление в дневное время [5, 6]. Такая стратегия эффективна для регионов со значительной амплитудой температур наружного воздуха в течение суток.

3. Местная попеременная работа, примером которой является помещение, оборудованное оконными датчиками, гарантирующими отключение механических систем вентиляции и кондиционирования воздуха при осуществлении естественного проветривания.

В классификации принципов функционирования гибридных систем вентиляции, разработанной CIBSE не включено понятие совместного использования естественного и механического побуждения в одной системе. Более подробно подобные случаи представлены в научно-исследовательском проекте HübVent. В публикации [3] так же отмечается, что основным отличием гибридных систем является то, что они оснащены умной системой управления, которая в автоматическом режиме осуществляет выбор между естественным и механическим режимом для минимизации энергопотребления. В проекте HübVent сформулированы следующие стратегии организации работы систем гибридной вентиляции:

1. Альтернативный режим работы. В здании используются две автономные системы механической и естественной вентиляции, с автоматическим переключением их режима работы. Например, при использовании механических систем вентиляции в период пиковых нагрузок, а естественной – в остальное время. В качестве примера можно привести здание Liberty Tower в Токио, Япония [7]. Данный принцип функционирования систем можно отнести к сезонному попеременному режиму работы.

2. Система естественной вентиляции, которая в период сложных климатических условий или особых требований к качеству внутреннего воздуха, увеличивает располагаемое давление с помощью вспомогательного вентилятора. В данном случае система естественной вентиляции большую часть года обеспечивает поддержание

нормируемых параметров внутреннего микроклимата в помещении, например, с помощью сквозного проветривания. Во время безветренной погоды происходит автоматическое включение вентилятора. Подобный режим функционирования системы является частным случаем одновременной работы, который был применён в штаб-квартире Bang & Olufsen в Струере, Дания [8].

3. Механическая система вентиляции с тепловым или ветровым побуждением. В рассматриваемом случае в здании проектируется сбалансированная система механической вентиляции с рекуперацией теплоты. Из-за относительно высокого аэродинамического сопротивления вентиляционной сети, в данном случае необходима установка достаточного мощных вентиляторов. Требуемое давление вентилятора, и как следствие энергопотребление системы, может быть снижено за счёт использования естественного давления, формирующегося за счёт теплового или ветрового побуждения. Кроме того, некоторую часть года в здании может быть использована исключительно гравитационная система вентиляции, как в здании Методистской начальной школы в г. Гронг, Норвегия [9]. Данный принцип функционирования систем можно так же отнести к частному случаю одновременного режима работы.

Однако ряд учёных рекомендуют выделять в отдельную группу системы, использующие совместно естественное и механическое побуждение. Т. Кливленом было предложено понятие «смешанных систем» [10]. Более подробно такие случаи рассмотрены в работе [11].

В статье рассматривается наиболее распространённая схема работы гибридной вентиляции, применяемой в жилищном строительстве в РФ: система с организацией естественного притока через оконные клапаны и удалением загрязнённого воздуха с помощью крышных осевых вентиляторов, оборудованных частотными преобразователями [12]. Подобная система может быть использована при реконструкции существующих зданий.

Автоматический контроль систем гибридной вентиляции. Системы автоматического управления режимами работы систем гибридной вентиляции являются ключевым моментом в организации комфортной внутренней среды в помещении. Они должны обеспечивать оптимальный переход от естественного к механическому побуждению, осуществлять контроль требуемого расхода воздуха и параметров внутреннего микроклимата, что особенно важно при режиме естественной вентиляции. Существуют

две стратегии управления расходом воздуха в системах гибридной вентиляции жилого здания:

1. Пространственная стратегия, которая тесно связана с проектированием системы и должна рассматриваться на ранней стадии проектирования. Наружный воздух поступает в квартиру через жилые комнаты, удаление загрязнённого воздуха осуществляется через санитарный узел и кухню, при этом осуществляется контроль обеспечения расхода вытяжного воздуха. Подобная стратегия обладает двумя существенными недостатками, заключающимся в повышенном расходе приточного воздуха в жилых помещениях в периоды пиковых нагрузок в ванной комнате и кухне и отсутствием контроля загрязняющих веществ во всех обслуживаемых помещениях.

2. Временная стратегия, которая может быть связана, с одной стороны, с присутствием жильцов и выбросами загрязняющих веществ в результате их метаболизма и/или деятельности и, с другой стороны, с климатическими условиями. Управление системой вентиляции может осуществляться с помощью датчиков движения или включения света, по установленному времени, датчиков температуры, углекислого газа или относительной влажности наружного или внутреннего воздуха, а также датчиков скорости и направления ветра.

Наиболее сложным вопросом в организации автоматического контроля системы вентиляции является взаимодействие с жильцами. На стадии проектирования достаточно трудно предсказать приоритеты конечного потребителя, которые могут варьироваться как от одного жильца к другому, так и изменяться по времени для одного и того же человека. Например, некоторые люди могут быть действительно заинтересованы в экономии энергии, а некоторые предпочитают более комфортный внутренний микроклимат, даже если он требует большего энергии и является весьма дорогостоящим. Поэтому проведение исследований, связанных с разработкой персонализированных систем вентиляции являются актуальной научной задачей.

Методы и материалы исследования. Методика определения фактических воздухообменов канальных систем естественной вентиляции представлена в [13].

Для определения границ работы систем с естественным побуждением и обоснования выбора режима работы гибридной вентиляции, проводятся расчеты коэффициентов обеспеченности воздухообмена, n_L [14]:

$$n_L = \frac{n^+}{n^+ + n^-} \cdot 100\%, \quad (1)$$

где n^+ – число результатов расчета, для случаев, когда фактический воздухообмен L_{ϕ} , м³/ч, был больше или равен нормативному воздухообмену L_n , м³/ч; n^- – число результатов расчета, для случаев, когда фактический воздухообмен L_{ϕ} , м³/ч, был меньше нормативного L_n , м³/ч.

Для всего периода эксплуатации систем должно быть соблюдено следующее условие [13]:

$$n_L \geq 95\%. \quad (2)$$

Как показывают результаты расчётов, приведенных в [14], учет ветрового давления уменьшает значение коэффициента обеспеченности воздухообмена, поэтому в данном исследовании фактический воздухообмен определялся с учётом только гравитационного давления. Коэффициенты обеспеченности воздухообмена определялись для квартир, оборудованных электрическими плитами.

Результаты и их анализ. Канальные системы естественной вентиляции рассчитываются на разность плотностей наружного воздуха при температуре $t_n = 5$ °С и внутреннего воздуха при температуре в холодный период года. Принимается, что при данных условиях системы вентиляции с естественным побуждением в полной мере обеспечивают требуемый воздухообмен в помещении. На рис. 1 представлены графики годового хода температуры наружного воздуха за последние 5 лет (с 2016 по 2020 гг.), построенные по результатам наблюдений метеорологической станции № 27612 (г. Москва, ВДНХ).

Анализ климатических характеристик г. Москвы показывает, что средняя температура наружного воздуха большую часть года превышает расчетную для проектирования систем естественной вентиляции, что так же подтверждают результаты исследования [15].

По данным Всемирной метеорологической организации [16], средние значения температур за последние пятилетний (с 2016 по 2020 гг.) и десятилетний (с 2011 по 2020 гг.) периоды достигли максимальных значений за всю историю проведения метеорологических наблюдений. 2016 год занимает первое место по максимальной глобальной температуре воздуха в большинстве исследованных комплектов данных. Высокие температуры наружного воздуха и продолжительные тепловые волны за последние годы установили рекорды во многих странах, вызывая значительный спрос на системы кондиционирования воздуха, что так же приводит к необходимости использования гибридных систем.

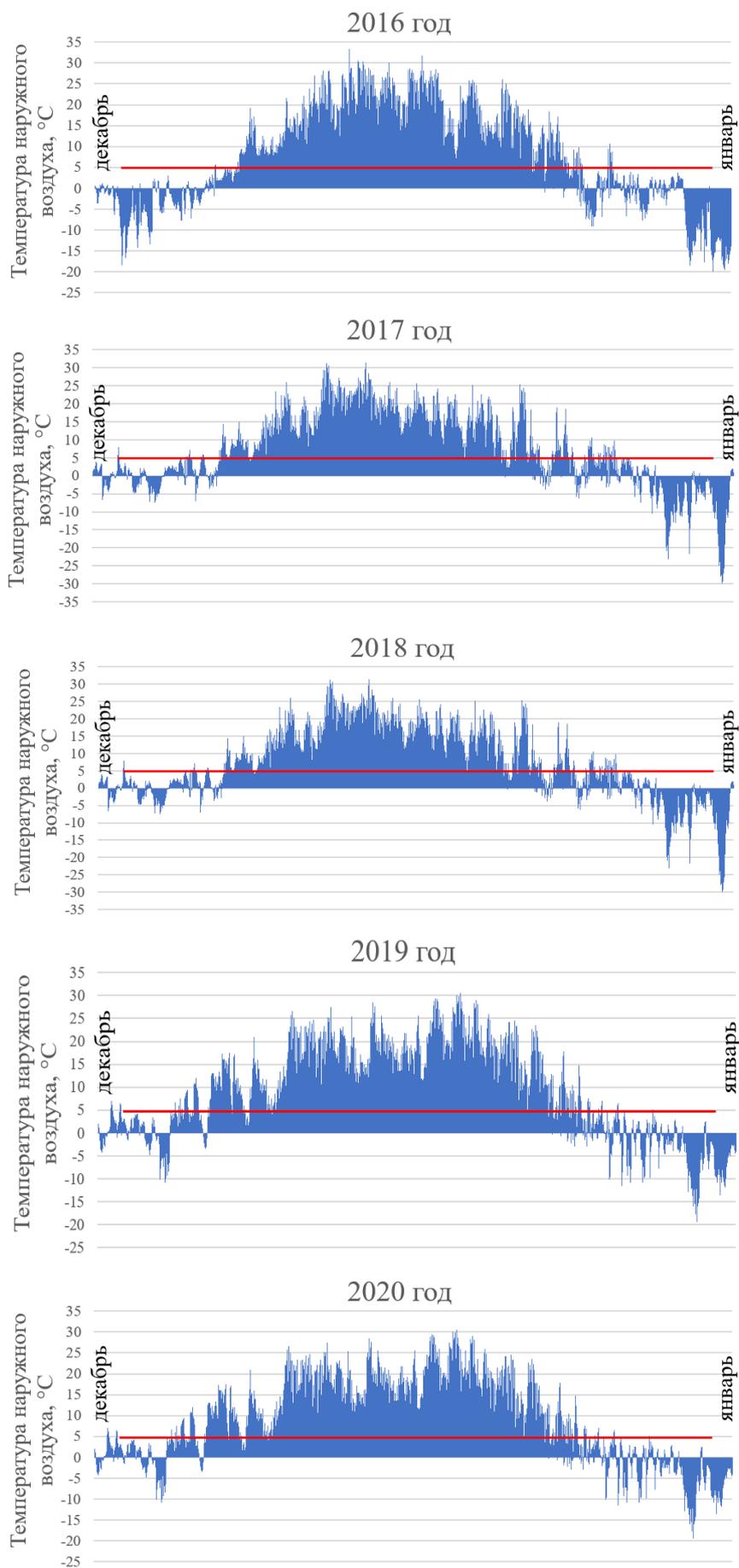


Рис. 1. Динамика температуры наружного воздуха в г. Москве по данным Агрометеорологической станции ВДНХ

По оценке Росгидромета [17], климат России характеризуется значительным потеплением, скорость которого значительно превосходит среднюю по всему земному шару. Среднее увеличение температуры воздуха с 1976 по 2020 гг. составляет 0,51 °С за десятилетие. Тенденция мировых изменений климата сохраняется и на территории нашей страны: последние шесть лет (с 2015 по 2020 гг.) названы самыми тёплыми с

начала инструментальных наблюдений в тропосфере Северного полушария. При этом 2020 год стал третьим самым тёплым годом за весь период наблюдений. Повышение температур в РФ стабильно наблюдается во все сезоны.

На рис. 2 представлены результаты расчетов среднегодовых коэффициентов обеспеченности воздухообмена, определенных на основе фактических температур наружного воздуха.

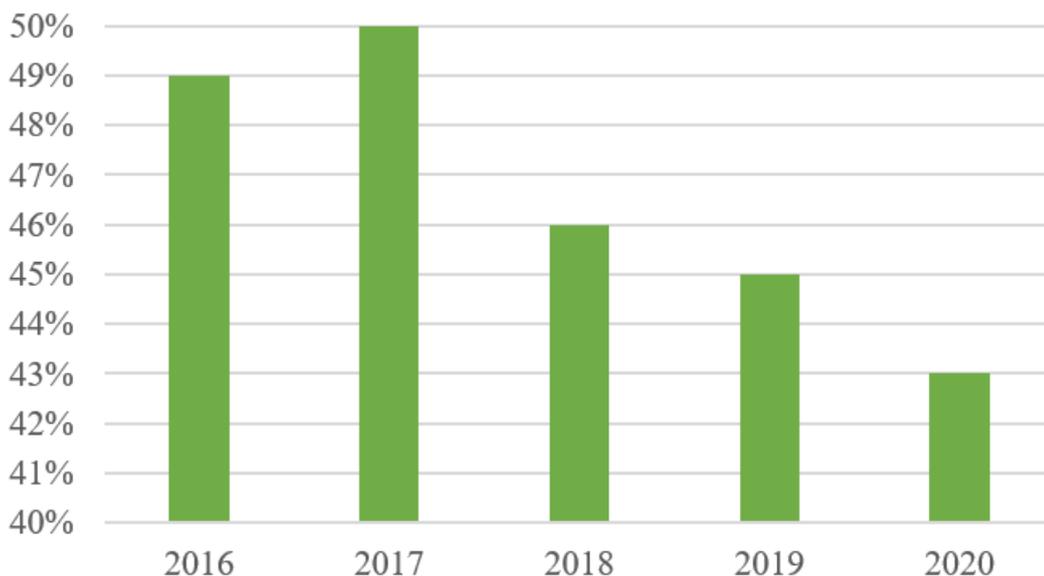


Рис. 2. Среднегодовые коэффициенты обеспеченности воздухообмена

На основе полученных результатов расчёта среднегодовых коэффициентов n_L можно сделать вывод, что системы естественной вентиляции не обеспечивают требуемые параметры внутреннего микроклимата и качества воздуха в помещениях.

Для обоснования периода применения гибридных систем вентиляции, был проведен расчет среднемесячных коэффициентов обеспеченности воздухообмена (рис. 3).

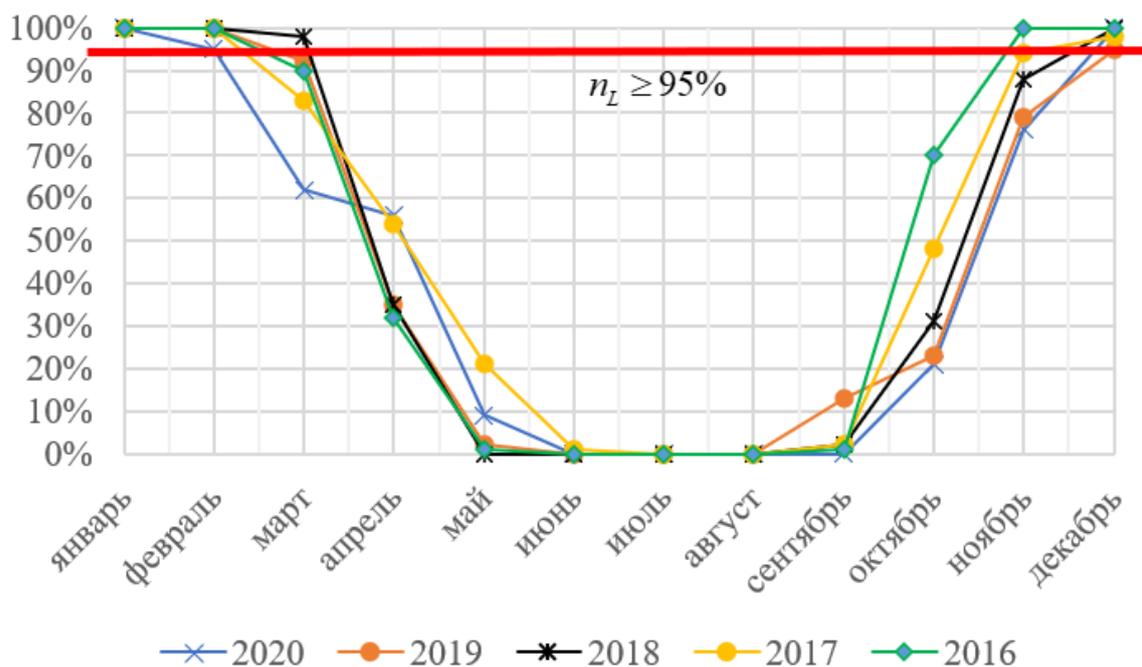


Рис. 3. Среднемесячные коэффициенты обеспеченности воздухообмена

Было выявлено, что условие (1) стабильно соблюдается только в зимнее время года – с декабря по февраль. Таким образом, в период с марта по ноябрь включительно, рекомендуется использовать механическое побуждение [12, 18]. Данный временной диапазон выпадает на часть отопительного периода. Следовательно, при проектировании систем гибридной вентиляции, особенно во время реконструкции здания, необходимо уточнить условия работы существующей системы отопления.

Вентиляционные потери теплоты, связанные с подачей холодного наружного воздуха, могут меняться довольно быстро, быстрее, чем трансмиссионные тепловые потери через ограждающие конструкции. Поэтому система отопления помещений должна оперативно реагировать на изменения расхода приточного воздуха для исключения колебаний температуры в помещениях, которые могут вызвать дискомфорт у жильцов. Основная сложность заключается в необходимости проведения контроля воздушного режима помещения для обеспечения взаимосвязи между работой системы вентиляции и отопления.

При разработке системы отопления помещений следует учитывать некоторые аспекты. Отопительные приборы рекомендуется располагать ниже приточных отверстий для осуществления подогрева вентиляционного воздуха за счёт восходящего конвективного потока, формирующегося над его поверхностью. Возможно размещение приточных клапанов в наружной стене за отопительным прибором.

Выводы. При проектировании гибридных систем вентиляции с сезонным режимом работы март-ноябрь, необходимо учитывать влияние естественного давления, которое противодействует вытяжке в условиях, когда температура наружного воздуха выше внутреннего [19]. В рассматриваемый период рекомендуется применять технологии, направленные на повышение располагаемого давления естественных систем вентиляции: тепловое побуждение с радиационным подогревом вентиляционных каналов [20–24] или ветровое побуждение с помощью дефлекторов и ветряных башен [25], а также устройств Вентури [26–27]. Данный подход позволит снизить энергопотребление вентиляторной установкой.

В гибридных системах вентиляции возможно использование рекуперации теплоты. Наиболее распространённым способом является применение интегрированных тепловых насосов, которые обеспечивают возможность прямой передачи теплоты от вытяжного воздуха к хлада-

генту, что значительно увеличивает эффективность работы установки. Вторичная теплота может быть использована для нужд отопления помещений и подогрева горячей воды.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Mohamed A. F., El-Menchawy A., Bassioni H. A. An ecological residential buildings management case study; an existing Egyptian eco-house. Republic of Moldova: LAP LAMBERT Academic Publishing. 2012. 148 p.
2. Cisek E., Jaglarz A. Architectural education in the current of deep ecology and sustainability // Buildings. 2021. Vol. 11 (8). No. 358. DOI:10.3390/buildings11080358
3. Jagpal R. Control strategies for hybrid ventilation in new and retrofitted office and education buildings (HybVent) [Электронный ресурс]. Систем. требования: AdobeAcrobatReader. URL: https://iea-ebc.org/Data/publications/EBC_Annex_35_tsr.pdf (дата обращения: 28.11.2021)
4. Chartered Institution Of Building Services Engineers Staff. Mixed Mode Ventilation Systems: Cibse Applications Manual Am 13 [Электронный ресурс]. Систем. требования: AdobeAcrobatReader. URL: <https://www.cibse.org/knowledge/knowledge-items/detail?id=a0q2000000817nt> (дата обращения: 28.11.2021)
5. Сотников А. Г. Расчет ночного охлаждения помещений // Сантехника, отопление, кондиционирование. 2012. № 4. С. 84–86.
6. Felicia U., Tiberiu C., Andreea V., Iolanda C. Impact of nocturnal natural ventilation on the energy consumption of buildings // Mathematical Modelling in Civil Engineering. 2017. Vol. 13. No. 1. Pp. 17–26. DOI:10.1515/mmce-2017-0005
7. Chikamoto T., Kato S., Ikaga T. Hybrid air-conditioning system at Liberty Tower of Meiji University // AIVC. 1999. Vol. 12. No. 543. Pp. 123–127.
8. Henrik B., Christian F., Per H., Ole Juhl H. Measurements of hybrid ventilation performance in an office building // International Journal of Ventilation. 2003. Vol. 1. No. 4. Pp. 77–88, DOI: 10.1080/14733315.2003.11683646
9. Wouters P., Heijmans N., Delmotte C., Vandaele L. Classification of hybrid ventilation concepts [Электронный ресурс]. Систем. требования: AdobeAcrobatReader. URL: https://www.aivc.org/sites/default/files/air-base_12537.pdf (дата обращения: 28.11.2021)
10. Kleiven T. Natural ventilation in buildings architectural concepts, consequences and possibilities. Norwegian University of Science and Technol-

ogy. Faculty of Architecture and Fine Art Department of Architectural Design, History and Technology. Trondheim, 2003. 305 p.

11. Soebiyani V. Hybrid ventilation systems on different climate // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2021. Vol. 794. No. 012174. DOI: 10.1088/1755-1315/794/1/012174

12. Бодров М. В., Кузин В. Ю., Морозов М. С. Применение гибридных вентиляторов при реконструкции естественных систем вентиляции жилых домов // Приволжский научный журнал. 2017. № 4. С. 44–51.

13. Бодров М.В., Кузин В.Ю., Морозов М.С., Шаповал А.Ф. Обоснование границ применения естественных систем вентиляции многоквартирных жилых домов для Нижегородской области // Приволжский научный журнал. 2016. № 1 (37). С. 65–71.

14. Бодров М.В., Кузин В.Ю., Морозов М.С. Расчётное обоснование границ режимов работы систем естественной и гибридной вентиляции // Сантехника, отопление, кондиционирование. 2016. № 1. С. 74–77.

15. Абрамкина Д.В., Агаханова К.М. Автоматическое регулирование системы вентиляции жилого здания // Естественные и технические науки. 2019. № 2 (128). С. 204–205.

16. Всемирная метеорологическая организация (ВМО). Состояние глобального климата в 2021 году [Электронный ресурс]. Систем. требования: AdobeAcrobatReader. URL: https://library.wmo.int/index.php?lvl=notice_display&id=21982#.YX-2imDMKUK (дата обращения: 01.12.2021)

17. Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (Росгидромет). Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2020 год. Москва. 2021. 104 с.

18. Кривошеин А.Д., Андреев И.В. Исследование процессов распределения воздуха в гибридных системах вентиляции жилых зданий // Вестник Сибирской государственной автомобильно-дорожной академии. 2013. № 5 (33). С. 63–69.

19. Агаханова К.М., Малявина Е.Г., Левина Ю.Н. Расчет воздухообмена квартир многоэтажного жилого здания при гибридной вентиляции в переходный и теплый период // БСТ: Бюллетень строительной техники. 2019. № 6 (1018). С. 63–65.

20. Zhang H., Tao Y., Shi L. Solar chimney applications in buildings // Encyclopedia. 2021. Vol. 1. Pp. 409–422. DOI: 10.3390/encyclopedia1020034

21. Xinyu Z., Jun Z., Menghao Q. Experimental and numerical studies of solar chimney for ventilation in low energy buildings // Procedia Engineering. 2017. Vol. 205. Pp. 1612–1619. DOI: 10.1016/j.proeng.2017.10.294

22. Tongbai P., Chitsomboon T. Enhancement of roof solar chimney performance for building ventilation // Journal of power and energy engineering. 2014. Vol. 2. Pp. 22–29. DOI: 10.4236/jpee.2014.26003

23. Lal S., Kaushik S. C., Bhargav P. K. Solar chimney: a sustainable approach for ventilation and building space conditioning // International Journal of Development and Sustainability. 2013. Vol. 2. Pp. 277–279.

24. Aeinehvand R., Darvish A., Baghaei Dae-meai A., Barati S., Jamali A., Malekpour Ravasjan V. Proposing alternative solutions to enhance natural ventilation rates in residential buildings in the Cfa Climate Zone of Rasht // Sustainability. 2021. Vol. 13. 679. DOI: 10.3390/su13020679

25. Naghman K., Yuehong S., Saffa B. Riffat. A review on wind driven ventilation techniques // Energy and Buildings. 2008. Vol. 40. Pp. 1586–1604. DOI: 10.1016/j.enbuild.2008.02.015

26. Zhang L., Tian L., Shen Q., Liu F., Li H., Dong Z., Cheng J., Liu H., Wan J. Study on the influence and optimization of the venturi effect on the natural ventilation of buildings in the Xichang area // Energies. 2021. Vol. 14. No. 5053. DOI: 10.3390/en14165053

27. van Hooff T., Blocken B., Aanen L., Bronsema B. A venturi-shaped roof for wind-induced natural ventilation of buildings: wind tunnel and CFD evaluation of different design configurations // Building and Environment. 2011. Vol. 46. Pp. 1797–1807. DOI: 10.1016/j.buildenv.2011.02.009.

Информация об авторах

Абрамкина Дарья Викторовна, кандидат технических наук, доцент кафедры «Теплогазоснабжение и вентиляция». E-mail: dabramkina@ya.ru. Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет. Россия, 129337, Центральный федеральный округ, г. Москва, Ярославское шоссе, д.26.

Поступила 28.11.2021 г.

© Абрамкина Д.В., 2022

Abramkina D.V.

National Research Moscow State University of Civil Engineering

E-mail: dabramkina@ya.ru

JUSTIFICATION OF HYBRID VENTILATION SYSTEMS OPERATING BOUNDARIES

Abstract. The paper presents the results of a theoretical study of existing terms of hybrid ventilation. A classification of hybrid ventilation strategies has been drawn up: concurrent and changeover operations. Concurrent operation includes the sharing of mechanical and natural ventilation systems, for example, in the case of natural inlet and the removal of contaminated air from the room by axial roof fans; mechanical systems, equipped with low-pressure fans, used in conjunction with technologies aimed at increasing natural pressure (heat and wind inducement). Changeover operation includes seasonal work, night cooling and local alternating work. The analysis of climatic characteristics based on data from meteorological station 27612 (Moscow, VDNH) shows that the average temperature of outdoor air exceeds the requirement temperature for natural ventilation calculations for most of the year. Annual average air exchange factors for the period 2016-2020 are less than 50 %, which proves the need for a seasonal hybrid ventilation system. Based on the calculation of average monthly air exchange factors, the mechanical inducement is recommended from March to November.

Keywords: hybrid ventilation, mixed-mode ventilation, natural ventilation, air exchange factor, thermal buoyancy, wind driven ventilation

REFERENCES

1. Mohamed A.F., El-Menchawy A., Bassioni H.A. An ecological residential buildings management case study; an existing Egyptian eco-house. Republic of Moldova: LAP LAMBERT Academic Publishing. 2012. 148 p.
2. Cisek E., Jaglarz A. Architectural education in the current of deep ecology and sustainability. Buildings. 2021. Vol. 11 (8). No. 358. DOI:10.3390/buildings11080358
3. Jagpal R. Control strategies for hybrid ventilation in new and retrofitted office and education buildings (HybVent). AdobeAcrobatReader. URL: https://iea-ebc.org/Data/publications/EBC_Anex_35_tsr.pdf (date of treatment: 28.11.2021)
4. Chartered Institution Of Building Services Engineers Staff. Mixed Mode Ventilation Systems: Cibse Applications Manual Am 13. AdobeAcrobatReader. URL: <https://www.cibse.org/knowledge/knowledge-items/detail?id=a0q20000008I7nt> (date of treatment: 28.11.2021)
5. Sotnikov A.G. Calculation of night cooling of premises [Raschet nochnogo okhlazhdeniya pomeshchenii]. Plumbing, heating, air conditioning. 2012. No 4. Pp. 84–86. (rus)
6. Felicia U., Tiberiu C., Andreea V., Iolanda C. Impact of nocturnal natural ventilation on the energy consumption of buildings. Mathematical Modelling in Civil Engineering. 2017. Vol. 13. No. 1. Pp. 17–26. DOI:10.1515/mmce-2017-0005
7. Chikamoto T., Kato S., Ikaga T. Hybrid air-conditioning system at Liberty Tower of Meiji University. AIVC. 1999. Vol. 12. No. 543. Pp. 123–127.
8. Henrik B., Christian F., Per H., Ole Juhl H. Measurements of hybrid ventilation performance in an office building. International Journal of Ventilation. 2003. Vol. 1. No. 4. Pp. 77–88, DOI: 10.1080/14733315.2003.11683646
9. Wouters P., Heijmans N., Delmotte C., Vandaele L. Classification of hybrid ventilation concepts. AdobeAcrobatReader. URL: https://www.aivc.org/sites/default/files/air-base_12537.pdf (date of treatment: 28.11.2021)
10. Kleiven T. Natural ventilation in buildings architectural concepts, consequences and possibilities. Norwegian University of Science and Technology. Faculty of Architecture and Fine Art Department of Architectural Design, History and Technology. Trondheim, 2003. 305 p.
11. Soebiyani V. Hybrid ventilation systems on different climate // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2021. Vol. 794. No. 012174. DOI: 10.1088/1755-1315/794/1/012174
12. Bodrov M.V., Kuzin V.Yu., Morozov M.S. [Primenenie gibridnykh ventilyatorov pri rekonstruktsii estestvennykh sistem ventilyatsii zhilykh domov]. Privolzhskii scientific journal. 2017. No. 4. Pp. 44–51. (rus)
13. Bodrov M.V., Kuzin V.Yu., Morozov M.S., Shapoval A.F. Justification of the boundaries for the application of natural ventilation systems for apartment buildings for the Nizhny Novgorod region [Obosnovanie granits primeneniya estestvennykh sistem ventilyatsii mnogokvartirnykh zhilykh domov dlya Nizhegorodskoi oblasti]. Privolzhskii nauchnyi zhurnal. 2016. No 1 (37). Pp. 65–71. (rus)
14. Bodrov M. V., Kuzin V. Yu., Morozov M. S. Calculation of the boundary between natural and hybrid ventilation systems [Raschetnoe obosnovanie

granits rezhimov raboty sistem estestvennoi i gibridnoi ventilyatsii] Plumbing, heating, air conditioning. 2016. No 1. Pp. 74–77. (rus)

15. Abramkina D.V., Agakhanova K.M. Automatic ventilation control of residential building [Avtomaticheskoe regulirovanie sistemy ventilyatsii zhilogo zdaniya] Science and engineering. 2019. No 2 (128). Pp. 204–205. (rus)

16. World Meteorological Organization (WMO). State of the Global Climate 2021 Adobe Acrobat Reader. URL: https://library.wmo.int/index.php?lvl=notice_display&id=21982#.Yac-It-BBw2x (date of treatment: 01.12.2021)

17. Federal Service for Hydrometeorology and Environmental Monitoring (Roshydromet). Report on the characteristics of the climate in the territory of the Russian Federation for 2020. [Doklad ob osobennostyakh klimata na territorii Rossiiskoi Federatsii za 2020 god] Moscow. 2021. 104 p. (rus)

18. Krivoshein A.D., Andreev I.V. Investigation of air distribution processes in hybrid ventilation systems in residential buildings [Issledovanie protsessov raspredeleniya vozdukh v gibridnykh sistemakh ventilyatsii zhilykh zdaniy] Vestnik Of Siberian State Automobile and Road Academy. 2013. No 5 (33). Pp. 63–69. (rus)

19. Agakhanova K.M., Malyavina E.G., Levina Yu.N. Calculation of air exchange of flats of multi-storey residential building with hybrid ventilation in a transitional and warm period [Raschet vozdukhobmena kvartir mnogoetazhnogo zhilogo zdaniya pri gibridnoi ventilyatsii v perekhodnyi i teplyi period]. BST: Engineering Bulletin. 2019. No 6 (1018). Pp. 63–65. (rus)

20. Zhang H., Tao Y., Shi L. Solar chimney applications in buildings. Encyclopedia. 2021. Vol. 1. Pp. 409–422. DOI:10.3390/encyclopedia1020034

21. Xinyu Z., Jun Z., Menghao Q. Experimental and numerical studies of solar chimney for ventilation in low energy buildings. Procedia Engineering. 2017. Vol. 205. Pp. 1612–1619. DOI: 10.1016/j.proeng.2017.10.294

22. Tongbai P., Chitsomboon T. Enhancement of roof solar chimney performance for building ventilation // Journal of power and energy engineering. 2014. Vol. 2. Pp. 22–29. DOI: 10.4236/jpee.2014.26003

23. Lal S., Kaushik S. C., Bhargav P. K. Solar chimney: a sustainable approach for ventilation and building space conditioning. International Journal of Development and Sustainability. 2013. Vol. 2. Pp. 277–279.

24. Aeinehvand R., Darvish A., Baghaei Daeimeh A., Barati S., Jamali A., Malekpour Ravasjan V. Proposing alternative solutions to enhance natural ventilation rates in residential buildings in the Cfa Climate Zone of Rasht. Sustainability. 2021. Vol. 13. 679. DOI: 10.3390/su13020679

25. Naghman K., Yuehong S., Saffa B. Riffat. A review on wind driven ventilation techniques. Energy and Buildings. 2008. Vol. 40. Pp. 1586–1604. DOI: 10.1016/j.enbuild.2008.02.015

26. Zhang L., Tian L., Shen Q., Liu F., Li H., Dong Z., Cheng J., Liu H., Wan J. Study on the influence and optimization of the venturi effect on the natural ventilation of buildings in the Xichang area. Energies. 2021. Vol. 14. No. 5053. DOI: 10.3390/en14165053

27. van Hooff T., Blocken B., Aanen L., Bronsema B. A venturi-shaped roof for wind-induced natural ventilation of buildings: wind tunnel and CFD evaluation of different design configurations. Building and Environment. 2011. Vol. 46. Pp. 1797–1807. DOI: 10.1016/j.buildenv.2011.02.009.

Information about the authors

Abramkina, Daria V. Associate professor, PhD. E-mail: dabramkina@ya.ru. National research Moscow state university of civil engineering, Russia, 129337, Moscow, Yaroslavskoye Shosse, 26.

Received 28.11.2021

Для цитирования:

Абрамкина Д.В. Обоснование границ режимов работы систем гибридной вентиляции // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2022. № 2. С. 38–46. DOI: 10.34031/2071-7318-2021-7-2-38-46

For citation:

Abramkina D.V. Justification of hybrid ventilation systems operating boundaries. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2022. No. 2. Pp. 38–46. DOI: 10.34031/2071-7318-2021-7-2-38-46

DOI: 10.34031/2071-7318-2021-7-2-47-54

***Фетисова М.А., Коломыцева А.Ю.**

Орловский государственный аграрный университет им. Н.В. Парахина

*E-mail: fetisovamaria@mail.ru

ГИБКИЙ ПОДХОД К ПРОЕКТИРОВАНИЮ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ОБЪЕКТА

Аннотация. Определены предпосылки для качественного решения архитектурно-художественных задач при проектировании промышленных предприятий. Планировочная система предусматривает не только систематизированное размещение в пространстве главных структурных элементов композиции (магистральных дорог и коммуникаций, отдельных зон и объектов), но и сохранение принятой структуры при развитии предприятия. И как бы в дальнейшем ни менялась система застройки по мере наращивания новых мощностей. Общие приемы организации пространства формируются многообразными элементами застройки промпредприятий. Композиционные решения производственных зданий можно классифицировать в зависимости от способов размещения стоящего оборудования: здания с открытым фасадом; здания, обстроенные оборудованием; «здания-установки». Повышение архитектурно-художественных качеств производственной среды достигается также путем благоустройства и озеленения территории, цветового решения объектов и комплексов. Правильный выбор объема зданий позволяет уменьшить площадь ограждающих конструкций, что в свою очередь уменьшает энергопотери здания, иметь разностороннюю ориентацию лучшую инсоляцию и проветривание. Повышенное значение функциональности в промышленной архитектуре закономерно, так как здесь более чем в других ее видах разнообразны и тесно связаны между собой технологические, технико-экономические и социальные факторы.

Ключевые слова: производственное предприятие, архитектурно-художественные качества, производственная среда, благоустройство, проектирование.

Введение. Основным назначением архитектуры всегда являлось создание необходимой для существования человека жизненной среды, характер и комфортабельность которой определялись уровнем развития общества, его культурой, достижениями науки и техники. Эта жизненная среда, называемая архитектурой, воплощается в зданиях, промышленных комплексах, имеющих внутреннее пространство, организующих наружное пространство-производственные площади.

Проблемами проектирования производственных объектов занимались В.М. Предтеченский, Л.Б. Великовский, Н.Ф. Гуляницкий, С.В. Дядков, Т.Г. Маклакова, Б.С. Истомин и др., перечисленные ученые занимались вопросами объемно-планировочных и конструктивных решений промышленных зданий, организации внутреннего пространства, разработкой технологии и организации строительства, охраны труда и экологии. При проектировании производственных объектов данные ученые подходили с точки зрения развертывания производственного цикла, не уделялось должного внимания проблемам рациональной организации пространства предприятий, которые в свою очередь влияют на их архитектурную композицию, подбору энергоэффективной инженерии предприятия, условиям восприятия архитектуры производственных зданий.

Актуальность данного подхода заключается в качественном решении архитектурно-художественных задач при проектировании промышленных предприятий, а именно размещение в пространстве главных структурных элементов композиции производственных объектов, магистральных дорог и коммуникаций, обслуживающих зданий и сооружений, отдельных зон. А также сохранение принятой структуры при развитии предприятия, не зависимо от дальнейшего наращивания новых мощностей.

На современном этапе развития строительной техники и технологий проектирование зданий и сооружений неразрывно связано применением новых более простых технологических решений, путём подбора энергоэффективной инженерии [1–3] и материалов, оптимальных объемно-планировочных решений, так же этим достигается снижение энергозатрат.

Методика, оборудование, материалы. Анализ и синтез данных о существующих объектах по направлению исследования, литературных источников и изучение методических, нормативных и проектных материалов по теме исследования, применении элементов системного анализа, изучении особенностей территории, выделении уникальных черт и формировании концепции.

В методологии проектирования промышленного объекта можно выделить несколько аспектов формообразования функционально-планировочный, архитектурно-художественный. Функционально-планировочный аспект формирова-

ния промышленного объекта обеспечивает оптимальные функциональные схемы внутренних связей и помещений для качественного функционирования процессов предприятия, с учетом технологического оборудования цехов, обеспечения энергоэффективной инженерии предприятия. Архитектурно-художественный аспект формирования промышленного объекта отражает объемно-планировочные и конструктивные решения, организация внутрицехового пространства.

Имеются две важные предпосылки для качественного решения архитектурно-художественных задач при проектировании промышленных предприятий: использование рациональных принципов организации пространства; выявление специфических выразительных свойств технологического оборудования, сооружений и зданий.

Основная часть. Цель данного исследования состоит в применении вариативности (гибкого подхода) в проектировании производственного объекта. Объектом исследования является промышленное здание с его прилегающей промышленной зоной.

Задачи исследования: совершенствование планировочной системы; методы повышения энергоэффективности производственного здания; принципы повышения значения функциональности в промышленной архитектуре; повышение архитектурно-художественных качеств



Рис. 1. Централизованное размещение коммуникаций промышленного объекта

Лучшие условия восприятия архитектуры производственных зданий создаются благодаря централизованному размещению коммуникаций, освобождающему фасады корпусов от громоздких эстакад трубопроводов (рис. 1). Раздельная трассировка людских и технологических потоков по принципу двух встречных несовпадающих «гребенок», а также типизация структуры кварталов, при которой все главные объекты располагаются по фронту основных магистралей, значительно обогащают архитектуру главных улиц завода.

производственной среды; экологичности проектируемого промышленного здания и прилегающей территории.

По характеру застройки и своему образному строю промышленные предприятия подразделяются: преимущественно открытое оборудование различных масштаба и форм, установленное на площадках и этажерках; инженерные сооружения, в том числе многочисленные эстакады трубопроводов, постаменты, этажерки и т. п.; небольшое число относительно мелких зданий подсобного назначения; сочетание открытого оборудования и сооружений с достаточно крупными, но неширокими производственными зданиями; крупные многопролетные здания больших площадей застройки и незначительное число открыто установленного оборудования и сооружений; сочетание всех типов зданий, сооружений и открыто установленного оборудования.

Рациональные приемы организации пространства предприятий влияют на их архитектурную композицию, создавая эффект упорядоченности застройки, ее структурности, выявляя необходимые акценты. При этом важно, что планировочная система предусматривает не только систематизированное размещение в пространстве главных структурных элементов композиции (магистральных дорог и коммуникаций, отдельных зон и объектов), но и сохранение принятой структуры при развитии предприятия. И как бы в дальнейшем ни менялась система застройки по мере наращивания новых мощностей.



На крупных предприятиях внутризаводские магистральные автодороги прокладываются в проездах шириной до 60 м и более, что вызвано противопожарными соображениями, большим числом коммуникаций, размещаемых в них, а также необходимостью иметь открытое пространство для монтажа и демонтажа открыто стоящего крупного оборудования, которое стараются выводить на красные линии застройки кварталов. Это еще более способствует выявлению крупных структурных элементов композиции – отдельных производственных комплексов, заполняющих

пространство вдоль объектов транспортной системы.

Централизованное размещение объектов административного и культурно-бытового назначения вблизи главных автомагистралей дает возможность решить их по единому архитектурному замыслу, начиная от остановки общественного транспорта и до рабочего места. Организованное размещение зданий административного и культурно-бытового назначения на всем пути движения людей из города до рабочих мест увеличивает их архитектурную значимость, они могут занимать главенствующее положение в застройке.

Здания административного и культурно-бытового назначения могут составить основу композиции, позволяя создавать ансамбли перед заводских площадей, внутривозводскую композиционную ось в виде автомагистрали, обстроенной подсобными и вспомогательными объектами. В этом случае обслуживающие объекты решаются контрастно по отношению к производственным зданиям. При менее организованном размещении

подсобных и вспомогательных зданий их решают в нюансном соотношении с другими объектами застройки.

Взятые в совокупности сделанные объекты превращают застройку предприятий в сложный комплекс пространственных форм, связывать которые в цельную для восприятия композицию – трудная задача.

Композиционные решения производственных зданий можно классифицировать в зависимости от способов размещения стоящего оборудования: здания с открытым фасадом; здания, обстроенные оборудованием; «здания-установки». Композиционные решения открытых установок, оборудования и сооружений более разнообразны, чем здания, как разнообразны и сами аппараты, объединяемые в группы (технологические установки и агрегаты). И хотя само объединение их обусловлено в первую очередь технологическими факторами, архитектор может активно влиять на решение композиционных задач.



Рис. 2. Пример цветового решения промышленного объекта

Повышение архитектурно-художественных качеств производственной среды достигается также путем благоустройства и озеленения территории [4, 5], цветового решения объектов и комплексов.

Выбор месторасположения промзоны должен основываться не только на санитарных нормах, но и на безвредности для окружающей среды [6, 7]. Необходимо произвести обследование почвы, воды, воздушной среды, учитывать расположение ближайших промышленных предприятий, ЛЭП. При выборе места строительства следует выявлять геопатогенные зоны, образующиеся над пустотами земли, подземными водными потоками, руслами бывших рек, разломами и др. В таких местах изменяются геомагнитные поля, уровень радиации, электропроводность

почвы и др. параметры. Всё это неблагоприятно воздействует на человека.

Расположение промышленных предприятий в зоне эко поселения, например, должно определяться, учитывая преобладающие ветра, необходимость территории для систем нетрадиционных источников энергии. При этом также возникает необходимость в территории под дополнительные очистные сооружения. По возможности, в чистых поселениях применить архитектурно-художественные приемы и придать зданиям выразительность и эстетическую ценность.

На выделенных землях предполагается не только использовать природные ресурсы, но и восстанавливать экосистему. В экологической программе эко поселений предлагается ряд решений для реабилитации почвы, восстановления лесов.

Конечно, невозможно в промышленности полностью перейти на нетрадиционные, возобновляемые источники энергии, но в некоторых сельскохозяйственных предприятиях они могут иметь место. Целесообразность обуславливается необходимым количеством энергии и мощностью предприятия, особенно, такие установки



могут найти применение в небольших фермерских хозяйствах.

Правильный выбор объема зданий позволяет уменьшить площадь ограждающих конструкций, что в свою очередь уменьшает энергопотери здания, иметь разностороннюю ориентацию лучшую инсоляцию и проветривание.

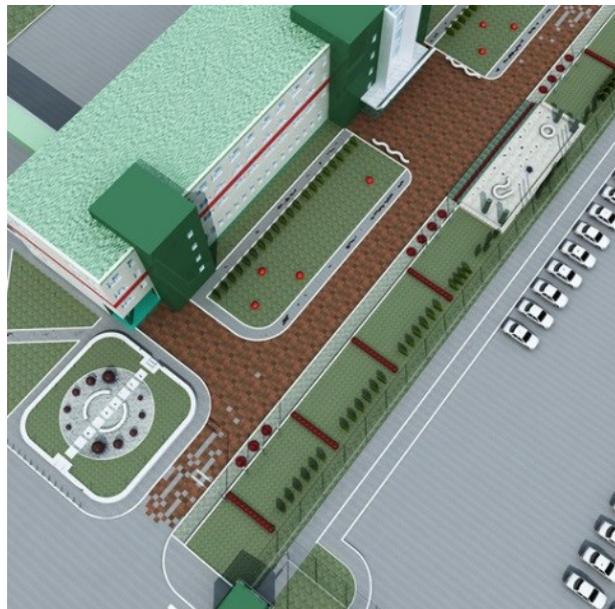


Рис. 3. Благоустройство территории завода «Уралкалий», г. Березники

Благоустройство и озеленение территории как важнейшее средство гуманизации производственной среды (на крупных промпредприятиях – крайне неблагоприятной для человека) обычно связывают с размещением и обустройством мест длительного пребывания персонала.

Композиционные решения производственных зданий можно классифицировать в зависимости от способов размещения стоящего оборудования: здания с открытым фасадом; здания, обстроенные оборудованием; «здания-установки».

В случае расположения открытого оборудования поблизости от производственных зданий фасады последних используют в качестве фонового элемента архитектурной композиции. Дробные и разнохарактерные формы оборудования эффектно выделяются на относительно ровном фасаде здания.

Компоновка многофункциональных зданий по блочно-секционному методу позволяет подучить композиции различной степени сложности как для зданий предзаводской площади, так и для рядовых подсобных зданий на площадке.

Применение цвета повышает информативность и психофизиологический комфорт трудящихся, служит важнейшим средством эстетической организации производственной среды. Создание цветовой композиции способствует объединению разнохарактерного технологического оборудования, размещаемого на открытых установках, что очень важно в условиях.

Сложность, большие масштабы и ряд специфических особенностей проектирования промышленных объектов, где технологические и технико-экономические требования подчас трудно согласуются с закономерностями архитектурно художественного формирования пространства, ставят архитектора-промышленника [8–10] в более тяжелые условия, чем его коллег в области гражданского строительства.

Принцип гибкого решения планировочно-пространственной структуры обуславливает максимальное ее приспособление к возможным изменениям производства в процессе эксплуатации предприятия. Принцип распространяется на все отрасли промышленности, в особенности на интенсивно развивающиеся, такие как химическая и нефтехимическая, предприятия которых характеризуются сложной производственной и планировочно-пространственной структурой. Реализация этого принципа способствует преодолению противоречий между очень динамичным развитием промышленного производства и относительной стабильностью структуры строительных сооружений, между длительным отрезком времени проектирования строительства [11–13] и освоения капитальных вложений и стремительным развитием науки, постоянно открывающей новые материалы и способы их получения.

Новые виды продукции и сопутствующие им технологические процессы появляются часто, а

внедрение их в промышленность (включая проектирование, опытное производство, строительство зданий и сооружений) и освоение заданной мощности часто растягиваются на длительный срок. Этот разрыв уменьшается, если вместо строительства новых заводов реконструируются старые. Но и в последнем случае капиталовложения и сроки ввода объекта в эксплуатацию все же остаются большими [14–17].

Сроки морального старения технологических процессов, оборудования и строительных сооружений примерно соотносятся как 1:3:12. Это показывает, насколько важны гибкие решения планировочно-пространственной структуры промышленных объектов, а также гибкие решения технологической структуры. Гибкость планировочно-пространственной структуры основывается на реализации и комплексном использовании ряда эффективных принципов архитектурного формирования промышленных предприятий, в т.ч.: блочное построение пространственной структуры; зонированное размещение объектов; унификация строительных и технологических элементов и др.

Некоторые резервы в параметрах планировочных, объемно-планировочных и конструктивных элементов. Резервы должны определяться исходя из обоснованных заключений технологов о возможных изменениях организации производства на проектируемом предприятии, и должны быть обоснованы соответствующими технико-экономическими расчетами. В ряде случаев целесообразно предусматривать возможные изменения параметров некоторых элементов уже в процессе эксплуатации предприятия, т.е. не сразу строить весь объем сооружения, а предусматривать возможность его расширения в случае конкретного изменения структуры производства.

Например, вместо резервирования несущей способности эстакады под трубопроводы можно предусмотреть место для ее расширения при увеличении числа и веса трубопроводов. Увеличение мощности любой инженерной системы (отопление, водоснабжение, электроснабжение и т.п.) можно предусматривать установки дополнительного агрегата, для чего оставляют необходимое место. При этом следует учитывать общую тенденцию возрастания единичной мощности оборудования при одновременном уменьшении его размеров. В указанных случаях резервирование осуществляется при минимальных капитальных вложениях.

Гибкие решения планировки территории производственных зданий и сооружений должны обеспечить приспособление уже построенного, действующего предприятия или объекта к изме-

нениям структуры производства. Укрупнение параметров элементов планировки, зданий и сооружений и определенные сочетания этих элементов, как правило, создают достаточно хорошие условия для перекомпоновки и частичного изменения состава технологического оборудования. А вот существенная передвижка тяжелого оборудования, перетрассировка трубопроводов, железнодорожных путей при изменении производственной структуры - дело крайне сложное, часто требующее серьезных конструктивных изменений, сложных строительных работ и больших затрат средств и времени. Поэтому решающее значение для формирования гибкой планировочно-пространственной структуры имеют специальные приемы компоновки объектов на территории предприятия и оборудования в зданиях и сооружениях, а также трассировки путей передвижения транспортных средств и прокладки всех видов коммуникаций. Принципиальная схема дорог, коммуникационных коридоров и размещение зданий, сооружений и оборудования должны быть скоординированы на основе четкой схемы организации грузовых и людских потоков.

Чтобы обеспечить архитектурное качество промышленного строительства, необходимо дальнейшее совершенствование методов проектирования [18]. Важное значение, для достижения этой цели имеют принципы и приемы формирования пространства, вытекающие из функциональных требований. Они способствуют развитию системных методов проектирования и соответственно широкому использованию ЭВМ, оказывают неоценимую помощь архитектору в комплексном решении всех стоящих перед ним задач и в том числе повышения художественного качества застройки, а также технологичной организации строительного производства [19, 20].

Выводы. По результатам предлагаемого гибкого подхода к проектированию производственного объекта можно сделать следующие заключения:

1. Повышенное значение функциональности в промышленной архитектуре закономерно, так как здесь более чем в других ее видах разнообразны и тесно связаны между собой технологические, технико-экономические и социальные факторы, обуславливающие оптимальные условия организации производства и строительства.

2. Правильно выбранная схема размещения зданий административного и культурно-бытового назначения, позволяет создавать ансамбли пред заводских площадей, внутривоздушную композиционную от остановки общественного транспорта и до рабочего места.

3. Выбор месторасположения промзоны должен основываться не только на санитарных

нормах, но и на безвредности для окружающей среды. Расположение промышленных предприятий в зоне эко поселения, должно определяться, согласно множеству природных, технических и технологических факторов, а так же композиционных решений.

4. Применение гибких планировочных решений территории производственных зданий и сооружений обеспечат приспособление уже построенного, действующего предприятия или объекта к изменениям структуры производства, его перекомпоновки и частичного изменения состава технологического оборудования.

Научная новизна заключается в рассмотренных вопросах совершенствования планировочной системы, повышения энергоэффективности производственного здания и функциональности, а также архитектурно-художественных качеств производственной среды с учетом экологических аспектов. Данные рекомендации применимы при проектировании, не только при возведении новых производственных объектов, но и при реновации существующих.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Коршунова Л.А. Кузьмина Н.Г. Кузьмина Е.В. Проблемы энергосбережения и энергоэффективности в России // Известия Томского политехнического университета. 2013. №6. С. 22-25.
2. Акиев Р.С., Бурцев С.И., Бусахин А.В. и др. Каталог технических решений и практических рекомендаций по энергосбережению и повышению энергетической эффективности зданий и сооружений [Электронный ресурс]. М: Национальное объединение строителей, 2014. 139 с. URL: <http://docs.cntd.ru/document/493668276>
3. Amro M., Hind M., David A. Blind spots in energy transition policy: Case studies from Germany and USA // Energy Reports. 2019. No. 5. Pp. 20–28
4. Sampaio C.G., Alvar Aalto and Alvaro Siza: The Link between Architecture and Nature in the Construction of Place // Athens Journal of Architecture. 2015. Vol. 1. №. 3. Pp. 207–220.
5. Попов А.Д. Световой дизайн городской среды в современной урбанистике // Дизайн. Материалы. Технология. 2016. № 2 (42). С. 16–19.
6. Wegmann M., Leutner B., Dech S. Remote sensing and GIS for ecologists: using open source software. Pelagic Publishing Ltd, 2016. 178 p.
7. Longley P.A., Goodchild M.F., Maguire D.J., Rhind D.W. Geographic information science and systems. John Wiley & Sons, 2015. 133 p.
8. Малахов С.А. Когда появится возможность обучать архитектуре как полноценной профессии? // Традиции и инновации в строительстве и архитектуре, градостроительство. Самарский государственный архитектурно-строительный университет. 2016. С. 128–131.
9. Liu Y., et al. The smart architect: Scalable ontology-based modeling of ancient Chinese architectures // IEEE Intelligent Systems. 2008. Vol. 23. No. 1. Pp. 49–56.
10. Mazandarani M.S.A. Transformation of Idea into Form by architect in management of smart cities // Proceedings of IFKAD-ISSN. Vol. 2280. P. 787X.
11. Barco A.F., Vareilles E., Aldanondo M., Gaborit P. Open the packaging for the synthesis of the facade plan under public decision // Procedia Engineering. 2014. Vol. 8502. Pp. 144–153.
12. Блажнов А.А. Статический расчёт плёночной кровли культивационного сооружения // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2020. № 10. С. 17–22. DOI: 10.34031/2071-7318-2020-5-10-17-22
13. Юрьев А.Г. Расчет пола промышленного здания на силовые воздействия // Строительство – 2002: матер. Междунар. науч.-практ. конф. Ростов-на-Дону: Изд-во РГСУ, 2002. С. 21–22.
14. Точина В.П., Попов А.Д., Танкова Н.А. Принципы и методы реновации промышленных объектов в мировой практике // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2019. № 6. С. 78–82. DOI: 10.34031/article_5d079e0ec02547.40724825
15. Barco A.F., Fages J.G., Vareilles E., Aldanondo M., Gaborit P. Recursive algorithm of building renovation in "smart" cities // Procedia Engineering. 2015. Vol. 9255. Pp. 508–523.
16. Фетисова М.А., Лубенникова А.Ю., Реставрация и строительство культурно-исторических памятников / В сборнике: вестник строительства и архитектуры сборник трудов конференции. Орел, 2018. С. 7–11.
17. Маренков А.Г., Фетисова М.А. Зарубежный опыт реконструкции фасадов // Инновационные технико-технологические решения для строительной отрасли, ЖКХ и сельскохозяйственного производства. Сборник материалов. Орел, 2015. С. 47–50.
18. Fei S., Shuwei G., Borui L., Yichao L., Sailing H. An Acoustic Metamaterial Lens for Acoustic Point-to-Point Communication in Air // Akustic journal. 2019. Vol. 65. No. 1. Pp. 1–6.
19. Фетисова М.А., Евстратов С.С. Возведение сельскохозяйственных зданий с применением блочно-комплексных устройств / В сборнике: Вестник строительства и архитектуры. Сборник научных трудов. Орел, 2014. С. 75–77.
20. Абашинов Е.Г., Астахов С.М., Болихов Б.А., Брезгин Ю.И., Волкова Л.А., Медведев В.Е., Мысишин И.С., Фетисова М.А. Технология, организация, планирование и управление строительным производством Вопросы-ответы, примеры, задачи и упражнения // Орел, 2013. 340с.

Информация об авторах

Фетисова Мария Александровна, кандидат технических наук, доцент кафедры агропромышленного и гражданского строительства. E-mail: fetisovamaria@mail.ru. Орловский Государственный аграрный университет. Россия, 302019, Орел, ул. Генерала Родина, д. 69.

Коломыцева Анастасия Юрьевна, ассистент кафедры агропромышленного и гражданского строительства. E-mail: Lubennickova.anastasia@yandex.ru. Орловский Государственный аграрный университет. Россия, 302019, Орел, ул. Генерала Родина, д. 69.

Поступила 09.09.2021 г.

© Фетисова М.А., Коломыцева А.Ю., 2022

**Fetisova M.A., Kolomytseva A.Yu.*

Oryol State Agrarian University named after N.V. Parakhina

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

FLEXIBLE APPROACH TO DESIGN OF A PRODUCTION FACILITY

Abstract. *The prerequisites for a high-quality solution of architectural and artistic problems in the design of industrial enterprises are determined. The planning system provides a systematic placement in space of the main structural elements of the composition (main roads and communications, individual zones and objects), and the preservation of the adopted structure during the development of the enterprise. Despite the further change in the building system as new capacities increase. General methods of organizing space are formed by various elements of building up industrial enterprises. The compositional solutions of industrial buildings can be classified depending on the methods of placing the standing equipment: buildings with an open facade; buildings with equipment; "building-installations". The improvement of the architectural and artistic qualities of the production environment is achieved through landscaping and landscaping of the territory, the color scheme of objects and complexes. The correct choice of the volume of buildings allows to reduce the area of the enclosing structures, which in turn reduces the energy loss of the building, to have a versatile orientation, better insolation and ventilation. Since here, technological, techno-economic and social factors are closely interconnected.*

Keywords: *manufacturing enterprise, architectural and artistic qualities, production environment, landscaping, design.*

REFERENCES

1. Korshunova L.A. Kuzmina N.G. Kuzmina E.V. Problems of energy saving and energy efficiency in Russia [Problemy energosberezheniya i energoeffektivnosti v Rossii]. Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. 2013. No. 6. Pp. 22-25. (rus)
2. Akiev R., Burtsev S., Busakhin A. and others. Catalog of technical solutions and practical recommendations for energy saving and energy efficiency of buildings and structures [Katalog tekhnicheskikh reshenij i prakticheskikh rekomendacij po energosberezheniyu i povysheniyu energeticheskoy effektivnosti zdanij i sooruzhenij]. [Electronic resource] M: National Association of Builders, 2014. 139 p. URL: <http://docs.cntd.ru/document/493668276>. (rus)
3. Amro M., Hind M., David A. Blind spots in energy transition policy: Case studies from Germany and USA. Energy Reports. 2019. No. 5. Pp. 20–28
4. Sampaio C.G., Alvar Aalto and Alvaro Siza: The Link between Architecture and Nature in the Construction of Place // Athens Journal of Architecture. 2015. Vol. 1.No. 3. Pp. 207–220.
5. Popov A.D. Light design of urban environment in modern urbanist [Svetovoj dizajn gorodskoj sredy v sovremennoj urbanistke]. Design. Materials. Technology. 2016. No. 2 (42). Pp. 16–19. (rus)
6. Wegmann M., Leutner B., Dech S. Remote sensing and GIS for ecologists: using open source software. Pelagic Publishing Ltd. 2016. 178 p.
7. Longley P.A., Goodchild M.F., Maguire D.J., Rhind D.W. Geographic information science and systems. John Wiley & Sons. 2015. 133 p.
8. Malakhov S.A. When will it be possible to teach architecture as a full-fledged profession? [Kogda poyavitsya vozmozhnost' obuchat' arhitekture kak polnocennoj professii?]. Traditions and innovations in construction and architecture, urban planning. Samara State University of Architecture and Civil Engineering. 2016. Pp. 128–131. (rus)
9. Liu Y., et al. The smart architect: Scalable ontology-based modeling of ancient Chinese architectures. IEEE Intelligent Systems. 2008. Vol. 23. No. 1. Pp. 49–56.
10. Mazandarani M.S.A. Transformation of Idea into Form by architect in management of smart cities. Proceedings of IFKAD-ISSN. Vol. 2280. 787 p.
11. Barco A.F., Vareilles E., Aldanondo M., Gaborit P. Open the packaging for the synthesis of

the facade plan under public decision. *Procedia Engineering*. 2014. Vol. 8502. Pp. 144–153.

12. Blazhnov A.A. Static calculation of the film roof of a cultivation structure [Staticheskij raschyot plyonochnoj krovli kul'tivacionnogo sooruzheniya]. *Scientific and theoretical journal bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov*. 2020. No. 10. Pp. 17–22. (rus)

13. Yuriev A.G. Calculation of the floor of an industrial building for force effects [Raschet pola promyshlennogo zdaniya na silovye vozdeystviya]. *Construction - 2002: mater. Int. scientific-practical conf. Rostov-on-Don: Publishing House of the Russian State Social University*. 2002. Pp. 21–22. (rus)

14. Tochina V.P., Popov A.D., Tankova N.A. Principles and methods of renovation of industrial facilities in world practice [Principy i metody renovacii promyshlennykh ob"ektov v mirovoj praktike]. *Scientific and theoretical journal bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov*. 2019. No. 6. Pp. 78–82. (rus)

15. Barco A.F., Fages J.G., Vareilles E., Aldanondo M., Gaborit P. Recursive algorithm of building renovation in "smart" cities. *Procedia Engineering*. 2015. Vol. 9255. Pp. 508–523.

16. Fetisova M.A., Lubennikova A.Yu., Restoration and construction of cultural and historical monuments [Restavraciya i stroitel'stvo kul'turno-istoricheskikh pamyatnikov]. In the collection: *bulletin*

of construction and architecture collection of conference proceedings. Orel. 2018. Pp. 7–11. (rus)

17. Marenkov A.G., Fetisova M.A. Foreign experience of reconstruction of facades [Restavraciya i stroitel'stvo kul'turno-istoricheskikh pamyatnikov]. *Innovative technical and technological solutions for the construction industry, housing and communal services and agricultural production. Collection of materials*. Orel. 2015. Pp. 47–50. (rus)

18. Fei S., Shuwei G., Borui L., Yichao L., Sailing H. An Acoustic Metamaterial Lens for Acoustic Point-to-Point Communication in Air. *Akustic journal*. 2019. Vol. 65. No. 1. Pp. 1–6.

19. Fetisova M.A., Evstratov S.S. Construction of agricultural buildings using block-complex devices. [Vozvedenie sel'skohozyajstvennykh zdaniy s primeneniem blochno-kompleksnykh ustrojstv]. In the collection: *Bulletin of construction and architecture. Collection of scientific papers*. Orel. 2014. Pp. 75–77. (rus)

20. Abashin E.G., Astakhov S.M., Bolikhov B.A., Brezgin Yu.I., Volkova L.A., Medvedev V.E., Mysishin I.S., Fetisova M.A. Technology, organization, planning and management of construction production Questions-answers, examples, tasks and exercises [Tekhnologiya, organizaciya, planirovanie i upravlenie stroitel'nym proizvodstvom Voprosy-otvety, primery, zadachi i uprazhneniya]. Orel. 2013. 340 p. (rus)

Information about the authors

Fetisova, Mariia A. PhD. E-mail: fetisovamaria@mail.ru. Oryol State Agrarian University named after N.V. Parakhina. Russia, 302019, Oryol, st. General Rodina, 69.

Kolomytseva, Anastasia Yu. PhD. E-mail: Lubennikova.anastasia@yandex.ru. Oryol State Agrarian University named after N.V. Parakhina. Russia, 302019, Oryol, st. General Rodina, 69.

Received 09.09.2021

Для цитирования:

Фетисова М.А., Коломытцева А.Ю. Гибкий подход к проектированию производственного объекта // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2022. № 2. С. 47–54. DOI: 10.34031/2071-7318-2021-7-2-47-54

For citation:

Fetisova M.A., Kolomytseva A.Yu. Flexible approach to design of a production facility. *Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov*. 2022. No. 2. Pp. 47–54. DOI: 10.34031/2071-7318-2021-7-2-47-54

DOI: 10.34031/2071-7318-2021-7-2-55-64

Перекопская М.А.*Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет**E-mail: mappi25@yandex.ru*

РОЛЬ ТЕРРИТОРИАЛЬНОГО ПЛАНИРОВАНИЯ В ОРГАНИЗАЦИИ ПОСЕЛЕНИЙ ЛЕСОПРОМЫШЛЕННОГО РАЙОНА

Аннотация. Объектом данного исследования является территориальное планирование поселений лесопромышленного района. В статье рассмотрена проблема взаимосвязи территориального и лесного планирования при организации и развитии системы поселений лесопромышленного района.

При проведении исследования использованы общедоступные данные, опубликованные работы зарубежных и отечественных авторов. Применены метод системного анализа и методология территориально-пространственной организации поселений региона.

Предложено изменение подхода к территориальному планированию поселений лесопромышленного района. И даны рекомендации по совершенствованию взаимодействия территориального и лесного планирования и разграничению назначения каждого из указанных видов планирования в обеспечении развития территорий лесопромышленных районов. Применение предлагаемого подхода к территориальному планированию поселений позволит обеспечить взаимосвязь процессов заготовки, последовательной безотходной переработки древесины и воспроизводства лесных ресурсов с территориально-пространственной организацией поселений лесопромышленного района.

Ключевые слова: документы лесного планирования, документы лесного планирования, лесопромышленный район, лесохозяйственные поселения, лесное планирование, территориальное планирование.

Введение. В России сформирована система ведомственного управления землями, территориями различного назначения. При этом взаимосвязанные компоненты, расположенные на данных землях, территориях рассматриваются изолированно. В частности, регулирование вопросов использования, охраны, защиты, воспроизводства лесов осуществляется посредством лесного планирования. Вопросы организации территорий лесохозяйственных поселений и размещения предприятий по обработке и переработке древесины рассматриваются в документах территориального планирования.

Сложившаяся система ведомственного регулирования лесопользования и лесовоспроизводства не учитывает условия, особенности и специфику организации и размещения производств по обработке и переработке древесины, а также поселений, население которых участвует в осуществлении технологических процессов по заготовке, транспортировке и переработке древесины. Данный подход не обеспечивает возможность непрерывного функционирования предприятий лесопромышленного комплекса и жизнедеятельность поселений соответствующих территорий.

Институт территориального планирования введен с принятием Градостроительного кодекса Российской Федерации [1], а институт лесного планирования – с принятием Лесного кодекса Российской Федерации [2].

На протяжении последних двух десятилетий указанные институты постоянно совершенствуются.

Вопросы территориального планирования исследуются в работах М.Я. Вильнера [3], Е.Г. Алпацкой [4], В.Н. Лаженцева [5, 6], О.А. Климановой [7], Л.К. Фазлиевой [8], В.В. Фаузера [9], В.И. Кирюшина [10], И.В. Тонкого [11], Д.С. Толмачева [12] и др. Институт лесного планирования рассматривается в работах О.В. Гамсахурдия [13], О.И. Милковой [14], Н.К. Прядилиной [15], А.И. Семячкова [16] и др.

Однако, обозначенные работы и другие исследования не дают ответа для решения проблемы взаимоувязанности систем территориального и лесного планирования при управлении территориями лесопромышленного района.

Действующими нормами определена односторонняя связь лесного и территориального планирования без четкого разграничения назначения каждого из указанных видов планирования в обеспечении развития территорий лесопромышленных районов.

Методология. При проведении исследования применена методология Ю.В. Алексеева территориально-пространственной организации поселений региона [17], включающая методы системного анализа, оценки взаимосвязи компонентов и типов среды жизнедеятельности людей.

Для детального исследования принят метод системного анализа компонентов и типов произ-

водственных территорий поселений и природного комплекса, где сосредоточены лесные ресурсы.

Основная часть. Посредством лесного планирования осуществляется регулирование вопросов лесовыращивания, лесопользования, в том числе промышленного, а также лесовосстановления.

Институт лесного планирования является относительно новым. Данный институт был введен в 2006 году с принятием Лесного кодекса Российской Федерации [2].

Под лесным планированием понимается вид деятельности, связанный с постановкой целей, задач и действий в области использования, охраны, защиты, воспроизводства лесов. Лесное

планирование направлено на обеспечение устойчивого развития территорий и является основой для освоения лесных участков.

Содержание понятия «устойчивое развитие территорий» раскрыто в Градостроительном кодексе Российской Федерации (далее – ГрК РФ) [1]. Согласно ГрК РФ «устойчивое развитие территорий - обеспечение при осуществлении градостроительной деятельности безопасности и благоприятных условий жизнедеятельности человека, ограничение негативного воздействия хозяйственной и иной деятельности на окружающую среду и обеспечение охраны и рационального использования природных ресурсов в интересах настоящего и будущего поколений» [1].

Лесное планирование осуществляется на уровне субъекта Российской Федерации, лесничества и лесных участков, рисунок 1.

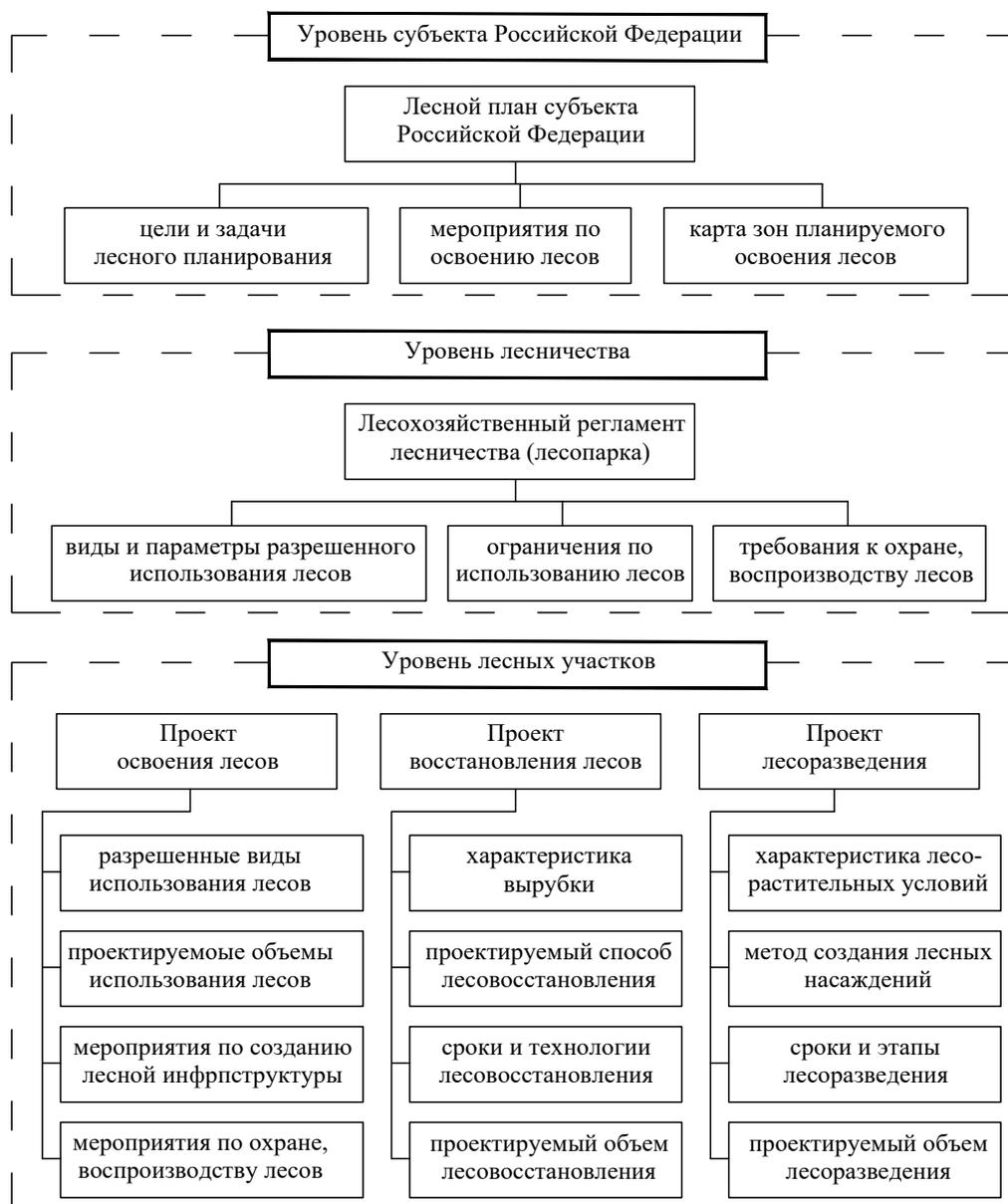


Рис. 1. Система лесного планирования

Анализируя представленную на рисунке 1 систему лесного планирования стоит отметить, что базовым ее документом является лесной план субъекта Российской Федерации (далее – лесной план).

Разработка лесного плана осуществляется с учетом требований, установленных ведомственным правовым актом, определяющим его состав и порядок подготовки [18]. Именно данным правовым актом закреплена, что лесной план разрабатывается на основе ведомственных документов (материалов государственной инвентаризации лесов, таксации лесов, государственного лесного реестра и пр.), а также документов территориального планирования.

Данное положение обеспечивает взаимосвязь лесного планирования с территориальным.

В свою очередь взаимосвязь территориального и лесного планирования нормами законодательства о градостроительной деятельности не закреплена.

Однако, лесной план содержит довольно большой информационный ресурс, который целесообразно учитывать при территориальном планировании. Наибольший интерес при обосновании проектных решений по размещению лесопромышленного комплекса и развитию лесохозяйственных поселений в процессе территориального планирования представляют сведения об оценке лесных ресурсов и средообразующих, водоохраных, защитных, санитарно-гигиенических, оздоровительных и иных полезных функций лесов, рынков лесопродукции и перспектив освоения лесов, которые содержатся в лесном плане.

Базовыми документами, определяющими функциональное назначение территорий исходя из совокупности социальных, экономических, экологических и иных условий, являются документы территориального планирования.

В России территориальное планирование осуществляется на уровне Российской Федерации (далее – СТП РФ), на региональном и местном уровнях (рис. 2).

Разрабатываемые СТП РФ определяют размещение объектов, необходимых для решения общегосударственных задач и оказывающих существенное влияние на социально-экономическое развитие страны.

Основной задачей территориального планирования на региональном уровне является определение элементов региональной системы поселений и выявления направлений их возможного развития, размещение дорог и объектов, необходимых для реализации полномочий субъектов

Российской Федерации, прогнозируемых ограничений использования отдельных территорий, в том числе особо охраняемых природных территорий.

Территориальное планирование на местном уровне в свою очередь опирается на документы территориального планирования вышестоящего уровня. Документы территориального планирования местного уровня имеют особую важность, так как они наиболее приближены к конечному пользователю соответствующей территории и позволяют определить ее функциональное назначение.

Вопросы территориально-пространственной организации поселений, в том числе лесохозяйственных, подлежат рассмотрению на всех уровнях территориального планирования, но в большей степени прорабатываются при территориальном планировании на региональном и местном уровнях.

Для одновременной проработки вопросов территориально-пространственной организации поселений лесопромышленного района, определения функционального назначения данных территорий, ГрК РФ предусмотрена совместная подготовка проектов документов территориального планирования.

Совместная подготовка документов территориального планирования может осуществляться управленческими структурами субъектов РФ и муниципальных образований, либо органами местного самоуправления различных муниципальных образований (муниципальных районов, городских и сельских поселений, городских округов), расположенных в границах лесопромышленного района.

Планирование поселений лесопромышленного района, обеспечение сбалансированности процессов освоения лесов и их воспроизводства, поддержание непрерывного функционирования существующих перерабатывающих производств, сохранение и дальнейшее развитие системы лесохозяйственных поселений, а также мониторинг территорий, пригодных для воспроизводства и плантационного лесовыращивания лесных ресурсов, которые могут быть вовлечены в хозяйственное использование, требуют изменения подхода к подготовке документов территориального и лесного планирования, посредством которых происходит управление данными сферами.

Обращаясь к опыту управления территориями лесопромышленных районов в ряде зарубежных стран (Швеция, Финляндия) [19–23], прежде всего, стоит отметить отход в данных странах от ведомственного управления и применение комплексного подхода.

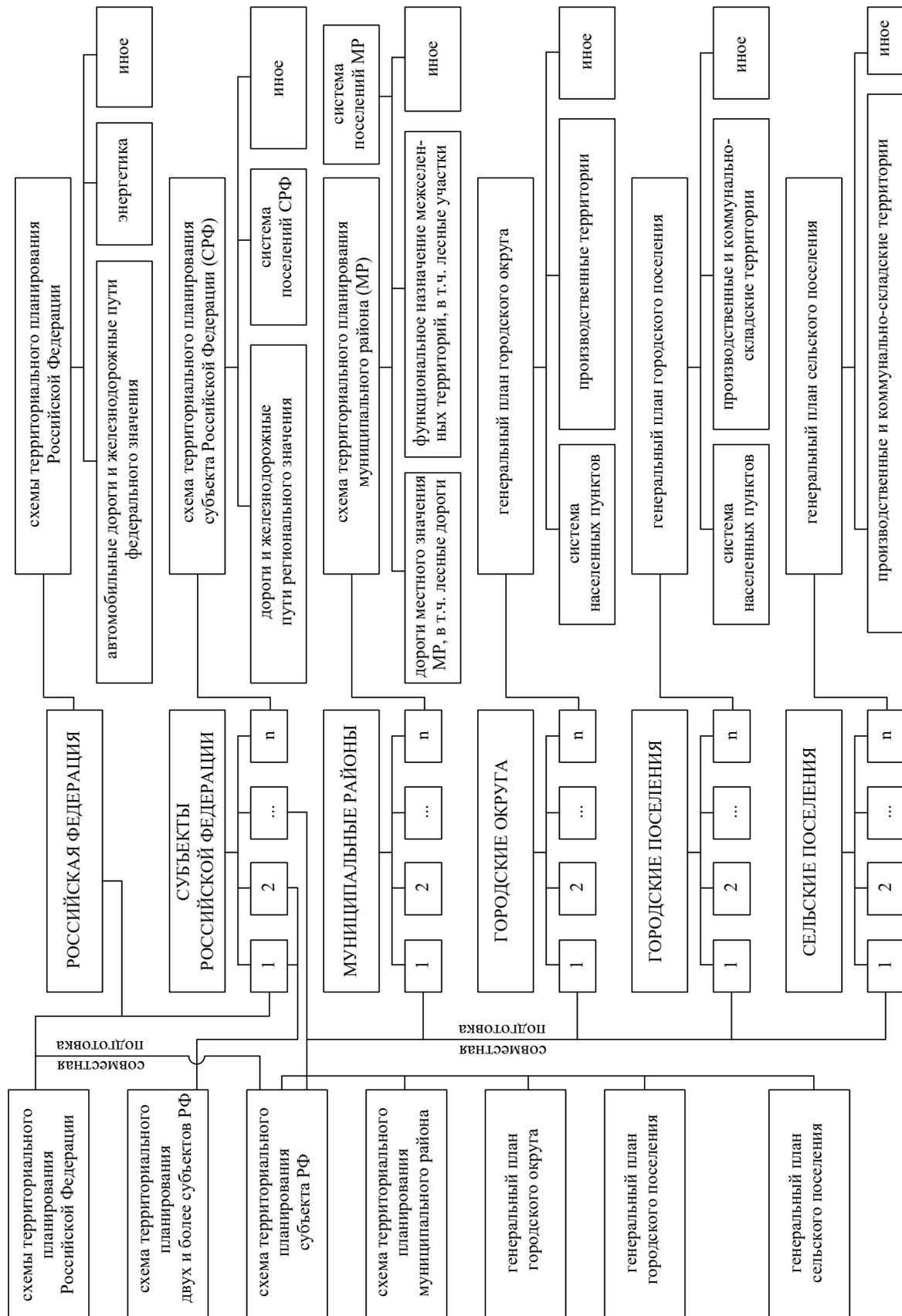


Рис. 2. Система документов территориального планирования

В Швеции и Финляндии преобладает система муниципального территориально-пространственного планирования при установлении общегосударственных принципов природопользования. Например, принципы государственной политики Швеции в сфере природопользования закреплены в законах «Об охране окружающей среды» (1969), «Об охране лесов и рек» (1964), «О воде» (1983).

В Швеции, как и в Финляндии, основная часть лесных ресурсов для нужд лесопромышленного комплекса выращивается на лесных плантациях, расположенных в южной и центральной частях стран и находящихся в частной собственности. Государственные леса расположены преимущественно в северных труднодоступных территориях.

Поэтому основная задача планирования на местном уровне — использование земельных и водных ресурсов в пределах правовых рамок под контролем правительства.

Данная модель управления территориями лесопромышленных районов не может быть полностью заимствована для России, учитывая, что система производства лесных ресурсов для лесопромышленного комплекса только формируется, преобладает экстенсивная модель лесопользования и установлена государственная форма собственности на леса.

Однако, подобный подход может быть реализован в России в адаптированном виде в случае четкого разграничения содержания документов лесного планирования и документов территориального планирования и задач их подготовки при обеспечении согласованности и взаимоувязанности данных документов, рисунки 3 и 4.

При разработке документов лесного планирования подлежит анализу ресурсный потенциал компонентов природного комплекса (лесных ресурсов, земельных ресурсов в границах земель лесного фонда), результаты которого должны учитываться при подготовке материалов по обоснованию документов территориального планирования.



Рис. 3. Задачи подготовки документов территориального и лесного планирования



Рис. 4. Содержание документов территориального планирования и документов лесного планирования

Проектные решения документов территориального планирования по зонам нормативного размещения участков сырьевой базы предприятий ЛПК должны учитываться при подготовке документов лесного планирования и документации, регулирующей вопросы использования лесов (лесохозяйственные регламенты, проекты освоения лесов, проекты лесовосстановления) с целью определения границ участков воспроиз-

водства лесов. Это позволит постепенно реализовать мероприятия по территориально-пространственной организации участков сырьевой базы и их сближению с производственными территориями лесохозяйственных поселений.

Для решения поставленных задач содержание документов территориального планирования и документов лесного планирования должно быть расширено и дополнено положениями, указанными на рисунке 4.

Выводы. Регулирование вопросов лесопользования, воспроизводства и защиты лесов носит ведомственный характер и осуществляется при лесном планировании, а также путем принятия лесохозяйственных регламентов, разработки проектов освоения лесов и их восстановления, документации по планированию размещения лесных дорог для вывозки древесины.

При этом вопросы территориально-пространственной организации лесоперерабатывающих производств, поселений, население которых участвует в осуществлении технологических процессов заготовки и переработки древесины, рассматриваются в документах территориального планирования. Действующим законодательством определена односторонняя связь лесного и территориального планирования без четкого разграничения назначения каждого из указанных видов планирования в обеспечении развития территорий лесопромышленного комплекса.

Лесное планирование должно быть подчинено территориальному в части интенсификации работ по лесовосстановлению, созданию плантационного лесоразведения, размещения участков сырьевых баз.

Внедрение предложенного механизма взаимосвязи лесного и территориального планирования позволит упорядочить процесс территориально-пространственной организации поселений в лесопромышленных районах.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ

1. Градостроительный кодекс Российской Федерации от 29 декабря 2004 г. № 190-ФЗ // Собрание законодательства РФ. 2005. № 1 (часть 1). Ст. 16.
2. Лесной кодекс Российской Федерации от 4 декабря 2006 г. № 200-ФЗ // Собрание законодательства РФ. 2006. № 50. Ст. 5278.
3. Вильнер М.Я. Основы территориального планирования в Российской Федерации. М.: Сросэксперт, 2013. 184 с.
4. Алпацкая Е.Г. Территориальное планирование: основные подходы // Вестник Челябинского государственного университета. 2013. № 3. Вып. 8. С. 5–8.
5. Лаженцев В.Н. Социально-экономическое пространство и территориальное развитие Севера и Арктики России // Экономика региона. 2018. Т. 14, вып. 2. С. 353–365. doi: 10.17059/2018-2-2
6. Лаженцев В. Н., Иванов В. А. Стратегия сельского развития северного района // Экономика региона. 2020. Т. 16, вып. 3. С. 696–711. doi: 10.17059/ekon.reg.2020-3-2
7. Климанова О. А., Колбовский Е. Ю., Илларионова О. А. Экологический каркас крупнейших городов Российской Федерации: современная структура, территориальное планирование и проблемы развития // Вестник Санкт-Петербургского университета. Науки о Земле. 2018. Т. 63. Вып. 2. С. 127–146. doi:10.21638/11701/spbu07.2018.201
8. Фазлиева Л.К. Полномочия органов местного самоуправления по установлению целевого назначения земель и его разрешенного использования: анализ теоретических проблем // Вестник Томского государственного университета. 2021. № 464. С. 272–276. doi: 10.17223/15617793/464/31
9. Фаузер В. В., Смирнов А. В., Фаузер Г. Н. Демографическая оценка устойчивого развития малых и средних городов российского Севера // Экономика региона. 2021. Т. 17, Вып. 2. С. 552–569. doi: 10.17059/ekon.reg.2021-2-14
10. Кирюшин В.И. Развитие территориального планирования в России // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2013. № 3. С. 125-130.
11. Тонкой И.В. Региональные системы расселения: тенденции формирования и предпосылки развития // Градостроительство. 2012. № 4. С. 77–81.
12. Толмачев Д.Е., Кузнецов П.Д., Ермак С.В. Методика выделения границ агломераций на основе статистических данных // Экономика региона. 2021. Т. 17, вып. 1. С. 44–58. doi: 10.17059/ekon.reg.2021-1-4
13. Гамсахурдия О.В. Совершенствование лесного планирования в контексте формирования лесной и лесоперерабатывающей инфраструктуры в лесном секторе России // Лесной вестник. 2011. № 1. С. 78–82.
14. Милкова О.И. Развитие государственного лесного планирования в субъекте Российской Федерации. Йошкар-Ола: ПГТУ, 2012. 171 с.
15. Прядилина Н. К. Стратегическое лесное планирование: опыт зарубежных стран// Инновации и инвестиции. 2018. № 2. С. 71–75.
16. Семячков А. И., Гао Ж., Атаманова Е. А. Управление природно-ресурсным потенциалом региона на основе изменчивости эколого-экономических индикаторов // Экономика региона. 2021. Т. 17. Вып. 2. С. 520–537. doi: 10.17059/ekon.reg.2021-2-12
17. Алексеев Ю.В., Сомов Г.Ю. Эволюция градостроительного планирования поселений : учебник. М. : Изд-во АСВ, 2014. 368 с.
18. Приказ Минприроды России от 20 декабря 2017 г. № 692 «Об утверждении типовой формы и состава лесного плана субъекта Российской Федерации, порядка его подготовки и внесения в него изменений» [Электронный ресурс]. Систем. требования: AdobeAcrobatReader. URL: <http://www.pravo.gov.ru> (дата обращения: 03.08.2021).

19. Gamfeldt L., Snäll T., Bagchi R., Jonsson M., Gustafsson L., Kjellander P., Ruiz-Jaen M.C., Fröberg M., Stendahl J., Philipson C. D., Mikusinski G., Andersson E., Westerlund B., Andrén H., Moberg F., Moen J., Bengtsson J. Higher levels of multiple ecosystem services are found in forests with more tree species // *Nature Communications*. 2013. № 4. 1340. doi: 10.1038/ncomms2328

20. Перекопская М. А., Алексеев Ю. В. Организация территорий с развитым лесопромышленным комплексом (на примере Швеции и России) / М.А. Перекопская, Ю.В. Алексеев // *Вестник МГСУ*. 2020. Т. 15. Вып. 9. С. 1228-1238. doi: 10.22227/1997-0935.2020.9.1228-1238

21. Fridman J., Holm S., Nilsson M., Nilsson P., Ringvall A., Ståhl G. Adapting National Forest Inventories to changing requirements - the case of the Swedish National Forest Inventory at the turn of the 20th century // *Silva Fennica*. 2014. Vol. 48. doi: 10.14214/sf.1095

22. Jonsson R., Egnell G., Baudin A. Swedish forest sector outlook study. Geneva, 2011. 100 с. [Электронный ресурс]. Систем. требования: AdobeAcrobatReader. URL: http://www.unece.org/fileadmin/DAM/timber/publications/DP-58_hi_res.pdf (дата обращения: 03.08.2021).

23. OECD territorial reviews: Skåne, Sweden. Paris: OECD, 2012. 293 с.

Информация об авторе

Перекопская Марина Алексеевна, аспирант кафедры градостроительства Института строительства и архитектуры. E-mail: mappi25@yandex.ru. Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет. Россия, 129337, Москва, Ярославское шоссе, д. 26.

Поступила 16.08.2021 г.

© Перекопская М.А., 2022

Perekopskaya M.A.

National Research Moscow State University of Civil Engineering

E-mail: mappi25@yandex.ru

THE ROLE OF TERRITORIAL PLANNING IN THE ORGANIZATION OF SETTLEMENTS IN THE TIMBER INDUSTRY AREA

Absrtact. *The object of this study is the territorial planning of settlements in the timber industry district. The article presents the relationship between territorial and forest planning in the organization and development of the settlement system of the timber industry. The research uses publicly available data, works of foreign and domestic authors. The method of system analysis and methodology of territorial and spatial organization of settlements of the region are applied. A change in the approach to territorial planning of settlements in the timber industry district is proposed. Recommendations are given on improving the interaction of territorial and forest planning and delineating the purpose of each of these types of planning in ensuring the development of the territories of forestry districts. The application of the proposed approach to the territorial planning of settlements will ensure the interconnection of the processes of harvesting, consistent waste-free processing of wood and reproduction of forest resources with the territorial and spatial organization of settlements of the timber industry area.*

Keywords: *forest planning documents, forest planning documents, forestry area, forestry settlements, forest planning, territorial planning.*

REFERENCES

1. Urban Planning Code of the Russian Federation [Gradostroitel'nyj kodeks Rossijskoj Federacii]. Collection of Legislation of the Russian Federation. 2005. No. 1 (part 1). (rus)

2. Forest Code of the Russian Federation [Lesnoj kodeks Rossijskoj Federacii]. Collection of Legislation of the Russian Federation. 2006. No. 50. (rus)

3. Vilner M. Ya. Fundamentals of territorial planning in the Russian Federation [Osnovy territorial'nogo planirovaniya v Rossijskoj Federacii]. Moscow: Srosexpert, 2013. 184 p. (rus)

4. Alpatskaya E.G. Territorial planning: basic approaches [Territorial'noe planirovanie: osnovnye podhody]. Bulletin of the Chelyabinsk State University. 2013. Vol. 3. No. 8. Pp. 5–8. (rus)

5. Lazhentsev V.N. Socio-economic space and territorial development of the North and the Arctic of Russia [Social'no-ekonomicheskoe prostranstvo i territorial'noe razvitie Severa i Arktiki Rossii]. Economy of the region. 2018. Vol. 14. No. 2. Pp 353–365. doi 10.17059/2018-2-2 (rus)

6. Lazhentsev V.N., Ivanov V.A. Strategy of rural development of the northern district [Strategiya sel'skogo razvitiya severnogo rajona]. Economy of the

region. 2020. Vol. 16. No. 3. Pp. 696–711. doi.org/10.17059/ekon.reg.2020-3-2 (rus)

7. Klimanova O.A., Kolbovsky E.Yu., Illarionova O.A. Ecological framework of the largest cities of the Russian Federation: modern structure, territorial planning and development problems [Ekologicheskij karkas krupnejshih gorodov Rossijskoj Federacii: sovremennaya struktura, territorial'noe planirovanie i problemy razvitiya]. Bulletin of the St. Petersburg University. Earth Sciences. 2018. Vol. 63. No 2. Pp. 127–146. doi: 10.21638/11701/spbu07.2018.201 (rus)

8. Fazlieva L.K. The powers of local self-government bodies to establish the purpose of land and its permitted use: analysis of theoretical problems [Polnomochiya organov mestnogo samoupravleniya po ustanovleniyu celevogo naznacheniya zemel' i ego razreshennogo ispol'zovaniya: analiz teoreticheskikh problem]. Bulletin of the Tomsk State University. 2021. No 464. Pp. 272–276. doi: 10.17223/15617793/464/31 (rus)

9. Fauser V.V., Smirnov A.V., Fauser G.N. Demographic assessment of sustainable development of small and medium-sized cities of the Russian North [Demograficheskaya ocenka ustojchivogo razvitiya malyh i srednih gorodov rossijskogo Severa]. Economy of the region. 2021. Vol. 17. No 2. Pp. 552–569. doi: 10.17059/ekon.reg.2021-2-14 (rus)

10. Kiryushin V.I. Development of territorial planning in Russia [Razvitie territorial'nogo planirovaniya v Rossii]. Izvestiya Orenburg State Agrarian University. 2013. No. 3. Pp. 125–130. (rus)

11. Tonoy I.V. Regional systems of settlement: tendencies of formation and prerequisites of development [Regional'nye sistemy rasseleniya: tendencii formirovaniya i predposylki razvitiya]. Urban planning. 2012. No. 4. Pp. 77–81. (rus)

12. Tolmachev D.E., Kuznetsov P.D., Ermak S.V. Methodology for identifying agglomeration boundaries based on statistical data [Metodika vydeleniya granic aglomeracij na osnove statisticheskikh dannyh]. Economy of the region. 2021. Vol. 17. No. 1. Pp. 44–58. doi: 10.17059/ekon.reg.2021-1-4 (rus)

13. Gamsakhurdia O.V. Improving forest planning in the context of the formation of forest and timber processing infrastructure in the forest sector of Russia [Sovershenstvovanie lesnogo planirovaniya v kontekste formirovaniya lesnoj i lesopererabatyvayushchej infrastruktury v lesnom sektore Rossii]. Lesnoy Vestnik. 2011. No. 1. Pp. 78–82. (rus)

14. Milkova O.I. Development of state forest planning in the subject of the Russian Federation [Razvitie gosudarstvennogo lesnogo planirovaniya v sub"ekte Rossijskoj Federacii]. Yoshkar-Ola: PSTU, 2012. 171 p. (rus)

15. Pryadilina N.K. Strategic forest planning: the experience of foreign countries [Strategicheskoe lesnoe planirovanie: opyt zarubezhnyh stran]. Innovations and investments. 2018. No. 2. Pp. 71–75. (rus)

16. Semyachkov A.I., Gao Zh., Atamanova E.A. Management of the natural resource potential of the region based on the variability of ecological and economic indicators [Upravlenie prirodno-resursnym potencialom regiona na osnove izmenchivosti ekologo-ekonomicheskikh indikatorov]. Economy of the region. 2021. Vol. 17. No. 2. Pp. 520–537. doi: 10.17059/ekon.reg.2021-2-12 (rus)

17. Alekseev Yu.V., Somov G.Yu. Evolution of urban planning of settlements : textbook. Moscow, ASV Publishing House, 2014. 368 p. (rus)

18. Order of the Ministry of Natural Resources of the Russian Federation of December 20, 2017, No. 692 «On approval of the standard form and composition of the forest plan of a Subject of the Russian Federation, the procedure for its preparation and amendments to it» [Ob utverzhdenii tipovoj formy i sostava lesnogo plana sub"ekta Rossijskoj Federacii, poryadka ego podgotovki i vneseniya v nego izmenenij]. AdobeAcrobatReader. URL: <http://www.pravo.gov.ru> (date of treatment: 03.08.2021). (rus)

19. Gamfeldt L., Snäll T., Bagchi R., Jonsson M., Gustafsson L., Kjellander P., Ruiz-Jaen M.C., Fröberg M., Stendahl J., Philipson C.D., Mikusinski G., Andersson E., Westerlund B., Andrén H., Moberg F., Moen J., Bengtsson J. Higher levels of multiple ecosystem services are found in forests with more tree species // Nature Communications. 2013. Vol. 4. 1340. doi: 10.1038/ncomms2328.

20. Perekopskaya M.A., Alekseev Yu.V. Organization of territories with a developed timber industry complex (on the example of Sweden and Russia) [Organizaciya territorij s razvitym lesopromyshlennym kompleksom (na primere SHvecii i Rossii)]. Vestnik MGSU. 2020. Vol. 15. No. 9. Pp. 1228–1238. doi: 10.22227/1997-0935.2020.9.1228-1238 (rus)

21. Fridman J., Holm S., Nilsson M., Nilsson P., Ringvall A., Ståhl G. Adapting National Forest Inventories to changing requirements - the case of the Swedish National Forest Inventory at the turn of the 20th century. Silva Fennica. 2014. Vol. 48. doi: 10.14214/sf.1095

22. Jonsson R., Egnell G., Baudin A. Swedish forest sector outlook study. Geneva, 2011. 100 p. AdobeAcrobatReader. URL: http://www.unece.org/fileadmin/DAM/timber/publications/DP-58_hi_res.pdf (date of treatment: 03.08.2021).

23. OECD territorial reviews : Skåne, Sweden. Paris: OECD, 2012. 293 p.

Information about the authors

Perekopskaya, Marina A. Postgraduate student. E-mail: mappi25@yandex.ru. National Research Moscow State University of Civil Engineering. Russia, 129337, Moscow, Yaroslavskoye sh., 26.

Received 16.08.2021

Для цитирования:

Перекопская М.А. Роль территориального планирования в организации поселений лесопромышленного района // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2022. № 2. С. 55–64. DOI: 10.34031/2071-7318-2021-7-2-55-64

For citation:

Perekopskaya M.A. The role of territorial planning in the organization of settlements in the timber industry area. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2022. No. 2. Pp. 55–64. DOI: 10.34031/2071-7318-2021-7-2-55-64

DOI: 10.34031/2071-7318-2021-7-2-65-75

Ярмош Т.С., *Краснопивцева П.В., Галдин Р.Е., Алейникова Н.В.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

*E-mail: polina9598@yandex.ru

ФОРМИРОВАНИЕ СОВРЕМЕННОГО ОБЩЕСТВЕННО-РЕКРЕАЦИОННОГО ПРОСТРАНСТВА ВОДОЛЬ Р. СЕВЕРСКИЙ ДОНЕЦ В Г. БЕЛГОРОД

Аннотация. Статья посвящена перспективам развития набережной р. Северский Донец в г. Белгороде. В современных условиях городской жизни одной из самых актуальных проблем архитектуры и градостроительства становится организация новых общественных и рекреационных пространств, а также реконструкция деградирующих городских территорий. В связи с активным освоением и застройкой приречных территории, во многих отечественных и зарубежных городах серьезные изменения претерпевают практически все компоненты природной среды. Поэтому, проектируя данные общественные пространства необходимо создавать новые архитектурно-ландшафтные компоненты максимально интегрированными в естественную среду. Набережные городов считаются самыми доступными местами рекреации для горожан, однако, в большинстве крупных городов России выход к реке отрезается от жилых и общественно-культурных районов города. Основные задачи, которые необходимо решить при проектировании этого вида территорий, – это сохранение и восстановление окружающей среды, а также создание комфортных условий для жизнедеятельности и досуга человека, ведь высокоурбанизированная среда негативно сказывается на психоэмоциональном и физическом состоянии горожан. Анализируя отечественные и зарубежные существующие набережные, можно сделать вывод, что проблема создания комфортной и доступной для горожан среды остается актуальной для большинства современных городов. В статье выявляются основные проблемы приречной территории набережной р. Северский Донец, проводится анализ территории предполагаемой застройки и предлагается проектное решение для создания нового рекреационного пространства для круглогодичного использования в г. Белгороде.

Ключевые слова: приречная территория, набережная, деградирующая территория, рекреационная зона, архитектурно-ландшафтная организация.

Введение. Открытые общественные пространства являются важнейшим элементом планировочной структуры города, поскольку, в первую очередь, они характеризуют качество жизни населения в целом, отражают уровень развития социальной и культурной инфраструктур, формируют общий облик города [1]. Современные открытые общественные зоны имеют множество функций: рекреационную, спортивную, развлекательную и т.д. Потребность в отдыхе в естественных природных условиях вместо урбанизированной среды выходит на первый план, поиск путей гармонизации пространства является одной из основных проблем при организации полноценной рекреационно-туристической деятельности [2]. Необходимость проведения реконструкций набережных назревает ввиду того, что многие российские города расположены в непосредственной близости от водоёмов [3]. 75 % населения сосредоточено в городах и существующие в этих пространствах набережные не всегда соответствуют современным мировым требованиям [4]. На приречных территориях в настоящее время активно развивается политика благоустройства рекреационных, зеленых, прогулочных и спортивных зон, мест массового отдыха и туризма [5]. Зарубежный опыт показывает, как приречные территории, превращенные в парки и

биотопы, способствуют поддержанию естественной экосреды [6]. Тенденции развития многих городов России, в настоящий момент, направлены на создание благоприятных условий для экореконструкции городских общественных пространств. Реализация данных тенденций осуществляется через разработку новой пространственной структуры «городов-ландшафтов», или реорганизацию существующей структуры, в которых экологическая и ландшафтная составляющая является главенствующей [7]. В каждом регионе для грамотной организации и дальнейшего развития рекреационных территорий необходимо учитывать особенности природного каркаса. В архитектурной практике всегда уделялось большое внимание созданию общественных пространств, что объясняется основной ролью этих территорий в образовании планировки и архитектурно-художественном образе города [8].

Набережная – особый вид открытого городского пространства линейной конфигурации, примыкающего к берегу водоема или водотока. Она включает в себя следующие элементы: берегоукрепительные сооружения; пешеходный озелененный бульвар; проезжую часть улицы; фронт застройки общественно-рекреационного, жилого назначения [9]. Без грамотного подхода к организации экологически чистой среды, а также

рационального устройства и внедрения зеленых зон в планировочные схемы городов и пригородов нельзя представить существование «умного», а главное безопасного для жизнедеятельности людей города. Учитывая влияние архитектуры на психические особенности человека, архитектура городов является одной из активных факторов формирования и развития психики и психической деятельности горожан, чье воздействие пока тщательно не изучено, но неоспоримо [10].

К сожалению, на протяжении последних нескольких лет можно наблюдать, что водоносность двух Белгородских рек (р. Северский Донец и р. Везелка) значительно сократилось, а также ухудшилось их экологическое состояние. В сложившейся ситуации необходима совместная работа экологов, строителей, архитекторов и других специалистов для сохранения не только экологического равновесия на территории города, но и неповторимого образа города, жилой группы или квартала, центром которого может стать малая речка, озеро или пруд [11]. Так как без «учета интересов человека, как потребителя, без понятий о его пребывании в любом конкретном объекте городской жилой среды не может осуществиться цивилизованного обустройства его жизненного пространства» [12].

Рекреационные зоны являются главными «зелеными украшениями» города. Большинство современных городов стараются увеличить площадь зеленых массивов, ведь они выполняют множество функций:

- ветро- и шумозащита;
- создание теней;
- очищение воздуха.

В результате обследования приречных территорий г. Белгорода и анализа их состояния, было принято решение о необходимости благоустройства набережной р. Северский Донец. Обоснованием для разработки проекта «Архитектурно-ландшафтная организация набережной р. Северский Донец с разработкой досугового центра в г. Белгород» послужила рекомендация УАиГ города Белгорода.

В ходе обследования территории набережной были выявлены следующие проблемы:

- отсутствие благоустроенных общественных пространств, зон досуга и отдыха населения вдоль реки;
- отсутствие связей между зелеными пространствами, а также хаотичное озеленение участка;
- отсутствие выделенных входных зон;
- отсутствие благоустроенных подходов и подъездов;

- потерян внешний эстетический вид набережной;
- загрязнение водоема;
- очевидно отрицательное влияние деградирующих индустриальных зон, парковок и гаражей.

На основании данного обследования были сформулированы цели и задачи для разработки проекта.

Цель исследования – анализ общественно-рекреационных пространств (деградирующей приречной территории) г. Белгорода.

Объект исследования – общественно-рекреационные пространства (деградирующая приречная территория) г. Белгорода.

Предмет исследования – особенности архитектурной и экологической составляющей общественно-рекреационных пространств (деградирующей приречной территории) в структуре города.

Задачи исследования:

— рассмотреть особенности проектирования общественно-рекреационных пространств (набережных) на различных градостроительных уровнях;

— проанализировать общественно-рекреационные пространства (деградирующую приречную территорию) города и дать оценку их текущему состоянию;

— выработать предложения по преобразованию деградирующей территории в комфортную рекреационную зону, отвечающую всем современным требованиям, а также создание новой общественной точки притяжения городского масштаба.

Современный опыт развития городов показывает, что грамотное формирование набережных оказывает благоприятное воздействие на город в целом [13].

Материалы и методы. Архитектурные и ландшафтные проекты берут за свою основу теоретические исследования, представляющие из себя комплекс мер и требований по изменению структуры города, зависящей от характеристики и критериев его пространства [14].

Авторами исследования применялся комплексный и ландшафтно-экологический подходы. Были использованы методы градостроительного и графоаналитического анализа, фотофиксация, натурное обследование, изучение нормативных, проектных и исторических материалов.

Градостроительный анализ позволит рассмотреть общественно-рекреационные пространства (набережные) в структуре города.

Изучением различных сторон планировки ландшафта в городе занимались А. П. Вергунов,

А. Г. Микулина, Р. Хааг, Б. С. Черкес, Е. А. Ахмедова, С. И. Санок, А. Г. Григорян, А. Г. Большаков и др.

Изучению ландшафтной архитектуры, экологическим и эстетическим основам ландшафтного проектирования посвящены работы Т. Вирта, А. П. Вергунова, Л. Б. Лунца, В. А. Горохова, Е. М. Микулиной, Л. С. Залесской, В. А. Нефедова, З. А. Николаевской, Ю. Б. Хромова, А. В. Сычевой и др.

Основная часть. 1. Анализ территории проектирования. Проектируемая набережная р. Северский Донец находится в центральной части города Белгорода, имеет вытянутую форму и затрагивает территории от завода «КонПрок» до лесопарка Сосновка. Благоустраиваемая территория находится в пределах ул. Победы, ул. Вол-

чанская, просп. Ватутина. По территории благоустройства проходит ул. Костюкова. Разработка и благоустройство территории набережной предлагается на двух берегах р. Северский Донец (рис. 1).

Площадь проектируемой территории составляет 107 Га.

По карте кадастрового деления территорий данные земли имеют следующую категорию: земли поселений для рекреационной деятельности.

Место проектируемой набережной имеет некоторые планировочные ограничения, такие как: водоохранная зона, прибрежная полоса, защитная зона ЛЭП, проходящих вблизи территории проектирования, зоны охраняемых природных ресурсов (рис. 2).



Рис. 1. а) расположение проектируемой территории в структуре г. Белгород; б) ситуационная схема.

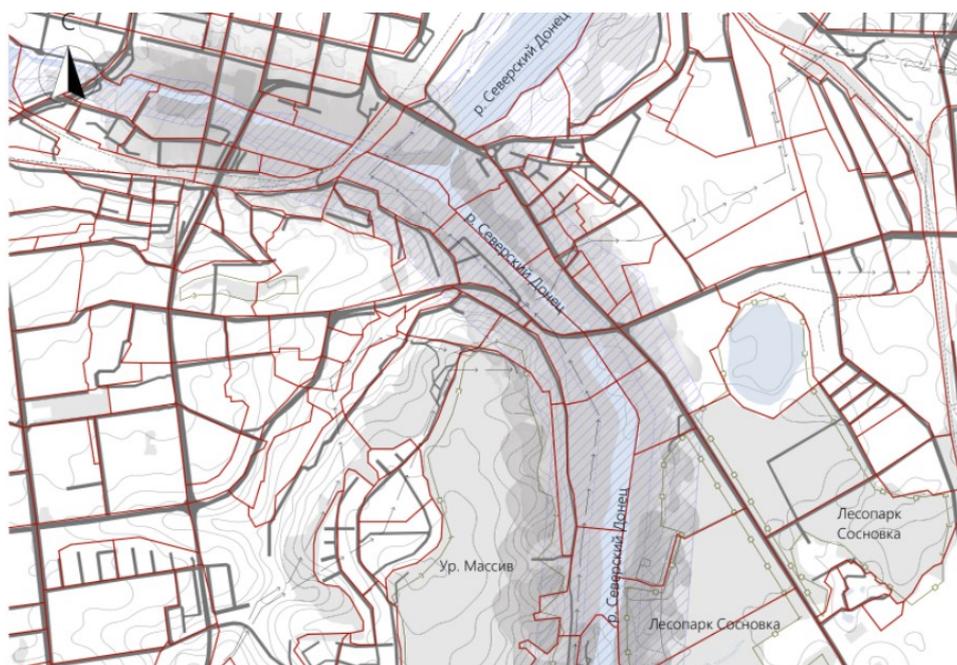


Рис. 2. Схема планировочных ограничений
(— кадастровые границы, - - - водоохранная зона, → прибрежная полоса, — ЛЭП).

В ходе анализа рельефа территории было выявлено, что набережная имеет спокойный рельеф, максимальный уклон зафиксирован в зоне застройки новых жилых домов средней этажности (рис. 3). В связи с этим, в проекте предложено обустроить лестничный спуск от жилой застройки к обустраиваемой набережной. В месте проектирования досугового центра уклон рельефа составляет менее двух процентов.

Набережная располагается в центре жилой застройки. Основная масса жилья представлена

усадебными домами. С точки зрения инфраструктуры территория имеет несколько остановок общественного транспорта, радиус обслуживания которых составляет 250 м и распространяется на проектируемую набережную. В связи с этим отсутствует необходимость в создании новых остановок общественного транспорта. Также вблизи проектируемой территории располагается начальная школа №35, центр народного творчества, теннисный корт, мебельный магазин, церковь Архангела Михаила, БГТУ им. В. Г. Шухова и т.д. (рис. 4).

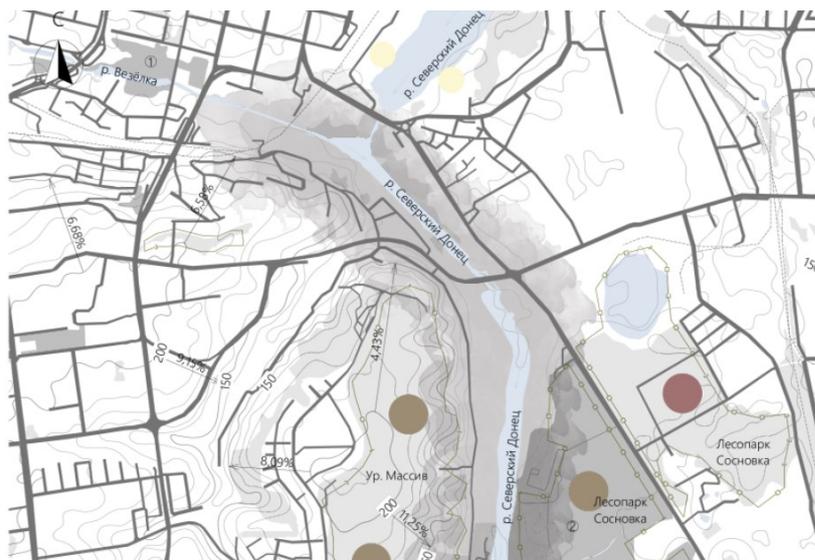


Рис. 3. Схема природного каркаса и анализа рельефа



- Условные обозначения:
- Малоэтажные жилые дома
 - Многоэтажные жилые дома
 - Лечебно-профилактические учреждения
 - Детские сады
 - Школы
 - Высшие учебные заведения
 - Гаражные постройки
 - Автомастерские и автозаправочные станции
 - Автобусная остановка
 - Радиус обслуживания автобусной остановки (R=250м)
 - Радиус обслуживания детского сада (R=500м)
 - Радиус обслуживания школы (R=750м)
 - Место проектируемого объекта
 - Торговые здания и бытовые учреждения
 - Административные здания, деловые центры
 - Культурно-зрелищные учреждения
 - Спортивные здания и сооружения
 - Культурные сооружения
 - Промышленные и складские помещения

Рис. 4. Опорный план

2. Генеральный план набережной. Функциональное зонирование территории и транспортно-пешеходные связи. Главной задачей при проектировании генерального плана набережной является создание единого пространства, которое будет объединять в себе множество различных функциональных зон. В процессе разработки генерального плана набережной р. Северский Донец следует ориентироваться на функциональное деление территории, связность пешеходных маршрутов и транспортную доступность. Также необходимо связать новую транспортно-пешеходную сеть с уже существующими пешеходными и велосипедными дорожками, располагающимися в парке Победы. Учитывая весь проведенный предпроектный анализ территории, было предложено разделить всю набережную на четыре основные зоны притяжения горожан, название которых соответствует каждому из времен года: зима, весна, лето, осень. Это обусловлено не только красивым названием, но и подготовленностью этих участков к проведению сезонных праздников и мероприятий.

На территории набережной запроектированы следующие функциональные зоны (рисунок 1.5):

- ландшафтный парк («Весна», парк сирени, «Лето», «Осень», «Зима»);
- зона детской площадки для различных возрастных групп;
- спортивная зона (баскетбольная и волейбольная площадки, ворк-аут, площадки для настольного тенниса и т.д.);
- зона тихого отдыха;
- коммерческая зона (кафе и прокат спортивного инвентаря);
- зона досугово центра;
- хозяйственная зона;
- зона проведения массовых мероприятий на открытом воздухе (площадь досугово центра, амфитеатр, площадь «Зима»);
- зона активного отдыха;
- пикник зона;
- зона рыбной ловли;
- пляжная зона.

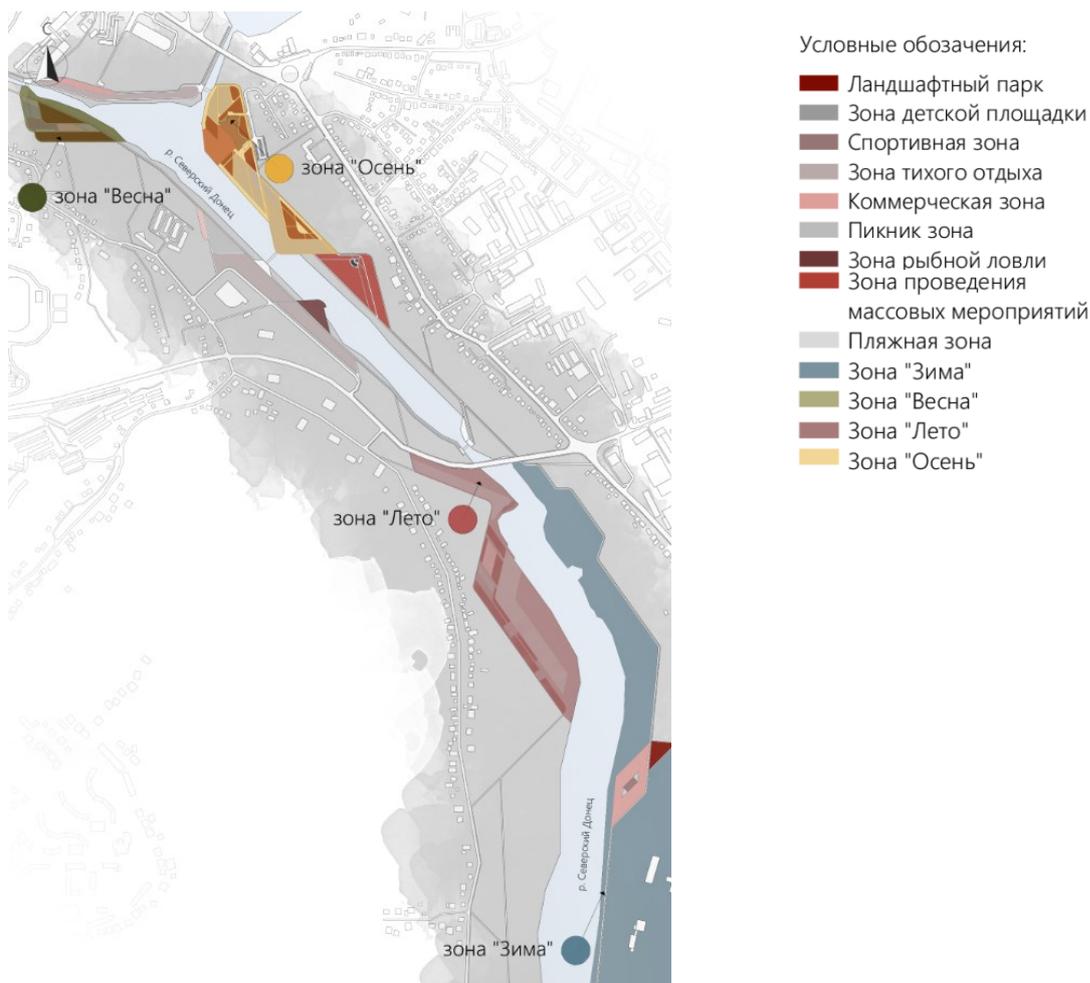


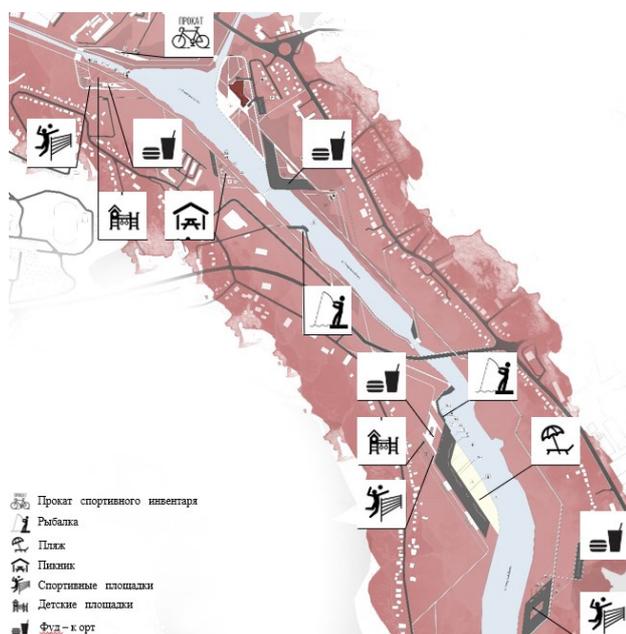
Рис. 5. Схема функционального зонирования набережной р. Северский Донец

В каждой зоне притяжения горожан располагаются детские игровые площадки, которые запроектированы для различных возрастных групп, различные спортивные площадки, киоски и кафе с летними площадками, общественные туалеты. В начале и в конце проектируемой территории предусмотрены два проката спортивного инвентаря, один из которых (расположенный в функциональной зоне «Зима») предоставляет услуги по аренде инвентаря для зимних видов спорта.

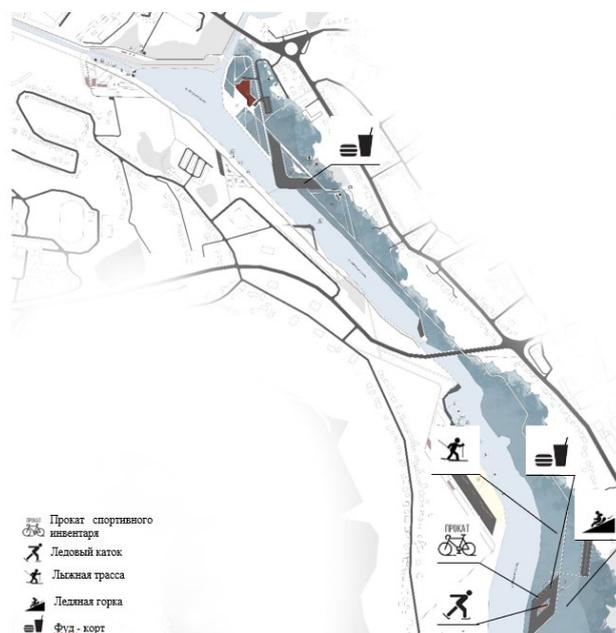
Зона «Осень» включает в себя общественный городской пляж, на территории которого запроектированы: спасательная вышка, душ, общественные туалеты, тентовые навесы, кафе. Самой

масштабной является зона «лето», которая включает в себя территорию проектируемого досугово-центра, ландшафтный парк «Лето», амфитеатр и настилы, выступающие над водой, предназначенные для тихого отдыха.

В процессе создания проекта были разработаны два сценария использования территории: летний и зимний. Для проведения мероприятий в теплое время года подходят все запроектированные функциональные зоны, а в холодное время года предлагается использовать функциональные зоны «Осень» и «Зима» со всей входящей в них инфраструктурой (рис. 6).



а)



б)

Рис. 6. Схема круглогодичного использования территории
а) летний сценарий использования; б) зимний сценарий использования.

Разработка набережной является частью грандиозного проекта, осуществляемого в г. Белгород, целью которого является объединить разрозненные рекреационные территории, расположенные вдоль р. Везелка и р. Северский Донец, в единое парково-прогулочное пространство. Разработка данного участка набережной является одним из связующих звеньев между уже реализованных участков набережной р. Везелки в парке Победы и набережной р. Северский Донец в лесопарке Сосновка. В связи с этим необходимо проектировать новую транспортно-пешеходную систему так, чтобы она была закольцована с уже существующими пешеходными и велосипедными дорожками. Предполагается, что подходы

к набережной будут осуществляться с девяти основных направлений: со стороны центра города, с лесопарка Сосновка, с центрального городского пляжа, два подхода со стороны ул. Волчанская и четыре подхода со стороны жилых домов, запроектированные специально для местных жителей.

Проектом предлагается создание трёх новых пешеходных мостов, которые помогут связать два берега реки. Также для обеспечения безопасности горожан предусматривается возведение пешеходного моста над автомобильной дорогой по ул. Костюкова.

Все вышеперечисленные зоны связаны между собой пешеходными прогулочными до-

рожками и тропами. Также по территории набережной проходит велосипедная дорожка и предусмотрены перехватывающие прокаты спортивного инвентаря.

Для создания транспортной доступности данной набережной были запроектированы четыре новых подъезда с разворотными площадками и две парковочные площадки на 290 машиномест (рис.7).

Живописный ландшафт территории, а также сценарный подход к организации генерального плана набережной позволили структурировать потоки людей, находящихся в парке.

При разработке этой территории целесообразно использовать гибкую планировочную

структуру с созданием нескольких точек притяжения. Конфигурация генерального плана является вытянутой и сложной (рис. 8).

Для укрепления береговой линии предлагается использовать сетку и высадку кустарников и деревьев. Для проектирования настилов, располагающихся над водой, необходимо возведение свай. Каркас настилов – металлокаркас, облицовка – деревянный настил.

В результате комплексного подхода к решению поставленных задач, набережная решена как одно из главных общественных пространств города, отвечающее потребностям всех групп населения города и его гостей [15].

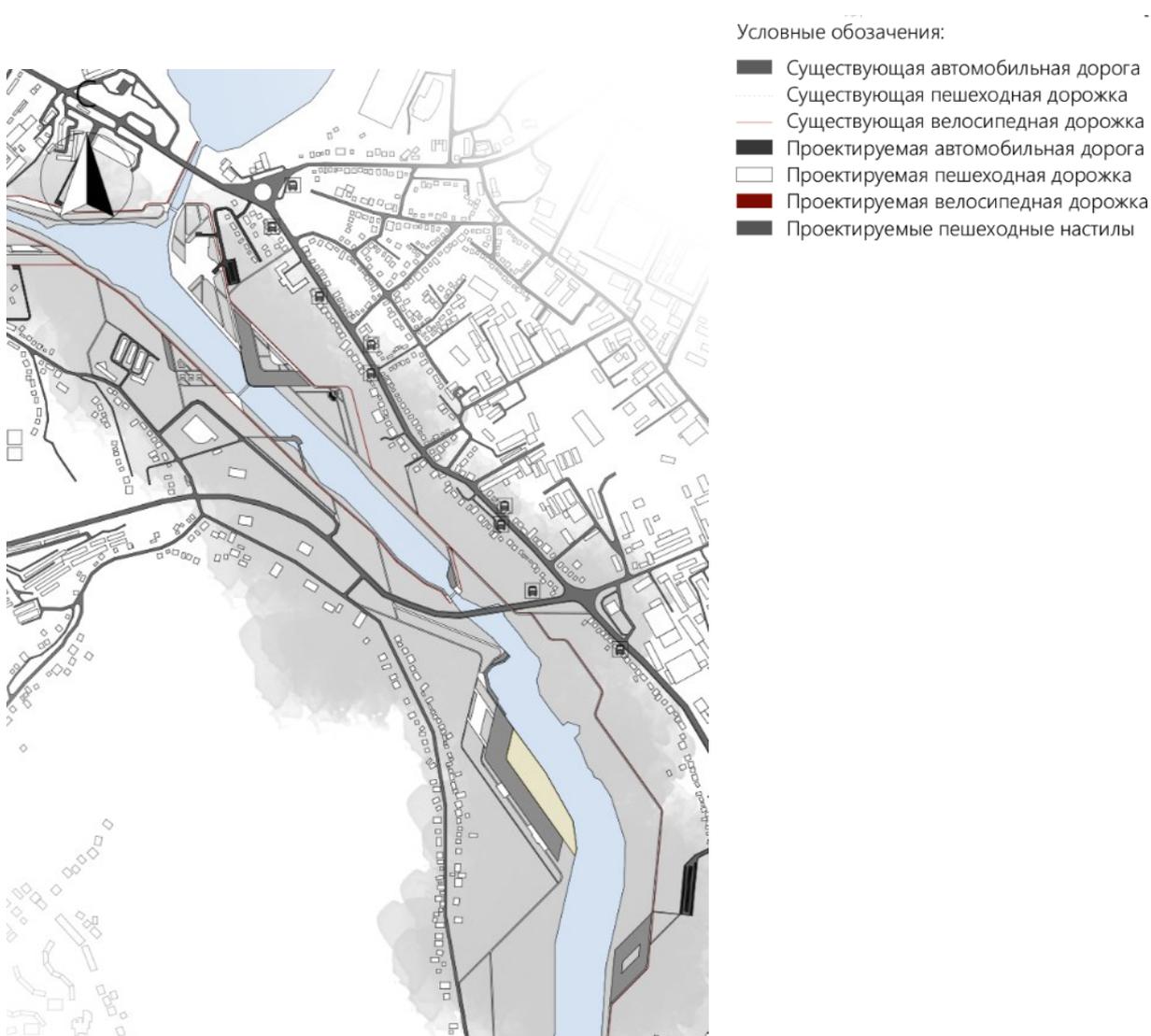


Рис. 7. Транспортно-пешеходная схема

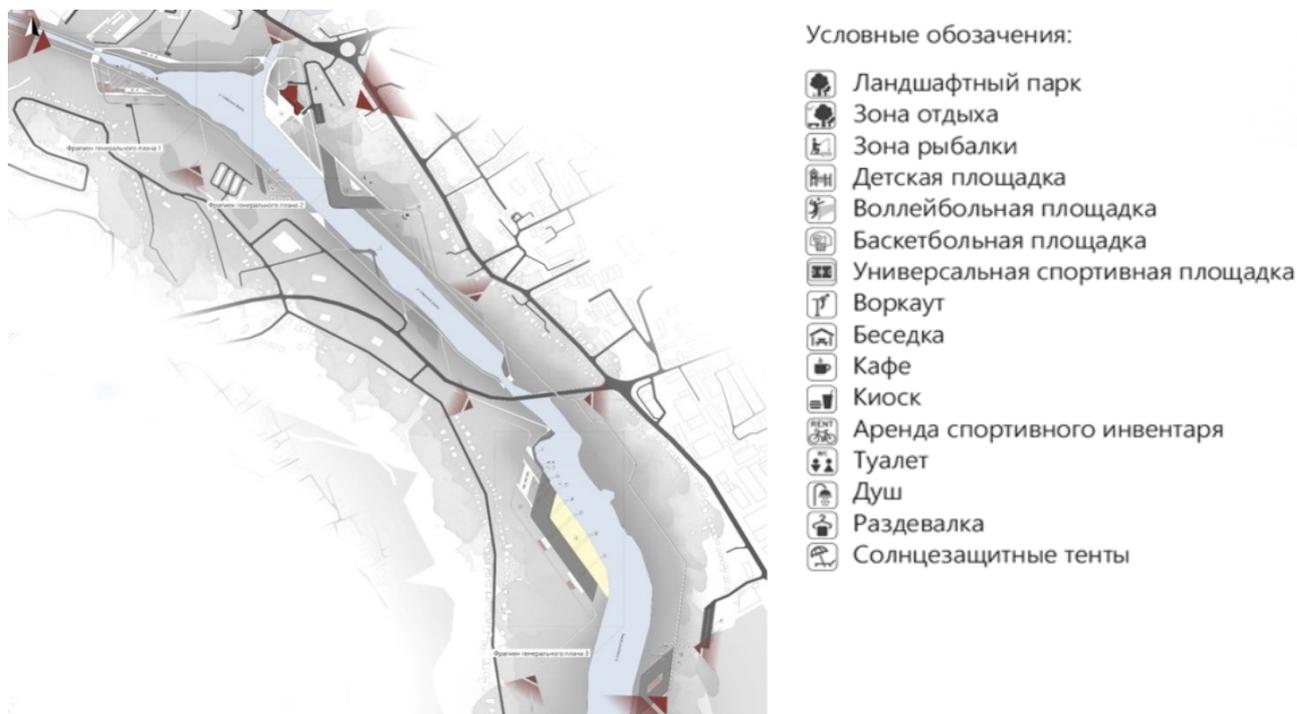


Рис. 8. Генеральный план набережной р. Северский Донец

Выводы. Таким образом в результате проведенного анализа территории вдоль реки Северский Донец в г. Белгороде выявляются её основные проблемы: отсутствие благоустроенных общественных пространств, зон досуга и отдыха населения вдоль реки, связей между зелёными пространствами, хаотичное озеленение участка, отсутствие выделенных входных зон и благоустроенных подходов и подъездов, неэстетичный вид набережной, загрязнение водоема, отрицательное влияние деградирующих промышленных зон, парковок и гаражей и т.д.

На основании обследования в статье были сформулированы цели и задачи, которые необходимо решить при проектировании этого вида территорий, – сохранение и восстановление окружающей среды, а также создание комфортных условий для жизнедеятельности и досуга человека, ведь высокоурбанизированная среда негативно сказывается на психоэмоциональном и физическом состоянии горожан.

В результате было предложено проектное решение по созданию нового рекреационного пространства для круглогодичного использования: благоустроенной современной набережной. Проект призван гармонично вписаться в существующую архитектурно-ландшафтную среду и устранить все существующие проблемы, которые были выявлены в результате обследования территории.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Перькова М.В., Заикина А.С. Особенности формирования общественных пространств в г. Шебекино // Евразийский союз ученых. 2015. №11-1(20). С. 11–15.
2. Крушельницка Е.И., Перькова М.В. Формирование территорий рекреационно-туристического назначения в малых и средних городах Белгородской области // Города России: проблемы строительства, инженерного обеспечения, благоустройства и экологии: сборник статей XVI Международной научно-практической конференции. (Пенза, 1 апреля 2014 г). Пенза, 2014. С. 44-48.
3. Васильева В.Р., Спектор Г.З. Современные тенденции и принципы организации среднего пространства набережных // Дизайн и искусство – стратегия проектной культуры XXI. 2016. С. 35–38.
4. Генисаретский О.И. Дизайн, городская среда и проектная культура // Дизайн и город. Труды ВНИИТЭ.
5. Yarmosh T.S., Grigoreva P.V. Modern embankments of minor rivers on the example of the Belgorod region's cities // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020. Vol. 944 (1). 012038 (1-14). doi:10.1088/1757-899X/944/1/012038.

6. Perkova M.V., Tribuntseva K.M., Blagovidova N.G. Features of design of ecovillages in depressed areas in the city // Research journal of applied sciences. 2015. №10. С. 608-619.
7. Королев И.С., Королев А.С. Процесс урбанизации прибрежных пространств современного города (на примере Белгородской городской агломерации) // Успехи современного естествознания. 2018. № 4. С. 127-132.
8. Перькова М.В., Дребезова М.Ю., Чернышева Н.В., Перькова А., Стойкович Н. Пробное проектирование зеленых офисов для малого и среднего бизнеса на основе аддитивно-модульных технологий // Технологии аддитивного производства. Том 1. № 4. С. 22–34.
9. Петрова В.В. Формирование архитектурно-ландшафтной среды прибрежных территорий, на примере г. о. Тольятти. Тольятти, 2019. 84с.
10. Ярмош Т.С., Иванова С.И. Влияние архитектурной среды на поведение человека // Научные технологии и инновации (XXI научные чтения): Междунар. науч.-практ. конф., (Белгород, 06–07 октября 2016 года). Белгород: Изд-во БГТУ, 2016. С. 261–266.
11. Баклаженко Е.В., Хорошилова А.А. Градостроительный анализ экологического состояния приречных территорий города Белгород // Международная научно-техническая конференция молодых ученых БГТУ им. В.Г. Шухова. (Белгород, 1-20 мая 2017 г). Белгород, 2017. С. 3118-3122.
12. Ярмош Т.С., Бабаева М.А. Роль ландшафтной архитектуры в формировании общественных пространств современного города // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2020. №12. С. 102–109.
13. Хасанов Р.Р., Киносьян Н.С. Принципы архитектурно-градостроительной организации устойчивых городских набережных // Известия казанского государственного архитектурно-строительного университета. 2018. № 2(44). С. 38–46.
14. Разумовский Ю.В. Ландшафтный дизайн. М.: Форум. Инфра. 2016. 160 с.
15. Фестиваль «Белая башня 2013»: итоги тематических конкурсов, гран-при [Электронный ресурс]. Системные требования: Adobe Acrobat Reader.URL: <http://tehne.com/event/novosti/festival-belaya-bashnya-2013-itogi-tematicheskikh-konkursovgran-pri>(дата обращения: 07.08.2021 г.)

Информация об авторах:

Ярмош Татьяна Станиславовна, кандидат социологических наук, доцент кафедры архитектуры и градостроительства. E-mail: grand-tanya@yandex.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Краснопивцева Полина Вячеславовна, студент-бакалавр кафедры архитектуры и градостроительства. E-mail: polina9598@yandex.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Галдин Роман Евгеньевич, студент, E-mail: roman.galdin2011@yandex.ru, Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Алейникова Надежда Васильевна, старший преподаватель кафедры архитектуры и градостроительства. E-mail: bogoda6.0@mail.ru, Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Поступила 29.07.2021 г.

© Ярмош Т.С., Краснопивцева П.В., Галдин Р.Е., Алейникова Н.В., 2022

Yarmosh T.S., *Krasnopivtseva P.V., Galdin R.E., Aleynikova N.V.

BelgorodStateTechnologicalUniversity named after V.G. Shukhov

**E-mail: polina9598@yandex.ru*

FORMATION OF A MODERN PUBLIC AND RECREATIONAL SPACE ALONG THE SEVERSKY DONETS RIVER IN BELGOROD

Abstract. *The article is devoted to the prospects for the development of the river Seversky Donets in Belgorod. In modern conditions of urban life, one of the most pressing problems of architecture and urban planning is the organization of new public and recreational spaces, as well as the reconstruction of degrading urban areas. In connection with the active development of riverside territories, various components of the*

natural environment undergo serious changes in many domestic and foreign cities. Therefore, when designing these public spaces, it is necessary to create new architectural and landscape components as integrated as possible into the natural environment. The embankments of cities are considered the most accessible places for recreation for citizens, however, in most large cities of Russia, access to the river is cut off from residential and social and cultural areas of the city. The main tasks that need to be solved when designing this type of territories are the preservation and restoration of the environment, as well as the creation of comfortable conditions for human life and leisure. Its highly urbanized environment negatively affects the psycho-emotional and physical state of citizens. Analyzing domestic and foreign existing embankments, we can conclude that the problem of creating a comfortable and accessible environment for citizens remains relevant for most modern cities. The article identifies the main problems of the riverine territory of the embankment of the river Seversky Donets. The analysis of the territory of the proposed development is carried out and a design solution is proposed for creating a new recreational space for year-round use in Belgorod.

Keywords: riverine territory, embankment, degrading territory, recreational zone, architectural and landscape organization.

REFERENCES

1. Perkova M.V., Zaikina A.S. Features of the formation of public spaces in Shebekino [Osobennostim formirovaniya obshchestvennykh prostranstv v g. Shebekino]. *EvrAzijskiy soyuz uchenykh*. 2015. No. 11-1(20). Pp. 11–15. (rus)
2. Krushelnitskaya E.I., Perkova M.V. Formation of recreational and tourist areas in small and medium-sized towns of the Belgorod region [Formirovanie territorij rekreacionno-turisticheskogo naznacheniya v malyh i sred-nih gorodah Belgorodskoj oblasti] *Goroda Rossii: problemy stroitel'stva, inzhenerno-go obespecheniya, blagoustrojstva i ekologii: sbornik statej XVI Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii*. (Penza, 1 aprelya 2014 g). Penza, 2014. Pp. 44–48. (rus)
3. Vasilyeva V.R., Spector G.Z. Modern trends and principles of organizing the environment of the embankments [Sovremennye tendencii i principy organizacii sredovogo prostranstva naberezhnykh] *Dizajn i iskusstvo – strategiya proektnoj kul'tury XXI*. 2016. Pp. 35–38. (rus)
4. Genisaretsky O.I. Design, urban environment and project culture [Dizajn, gorodskaya sreda i proektnaya kul'tura]. *Dizajn i gorod. Trudy VNIITE*. (rus)
5. Yarmosh T.S., Grigoreva P.V. Modern embankments of minor rivers on the example of the Belgorod region's cities. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2020. Vol. 944 (1). Pp. 012038 (1–14). doi:10.1088/1757-899X/944/1/012038.
6. Perkova M.V., Tribuntseva K.M., Blagovidova N.G. Features of design of ecovillages in depressed areas in the city. *Research journal of applied sciences*. 2015. Vol.10. Pp. 608–619.
7. Korolev I.S., Korolev A.S. The process of urbanization of coastal spaces of a modern city (on the example of the Belgorod urban agglomeration) [Process urbanizacii pribrezhnykh prostranstv sovremennogo goroda (na primere Belgorodskoj gorodskoj aglomeracii)] *Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya*. 2018. No. 4. Pp. 127–132. (rus)
8. Perkova M.V., Drebezova M.Yu., hernysheva N.V., Perkova A., Stoykovich N. Trial design of green offices for small and medium-sized businesses based on additive-modular technologies [Probnoe proektirovanie zelenykh ofisov dlya malogo i srednego biznesa na osnove additivno-modul'nykh tekhnologij] *Tekhnologii additivnogo proizvodstva*. Vol. 4. Pp. 22–34. (rus)
9. Petrova V.V. Formation of the architectural and landscape environment of coastal areas, on the example of the city of about Tolyatti [Formirovanie arhitekturno-landshaftnoj sredy pribrezhnykh territorij, na primere g. o. Tol'yatti. Tol'yatti,]. *Togliatti*, 2019. 84 p. (rus)
10. Yarmosh T.S., Ivanova S.I. Influence of the architectural environment on human behavior [Vliyanie arhitekturnoj sredy na povedenie cheloveka] *Naukoemkie tekhnologii i innovacii (XXI nauchnye chteniya): Mezhdunar. nauch.-prakt. konf., (Belgorod, 06–07 oktyabrya 2016 goda)*. Belgorod. Belgorod: BSTU, 2016. Pp. 261–266. (rus)
11. Baklazhenko E.V., Khoroshilova A.A. Urban planning analysis of the ecological state of riverine areas of the city of Belgorod [Gradostroitel'nyj analiz ekologicheskogo sostoyaniya prirechnykh territorij goroda Belgorod]. *Mezhdunarodnaya nauchno-tekhnicheskaya konferenciya molodykh uchenykh BGTU im. V.G. Shuhova*. (Belgorod, 1-20 maya 2017 g). Belgorod,). Belgorod, 2017. Pp. 3118–3122. (rus)
12. Yarmosh T.S., Babaeva M.A. The role of landscape architecture in the shaping of public spaces in a modern city [Rol' landshaftnoj arhitektury v formoobrazovanii obshchestvennykh prostranstv sovremennogo goroda]. *Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov*. 2020. Vol. 12. Pp. 102–109. (rus)
13. Khasanov R.R., Kinoshyan N.S. Principles of the architectural and urban planning organization of sustainable urban embankments [Principy arhitekturno-gradostroitel'noj organizacii

ustojchivyyh gorodskih naberezhnyh]. Izvestiya kazanskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. 2018. Vol. 2(44). Pp. 38–46.

14. Razumovsky Yu.V. Landscape design: textbook [Landshaftnyj dizajn]. M.: Forum. Infra. 2016. 160 pp. (rus)

15. Festival "White Tower 2013": the results of thematic competitions, grand prix [Festival' «Belaya bashnya 2013»: itogi tematicheskikh konkursov, gran-pri]. AdobeAcrobatReader. URL: <http://tehne.com/event/novosti/festival-belaya-bashnya-2013-itogi-tematicheskikh-konkursovgran-pri>. (dateoftreatment: 07.08.2021). (rus)

Information about the authors

Yarmosh, Tatyana S. Candidate of Sociological Sciences, Associate Professor of the Department of Architecture and Urban Planning. E-mail: grand-tanya@yandex.ru. Belgorod State Technological University named after V. G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, Kostyukova str., 46.

Krasnopivtseva, Polina V. Bachelor student of the Department of Architecture and Urban Planning. E-mail: polina9598@yandex.ru. Belgorod State Technological University named after V. G. Shukhov. 46 Kostyukovastr., Belgorod, 308012, Russia.

Galdin, Roman E. Student. E-mail: roman.galdin2011@yandex.ru, Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Aleynikova, Nadezhda V. Senior lecturer. E-mail: boroda6.0@mail.ru, Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Received 29.07.2021

Для цитирования:

Ярмош Т.С., Краснопивцева П.В., Галдин Р.Е., Алейникова Н.В. Формирование современного общественно-рекреационного пространства вдоль р. Северский Донец в г. Белгород // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2022. № 2. С. 65–75. DOI: 10.34031/2071-7318-2021-7-2-65-75

For citation:

Yarmosh T.S., Krasnopivtseva P.V., Galdin R.E., Aleynikova N.V. Formation of a modern public and recreational space along the Seversky Donets river in Belgorod. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2022. No. 2. Pp. 65–75. DOI: 10.34031/2071-7318-2021-7-2-65-75

DOI: 10.34031/2071-7318-2021-7-2-76-83

Горгорова Ю.В.

Южный федеральный университет

E-mail: ygorgorova@sfedu.ru

ФОРМИРОВАНИЕ ГОРОДСКОЙ СРЕДЫ И БРЕНДА ГОРОДА НА ОСНОВЕ МНЕНИЯ ГОРОЖАН

Аннотация. Бренд города в большинстве случаев направлен на привлечение инвесторов и туристов, но без учета мнения горожан развитие и функционирование бренда города невозможно. Поддержка и одобрение бренда города его жителями важна на разных уровнях: начиная от участия в формировании городской среды активистов, привлечения креативного класса и заканчивая пониманием процессов, происходящих в городе его рядовыми жителями. Опыт показывает, что если мнение горожан учитывают при формировании бренда города, то жители бережнее относятся к создаваемой среде, идентифицируют себя с городом, испытывают гордость за свой город. Если мнение жителей не учитывают и концепция бренда города ими не понимается и не поддерживается, то это может проявляться в городской среде в протестном искусстве, вандализме, недовольстве и раздражении горожан. Автор статьи перечисляет вопросы, которые необходимо задавать горожанам при анкетировании и поясняет, каким образом ответы на эти вопросы могут повлиять на формирование городской среды, выстроенной на основе бренда города. Так как от визуального воплощения во многом зависит успех бренда города.

Ключевые слова: бренд города, городская среда, проектирование среды, идентичность среды, соучаствующее проектирование.

Введение. В последнее время все больше исследователей разных областей знаний посвящают свои труды вопросам брендинга городов. Большинство научных работ посвящены тому, как уникальность и известность городов могут приносить доходы в городской бюджет, повышать туристическую и инвестиционную привлекательность, стимулировать экономическое развитие города и способствовать самоидентификации жителей города.

Вопросам территориального брендинга занималось большое количество специалистов. Так, в работах Д.А. Аакера, С. Анхольта, Ф. Котлера, К. Асплунада, И. Рейна, Д. Хайдера, Д. Хаффа, Дж. Боуэна, Дж. Мейкенза, И. Балдерьян были заложены основы маркетинга мест и геомаркетинга. Прикладными и теоретическими вопросами брендинга в России занимались: Д.В. Визгалов, Е.А. Джанджугазова, В.А. Дубейковский, Т.В. Мещеряков, М.М. Сметанников, А.К. Стась, А.П. Панкрухин, Т.В. Савчук.

Большинство исследований было направлено на роль брендинга в формировании туристической привлекательности региона. Этому посвящены работы М.Л. Алемасова, Н.П. Шалыгина, М.В. Селюкова, Е.В. Курач, С.Х. Дональда, Дж.Г. Гэммак и других авторов. А архитектурно-градостроительный брендинг территорий как ключевой фактор развития города рассматривался в статье А.В. Аристовой, И.В. Краснобаева. Однако проблема визуального формирования городской среды на основе бренда города и роль в этом процессе горожан не достаточно изучена. Были исследования А.В. Болдырева, Чарльза

Ландри, Ричард Флорида, Creative Class Group (CCG) в которых большую роль при формировании бренда города отводили креативному классу. Но вопросам формирования городской среды на основе бренда, выращенного с учетом мнения горожан, отводилось не достаточно, не смотря на то, что эта группа стейкхолдеров (потребителей бренда города) является очень значительной.

Для того чтобы разработать верную концепцию бренда, необходимо установить цель брендинга города. Определить позиционирование бренда города относительно других городов и их брендов. Определить целевые аудитории бренда, например, туристы, горожане, предприниматели и т.д. Сформулировать обещания бренда, поскольку бренд города – это идея, воспринимаемая потребителями и стимулирующая их к определенным действиям [1,2].

Процесс создания и воплощение бренда города многоплановый и сложный, предполагающий привлечение многочисленных специалистов-аналитиков. Но от визуального воплощения во многом зависит успех бренда города. Поэтому в данной статье целесообразно рассмотреть особенности формирования городской среды и концепции бренда города на основе мнения его жителей.

В практике бренд города, прежде всего, направлен на привлечение туристов и повышение инвестиционной привлекательности. Однако горожане являются одной из важных целевых аудиторий бренда города и одной из основных групп потребителей бренда города. По мнению

Чарльза Лэндри жители города способны оценить свой творческий капитал, наращивать его и использовать как инструмент в конкурентной борьбе с другими городами [3].

Негативное отношение жителей к процессам, происходящим в городе и его среде, может застопорить развитие города, оттолкнуть инвесторов и туристов. Так в 2020 году комитет по архитектуре и градостроительству Москвы утвердил проект многофункционального жилого комплекса на территории Бадаевского завода, спроектированного известным архитектурным бюро Herzog & de Meuron. Однако архитекторы, общественники и жители района выступили против застройки и настаивали на сохранении зданий завода и исторического ансамбля и выступили против столь агрессивного вмешательства в существующую застройку, поскольку в их восприятии это место должно выглядеть иначе [4].

Поэтому необходимо учитывать мнение горожан и работать с ними совместно для достижения общей цели: повышения безопасности и качества жизни в городе, улучшения комфорта среды и т.д. В современной проектной практике, распространено так называемое соучаствующее проектирование. Вовлечение горожан в процесс формирования городской среды позволяет учитывать мнение горожан и их потребности. Такое понимание и одобрение жителей важно для дальнейшего функционирования объектов городской среды. Как показывает опыт, горожане относятся более бережно к создаваемой таким образом среде. В большинстве случаев соучастное проектирование касается, прежде всего, городских районов, общественных пространств, дворовых пространств [5].

Приказом Минстроя №913 от 30 декабря 2020 года были утверждены методические рекомендации по вовлечению граждан, их объединение и иных лиц в решение вопросов развития среды. В них указано, что к 2030 году доля граждан старше 14 лет принявших участие в решении вопросов создания комфортной городской среды должна составить 30% [6].

Но как понять потребности горожан в отношении всего города? Как избежать преобладания интересов отдельных групп лиц? Какие вопросы необходимо задать при анкетировании горожан, чтобы оценить проблемы города и исследовать восприятие городской идентичности?

По определению Д. Визгалова бренд города – это городская идентичность (или идентичность города), системно выраженная в ярких и привлекательных идеях, символах, ценностях, образах и нашедшая максимально полное и адекватное отражение в имидже города [7].

Проблемами идентичности места занимались такие авторы как: С.Н. Гурьев, А.О. Долматова, Н.С. Дягилева, Г.В. Есаулов, Н.А. Карнаухова, Д. Кельбоу, К.В. Кияненко, К. Линч, Н. Лич, К. Норберг – Шульц, Г.А. Окушова, А.Г. Раппапорт, М. Хайдеггер, Л.П. Холодова, А.В. Цорик, А.В. Швец и другие.

Множество факторов оказывают влияние на формирование городской идентичности. Среди них можно выделить: стабильные – местоположение, климат и история города; изменчивые – размер и людность города, внешний облик города, благосостояние жителей, культурные традиции местного сообщества; символические – городская символика, политический климат, культурные коды поведения жителей, знаковые события, знаковые личности, мода на отдельные товары и услуги, характер коммуникаций внутри сообщества и другие составляющие [8]. Поэтому чтобы понять восприятие города его жителями, необходимо проводить исследования и на основе которых должна быть сформирована концепция бренда города.

Материалы и методы. Какие же знания необходимы для формирования городской среды и концепции бренда города? Автором статьи было проведено анкетирование жителей городов Юга России: Ростов-на-Дону, Краснодар, Таганрог, Новороссийск, Пятигорск, Шахты, Азов, Георгиевск, Анапа, Темрюк. Для исследования были отобраны города, имеющие различный профиль и численность населения. Анкетирование было проведено в электронной форме в информационно-телекоммуникационной сети Интернет с использованием специализированной цифровой платформы и социальных сетей для наибольшего охвата аудитории. Данный опрос предполагался как пилотный, его целью было определение круга вопросов, которые необходимо задавать горожанам, чтобы выбрать направление бренда города, особенно в отношении вопросов формирования городской среды. Кроме того, были проведены глубинные интервью жителей населенных пунктов, направленные на выявление особенностей территории, исторических, архитектурных и иных аспектов, имеющих значение при разработке концепции бренда города и формирования на его основе городской среды.

Ответы на вопросы, полученные после обработки анкет, помогают в дальнейшем разрабатывать стратегию развития бренда города от его формирования до дальнейшего продвижения идеи бренда. Как горожане воспринимают город, в котором живут? Какие положительные и отрицательные ассоциации у них возникают с городом? Где они предпочитают совершать прогулки? Каких городских событий им не хватает?

Что заставляет людей испытывать гордость за свой город?

Как показал анализ ответов жителей городов Юга России, число лет проживания в городе не оказывает существенного влияния на восприятие жителями бренда города. Возможно, это связано с тем, что выбирая город для проживания люди, достаточно хорошо заранее стараются узнать этот город.

Ниже в статье приведены данные, полученные в результате анкетирования жителей города Ростова-на-Дону, чтобы показать на примере одного города более полно весь спектр вопросов и ответов, а также способы и возможности применения этих знаний при формировании городской среды и концепции бренда города.

Основная часть. Большинство опрошенных, а именно 92,9 % указали, что проживают в разных районах города Ростова-на-Дону более 5 лет. Анкетируемые люди разных профессий, по возрасту преобладали люди 20-45 лет (64,3 %), от 45 до 65 лет на вопросы ответило 21,4 %, более 65 и менее 20 лет, оказалось, по 7,1%. При анкетировании были заданы вопросы, которые отражают восприятие жителями идентичности, уникальности города, определены излюбленные места отдыха горожан, знакомства гостей города:

1. Чем уникален Ваш город? Ответы на этот вопрос должны быть заложены в идею бренда города, но последующие ответы дадут нам уточнение каким образом нам необходимо учитывать их. Так большинство опрошенных ростовчан ответили, что уникальность города Ростова-на-Дону выражается в гостеприимстве людей, теплом климате, интересной архитектуре и самобытной кухне. При дальнейшей работе с городской средой, необходимо понять каким образом могут быть визуализированы и воплощены эти характеристики уникальности города. Например, через создание открытых пространств, защищенных от палящего солнца, предназначенных для проведения различных мероприятий, фестивалей, в том числе гастрономических и как-то иначе.

Ответы на следующие три вопроса помогают определить точки предполагаемого контакта горожан с брендом города.

2. Ваши любимые места для прогулок в городе? (название улицы или места). Ростовчане проводят свое время на набережной, на правом берегу и на левом берегу Дона, в центральных парках, районных парках, гуляют на пешеходном бульваре. В дальнейшем эти существующие городские пространства рекомендуется дополнительно натурно обследовать, проанализировать с точки зрения средового поведения людей. Построены диаграммы, выявляющие весь спектр

освоения этих мест: транзитное движение, виды спокойного отдыха, активный отдых и другие [9].

На основании анализа ответов анкеты и проведенного натурного обследования территории могут быть проложены маршруты пешеходные, велосипедные и другие. Выявлена существующая и определены недостающие объекты инфраструктуры данного маршрута. В дальнейшем на данном маршруте нужно будет определить, каким именно образом, и в каких конкретно местах будет происходить взаимодействие горожанина с брендом.

Следующие два вопроса показывают презентационные характеристики городской среды в восприятии горожанами.

3. Что бы Вы показали тем, кто еще не был в Вашем городе (укажите, пожалуйста, несколько мест). Опрос показал, что для первого знакомства гостей с городом ростовчане выбирают главные площади, набережную и театры, а также смотровую площадку на улице Седова и вид с колеса обозрения на Театральной площади. Поскольку это места предполагаемого первого знакомства туристов с городом, важно первое впечатление сделать уникальным и запоминающимся. Предусмотреть возможность создания туристами оригинальных фотографий с видами города и арт-объектами, в том числе основанными на местных историях, легендах. Конечно, все создаваемые объекты должны быть увязаны с основной концепцией бренда города.

4. Что бы Вы показали тем, кто уже много раз был в Вашем городе (укажите, пожалуйста, несколько мест). В большинстве ответов анкетируемые указали природные и ландшафтные объекты 37 %, историко-культурные достопримечательности и культовые сооружения указали 18,5 % опрошиваемых (рис.1).

Этот вопрос раскрывает не общепринятые туристические маршруты, а те, которые предлагают сами горожане. Например, прогулка на продовольственный рынок в Ростове-на-Дону, чтобы познакомиться там с колоритом южного базара. Или посещение старых дворов зданий бывших доходных домов, расположенных в центральной части города. В теплый период года происходит вынос части функций в пространство двора. В таких дворах снимают фильмы, их фотографируют, там устраивают экскурсии. Эти дворовые пространства являются уникальными.

При реконструкции подобные дворовые пространства можно было бы объединить в сеть [10]. Каждому двору придать определенную функцию, например, использовать это пространство для образовательных целей, проведения выставок, организации концертов, просмотра фильмов, тематических мероприятий, площадок для

летнего расширения ресторанов и кафе и других вариантов.

Так же при реконструкции рынков необходимо сохранять их южный колорит при форми-

ровании архитектурно – художественных решений. И постараться не потерять этот важный элемент, характерный для южного города.

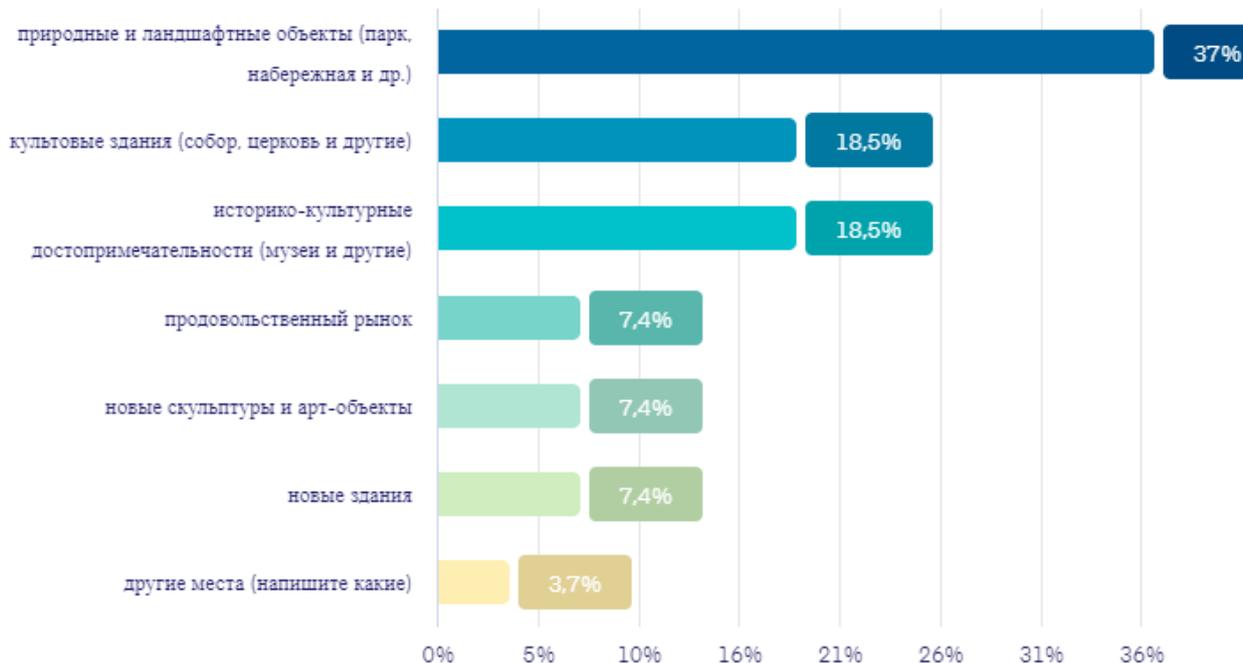


Рис. 1. Ответы на вопрос: Что бы Вы показали тем, кто уже много раз был в Вашем городе?

5. Ваши положительные ассоциации с городом (напишите, пожалуйста, 5 слов-ассоциаций). Ответ на этот вопрос обязательно нужно учитывать и он может быть положен в основе концепции бренда города. Зеленый город, река, солнце, раки, бренд Левый берег Дона. В дальнейшем этот ответ может быть учтен как для формирования глобальной идеи (концепции бренда), так и для небольших объектов, расположенных в городской среде.

6. Ваши отрицательные ассоциации с городом (напишите, пожалуйста, 3 слова-ассоциации). Над преодолением отрицательных ассоциаций горожан, связанных с городом, необходимо работать. Например, при работе над брендом Ростова-на-Дону отрицательная ассоциация Ростов-папа, связанная с криминальным прошлым города не может не быть учтена. Этот негативный ярлык при продвижении бренда Ростова-на-Дону разработчики бренда предлагают переосмыслить таким образом, чтобы появилась ассоциация с образом отца-родителя. Впечатление планируют усилить за счет развития ассоциации устойчивым выражением Дон-батюшка.

В процессе выращивания бренда нужно будет предусмотреть способы устранения тех отрицательных ассоциаций, которые отметили опрашиваемые ростовчане: пыль, мусор, недостаток зелени, недостаток парковочных мест, многоэтажная точечная застройка при отсутствии инфраструктуры.

7. Какие сувениры Вы бы посоветовали привезти из Вашего города? Эти образы, навеянные сувенирной продукцией, могут появиться в городской среде. Например, опрашиваемые ростовчане советуют туристам купить Семикаракорскую керамику и сушеную рыбу. А гостей города обычно угощают вареными раками, поэтому на набережной реки Дон уже появилась скульптура, изображающая рака. Например, концепция бренда города, вдохновленная сувенирной продукцией, получила визуальное воплощение в Кирове. Проект «Раскрасим город в Дымку» был придуман клубом маркетологов Кировской области. Здания в Кирове были расписаны альпинистами в стиле распространенного местного промысла – Дымковской игрушки. Это придало идентичность городской среде, изобилующей серыми промышленными объектами, а также является дополнительным импульсом для развития местного промысла.

Кроме того, часть респондентов ответила, что привезли бы из Ростова-на-Дону фотографии. Поэтому в дальнейшем необходимо проанализировать популярные места в Ростове для фотографирования. В том числе зоны для фотографирования уместно было бы организовать в первую очередь в местах контакта туриста с брендом города, выявленных при ответах на вопросы №3 и №4.

8. Какие уникальные мероприятия проходят в Вашем городе? Ответы на этот вопрос показывают осведомленность жителей и их интерес к существующим мероприятиям. Из существующих мероприятий горожане отметили Джазовый фестиваль, Арт-Ростов, Донская уха, Донская лоза.

Ответы этот вопрос следует рассматривать в комплексе со следующим, поскольку событийные мероприятия являются важным инструментом территориального брендинга, способствуют продвижению, как отдельных продуктов, так и региона в целом [11]. Кроме того, эти мероприятия требуют особенностей формирования город-

ской среды, изменения сценариев функционирования существующих городских пространств, создание атмосферы праздника.

9. Какие мероприятия было бы интересно создать, и какие традиции хорошо было бы возродить в Вашем городе? Большинство опрошенных ростовчан 25 % заинтересовано в проведении в Ростове-на-Дону гастрономических фестивалей как новых, так и уже существующих: Донская уха, Донская лоза и других (рис. 2). Кроме того, 19 % ростовчан хотели бы, чтобы проходили музыкальные фестивали. Поэтому не случайно в последние годы в Ростове-на-Дону был создан фестиваль «Сыр, вино и джаз», так как это событие отражает гастрономические и музыкальные предпочтения жителей города.

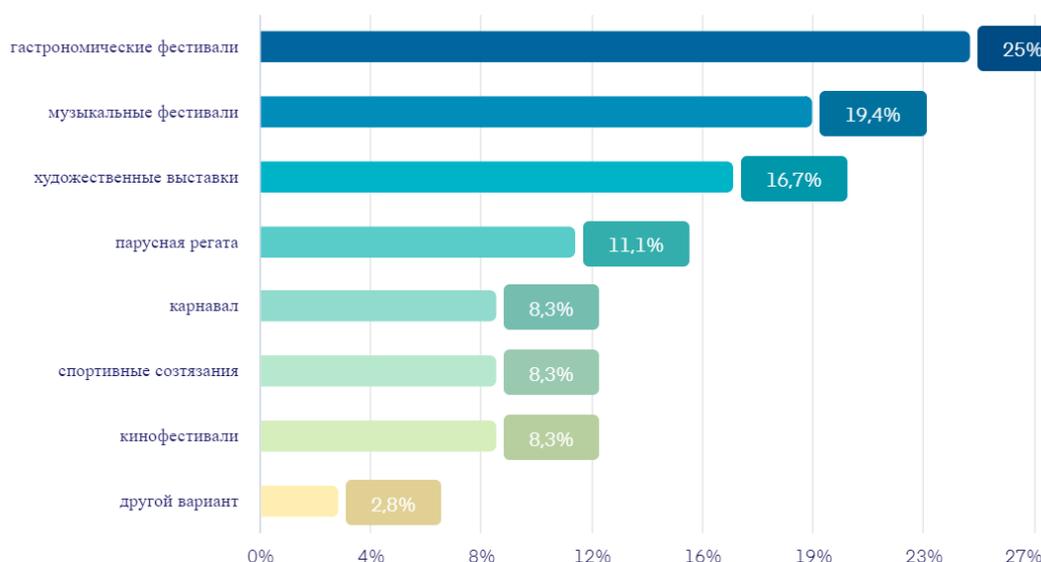


Рис. 2. Ответы на вопрос: Какие мероприятия было бы интересно создать, и какие традиции хорошо было бы возродить в Вашем городе?

Если анализировать ответы по возрасту, то художественные выставки у людей с 20 по 45 лет оказались настолько же популярны, как и музыкальные фестивали, а после 65 лет даже более предпочтительны.

При проектировании городской среды этот вопрос также учитывается с точки зрения формирования пространств для проведения этих мероприятий, а также изменения сценариев использования городского пространства.

10. Какой цвет (или цвета) ассоциируются у Вас с городом? У большинства горожан город Ростов-на-Дону ассоциируется с цветами: зеленый, голубой, пшеничный и белый. Ответ на этот вопрос носит больше информативный характер и показывает общие цветовые предпочтения жителей. Однако ответ на этот вопрос довольно субъективен и колористический анализ городской среды и ее фрагментов требует отдельного исследования.

11. Какие вымышленные персонажи или реальные личности ассоциируются с Вашим

городом? Ростовчане упомянули реальных личностей: М.А. Шолохова, А.И. Солженицына, Д.А. Диброва, Ю.А. Башмета, музыкантов Баста и Каста, а также литературные персонажи: дед Щукарь, Григорий и Аксинья.

Художественные образы становятся жизненными персонажами, неразрывно слитыми с тканью городской среды. Литературные герои интегрируются в качестве неотъемлемой части в имидж города. Вымышленные герои при умелом использовании могут приносить реальную выгоду городскому сообществу через повышение туристической привлекательности, увеличение спроса на сувенирную продукцию, наращиванию количества рабочих мест и т. п. [12]. Поэтому в городской среде могут появиться элементы, указывающие на принадлежность этих персон к данному месту. Это могут быть граффити, пристольные решетки, скамьи, малые архитектурные формы, связанные с данными персонами или с видом деятельности и другие варианты. [13].

12. Что заставляет Вас испытывать гордость за Ваш город? Большинство ростовчан, 59% опрошенных, гордятся богатой историей города. Активную культурную жизнь города отметили 13,6 % анкетированных.

Обсуждение результатов и выводы исследования. В данной статье был описан круг вопросов, найденных экспериментальным путем для учета мнения жителей при решении задач брендинга города и формирования городской среды, реализуемой на основе бренда города. В результате исследования мы можем определить в городе интересные места, не столько являющиеся достопримечательными местами и памятниками культурного наследия, сколько узнать действительно популярные у жителей фрагменты города и его среды, обладающими идентичностью и уникальностью. В результате сопоставления данных можно получить мозаику предпочтений жителей и использовать эту информацию для формирования концепции бренда города и проектирования на его основе городской среды. Однако помимо данных, полученных в результате анкетирования важно также учитывать мнение экспертов. Так, по мнению эксперта в области брендинга территории А.К. Стась, нужно понимать, до какой границы с ними можно договариваться с населением, а когда нужно жестко отстаивать свое, новое. Конечно, сохранить культурную самоидентификацию жителей важно, но при этом нужно понимать перспективы территории, возможность поддержания интереса к ней у молодежи и возможность привлечения на территорию инвесторов и креативного класса. Поэтому важно правильно взаимодействие специалистов и местного населения.

Жителей необходимо посвящать в идеи бренда, объяснять им смысл происходящих перемен. По мнению экспертов, при продвижении концепции бренда города и ее эффективной работы, необходимо убедить и поддерживать уверенность местного населения в том, что они проживают в благоприятной местности, что позволяет жителям пользоваться определенными преимуществами территории. Также эксперты советуют привлечь на территорию экономически активное население из других регионов, особенно креативный класс, которому отводится важная роль в брендинге города [14].

Необходим мониторинг процессов, происходящих в городе. Помимо анкетирования и экспертных опросов необходимо анализировать информацию, полученную из средств массовой информации, наблюдать за поведением жителей, сценариями их поведения в городской среде. Также помимо данных, полученных при анкети-

ровании целесообразно рассмотреть информацию, полученную в проекте «Живое наследие: национальная карта локальных культурных брендов России», где экспертами, основываясь на мнении жителей городов России, было отобрано 500 главных культурных брендов. Активисты определили значимые объекты, которые они считают важными для региона и привлекательными для туристов. Они отметили историко-культурное наследие региона, гастрономические особенности или природные достопримечательности, образы мест, традиции и промыслы, уникальность природы, знаковые сооружения и другие. Эти данные, основанные на мнении жителей и экспертов, несомненно, также нужно учитывать при формировании концепции бренда городов.

Однако все же подобное анкетирование жителей, представленное в данной статье необходимо. Поскольку изменение города постоянный процесс, поэтому надо найти определенный баланс между привлечением в город нового и сохранением аутентичного, чтобы город не потерял своей неповторимости, и была сохранена идентичность места [15].

Приведенное в статье исследование является одним из пластов, влияющих на формирование городской среды и концепции бренда города. Несомненно, также важно учитывать мнение туристов и инвесторов, но поддержка горожан очень важна, так как искренняя гордость за город располагает к себе как туристов, так и инвесторов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Степанычева Е.В. Концептуальный подход к формированию бренда территории // Социально-экономические явления и процессы. 2012. № 12(46). С. 288–295.
2. Опалева Л.С. К вопросу уточнения понятия бренда города // Стратегия устойчивого развития регионов России. 2012. № 11. С. 12–16.
3. Лэндри Ч. Креативный город. М.: Издательский дом "Классика-XXI, 2011. 399с.
4. Ефимов А.В. Феномен городской идентичности // Architecture and Modern Information Technologies. 2021. №1(54). С. 262–267. URL: https://marhi.ru/AMIT/2021/1kvart21/PDF/17_efimov.pdf DOI: 10.24412/1998-4839-2021-1-262-267 (дата обращения: 06.10.2021)
5. Санофф Г. Соучастующее проектирование. Практики общественного участия в формировании среды больших и малых городов. Москва: Проектная группа 8, 2015. 170 с.
6. Приложение к Приказу Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации (Минстрой России)

№913/пр от 30 декабря 2020 года Об утверждении методические рекомендации по вовлечению граждан, их объединение и иных лиц в решение вопросов развития среды. Методические рекомендации. 19 с.

7. Визгалов Д.В. Брендинг города. Москва: Ин-т экономики города, 2011. 155 с.

8. Визгалов Д.В. Пусть города живут. Москва: Сектор, 2015. 272 с.

9. Крашенинников А.В. Апробация диаграммы средового поведения Наука, образование и экспериментальное проектирование. Сб. статей МАРХИ. Материалы межд.н-практ. Конференции. 2013. С. 264-268

10. Лавров Л.П. Развитие внутриквартальных территорий исторического центра Санкт-Петербурга с учётом потребительской деятельности населения // Academia. Архитектура и строительство. 2018. № 1. С. 28–35. DOI 10.22337/2077-9038-2018-1-28-35.

11. Гуляева М.К. Фестиваль как инструмент территориального брендинга // Экономическая безопасность и маркетинговое управление социально-экономическими системами: материалы Всероссийской научно-практической конферен-

ции, Кострома, 20–21 октября 2020 года. Кострома: Костромской государственный университет, 2020. С. 319–324.

12. Власова Н.Ю. Культурное наследие и искусство как составляющие брендинга городов // Известия Уральского государственного экономического университета. 2011. № 6(38). С. 56–61.

13. Gorgorova Y.V. City brands: Identity in the urban environment // IOP Conference Series: Materials Science and Engineerin : International Scientific Conference on Construction and Architecture: Theory and Practice for the Innovation Development 2019, CATPID 2019. Kislovodsk: Institute of Physics Publishing, 2019. P. 033030. DOI 10.1088/1757-899X/698/3/033030.

14. Болдырева А.В. Влияние креативного класса на город // Наука, образование и экспериментальное проектирование. Труды МАРХИ: Материалы международной научно-практической конференции. Сборник статей, Москва, 02–06 апреля 2018 года. Москва: Московский архитектурный институт (государственная академия), 2018. С. 169-171.

15. Зукин Ш. Обнажённый город Смерть и жизнь аутентичных городских пространств // Экономическая социология. 2018. Т. 19. № 1. С. 62–91.

Информация об авторах

Горгорова Юлия Владимировна, кандидат архитектуры, профессор кафедры архитектурного и средового проектирования. E-mail: ygorgorova@sfedu.ru. Южный федеральный университет. Россия, 344006, Ростов-на-Дону, ул. Б.Садовая 105/42.

Поступила 03.10.2021 г.

© Григорьева Ю.В., 2022

Gorgorova Yu.V.

Southern Federal University

E-mail: ygorgorova@sfedu.ru

FORMATION OF URBAN ENVIRONMENT AND CITY BRAND BASED ON CITIZEN OPINIONS

Abstract. *The development and functioning of the city brand depends on the support and approval of citizens at different levels. For example, participation in the formation of the urban environment of activists, attraction of the creative class or understanding of the processes in the city, its ordinary residents. Experience shows when the opinion of citizens is taken into account when forming a city brand, the residents are more attentive to the created environment, identify themselves with the city and feel a sense of pride in their city. Ignoring the opinion of citizens leads to protest art, vandalism, discontent and irritation of people. The author lists the questions to ask citizens during the survey and explains how the answers to these questions can influence the formation of the urban environment, built on the city's brand.*

Keywords: *city brand, urban environment, environment design, environment identity, participatory design.*

REFERENCES

1. Stepanycheva E.V. Conceptual approach to the formation of the brand of the territory [Konceptual'nyy pohod k formirovaniyu brenda territorii].

Social'no-ekonomicheskie yavleniya i processy. 2012. No. 12(46). Pp. 288–295. (rus)

2. Opaleva L.S. To the question of clarifying the concept of a city brand [K voprosu utochneniya ponyatiya brenda goroda]. Strategiya ustoychivogo

razvitiya regionov Rossii. 2012. No. 11. Pp. 12–16. (rus)

3. Lendri Ch. Creative city [Kreativnyj gorod]. M.: Izdatel'skiy dom "Klassika-XXI, 2011. 399 p. (rus)

4. Efimov A., Mina A. The Phenomenon of Urban Identity [Fenomen gorodskoj identichnosti] Architecture and Modern Information Technologies, 2021. No. 1(54). Pp. 262–267. Adobe AcrobatReader. URL: https://marhi.ru/AMIT/2021/1kvart21/PDF/17_efimov.pdf (date of treatment: 06.10.2021). DOI: 10.24412/1998-4839-2021-1-262-267. (rus)

5. Sanoff G. Democratic Design: Participation case Studies in Urban & Small Town Environments. Vologda: Proektnaya gruppa [Souchastvuyushchee proektirovanie. Praktiki obshchestvennogo uchastiya v formirovanii sredy bol'shih i malyh gorodov] 8, 2015. 170 p. (rus)

6. Appendix to the Order of the Ministry of Construction, Housing and Communal Services of the Russian Federation (Ministry of Construction of Russia) No. 913 / pr dated December 30, 2020 [Prilozhenie k Prikazu Ministerstva stroitel'stva i zhilishchno-kommunal'nogo hozyaystva Rossiyskoy federacii (Minstroy Rossii) No 913/pr ot 30 dekabr' 2020: Ob utverzhdenii metodicheskie rekomendacii po вовлечениyu grazhdan, ih ob'edinenie i inyh lic v reshenie voprosov razvitiya sredy. Metodicheskie rekomendacii] 19 p. (rus)

7. Vizgalov D.V. City branding [Breeding goroda] M: In-t ekonomiki goroda, 2011. 155 p. (rus)

8. Denis Vizgalov: let the cities live [Denis Vizgalov: pust' goroda zhivut]. M: Sektor, 2015. 272 p. (rus)

9. Krasheninnikov A.V. Approbation of the environmental behavior diagram [Aprobaciya diagrammy sredovogo povedeniya]. Nauka, obrazovanie i eksperimental'noe proektirovanie. Sb.statey MARHI: materialy mezhd.n-prakt. Konferencii, 2013. Pp. 264–268. (rus)

10. Lavrov L.P. Development of the intra-quarter territories of the historical center of St. Petersburg, taking into account the consumer activity of the population [Razvitie vnutrikvartal'nyh territoriy istoricheskogo centra Sankt-Peterburga s uchedom potrebitel'skoy deyatelnosti naseleniya] Academia. Arhitektura i stroitel'stvo. 2018. No 1. Pp. 28–35. DOI 10.22337/2077-9038-2018-1-28-35. (rus)

11. Gulyaeva M.K., Kulikova A. N. Festival as a tool for territorial branding [Festival' kak instrument territorial'nogo brendinga] Ekonomicheskaya bezopasnost' i marketingovoe upravlenie social'no-ekonomicheskimi sistemami. Proceedings of the Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferencii. Kostroma: Kostromskoy gosudarstvennyy universitet, 2020. Pp. 319–324. (rus)

12. Vlasova N.Yu. Cultural heritage and art as part of city branding [Kul'turnoe nasledie i iskusstvo kak sostavlyayushchie brendinga gorodov] Izvestiya Ural'skogo gosudarstvennogo ekonomicheskogo universiteta. 2011. No. (38). Pp. 56–61. (rus)

13. Gorgorova Y.V. City brands: Identity in the urban environment. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering: International Scientific Conference on Construction and Architecture: Theory and Practice for the Innovation Development 2019, CATPID 2019. Kislovodsk: Institute of Physics Publishing, 2019. P033030. DOI 10.1088/1757-899X/698/3/033030.

14. Boldyreva A.V. The influence of the creative class on the city [Vliyanie kreativnogo klassa na gorod] Nauka, obrazovanie i eksperimental'noe proektirovanie. Trudy MARHI: Proceedings of the international scientific and practical conference. Moskva: Moskovskiy arhitekturnyy institut (gosudarstvennaya akademiya), 2018. Pp. 169–171. (rus)

15. Zukin Sh. The Naked City Death and the Life of Authentic Urban Spaces [Obnazhenny gorod Smert' i zhizn' autentichnyh gorodskih prostranstv] Ekonomicheskaya sociologiya. 2018. Vol. 19. No. 1. Pp. 62–91. (rus)

Information about the authors

Gorgorova, Yuiya V. PhD. E-mail: ygorgorova@sfedu.ru. Southern Federal University. Russia, 344006, Rostov-on-Don, st. B. Sadovaya 105/42.

Received 03.10.2021

Для цитирования:

Горгорова Ю.В. Формирование городской среды и бренда города на основе мнения горожан // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2022. № 2. С. 76–83. DOI: 10.34031/2071-7318-2021-7-2-76-83

For citation:

Gorgorova Yu.V. Formation of urban environment and city brand based on citizen opinions. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2022. No. 2. Pp. 76–83. DOI: 10.34031/2071-7318-2021-7-2-76-83

ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ

DOI: 10.34031/2071-7318-2021-7-2-84-93

^{1,*}Трубицын М.А., ¹Япрынцев М.Н., ¹Фурда Л.В., ¹Воловичева Н.А.,
²Кузин В.И., ²Зубащенко Р.В.

¹Белгородский государственный национальный исследовательский университет

²ЗАО «ПКФ «НК»,

*E-mail: troubitsin@bsu.edu.ru

ВЛИЯНИЕ РЕЖИМОВ ТЕРМООБРАБОТКИ НА ПРОЦЕСС СИНТЕЗА КАЛЬЦИЙ-АЛЮМИНАТНЫХ ФАЗ В ТЕХНОЛОГИИ ОСОБО ЧИСТОГО ВЫСОКОГЛИНОЗЕМИСТОГО ЦЕМЕНТА

Аннотация. В настоящей работе представлены результаты экспериментальных исследований по изучению процессов фазообразования CaAl_2O_4 (СА) и CaAl_4O_7 (СА₂) из порошковых смесей $\text{CaCO}_3\text{--Al}_2\text{O}_3$ в интервале температур 1250–1450 °С. При расчете содержания сырьевых компонентов в шихте, исходили из критерия получения высокоглиноземистого клинкера с содержанием Al_2O_3 71–72 масс. % и CaO 27–28 масс.%. Данное массовое соотношение в диаграмме состояния системы $\text{CaO--Al}_2\text{O}_3$ предполагает наличие двух кальций-алюминатных фаз СА и СА₂. Проектируемый фазовый состав клинкера – 64 мольных % CaAl_2O_4 (СА) и 36 мольных % CaAl_4O_7 (СА₂). В качестве прекурсоров использованы мел марки М-90 и технический глинозем марки Г-0. Исходную шихту подвергали термообработке при температурах 1250, 1300, 1350, 1450 °С и времени изотермической выдержки 1 и 2 часа. Высказано предположение, что синтезу целевых фаз СА и СА₂ предшествует стадия формирования с последующим разрушением метастабильной фазы, обогащенной кальцием – C_{12}A_7 . Данное предположение подтверждается результатами термогравиметрического и рентгенофазового анализов, а также сканирующей электронной микроскопии. Процесс формирования целевых продуктов СА и СА₂ из дисперсных порошков оксида алюминия и карбоната кальция с увеличением температуры и времени изотермической выдержки определяется преимущественно диффузией более подвижных катионов Ca^{2+} , высвобождаемых в процессе деградации фазы C_{12}A_7 в области высоких концентраций оксида алюминия.

Ключевые слова: термообработка, моноалюминат кальция, диалюминат кальция, высокоглиноземистый цемент, фазообразование, механоактивация, диффузия.

Введение. В последние годы, как за рубежом, так и в России, широкое распространение получили теплотехнические композиционные материалы нового поколения (как неформованные (бетоны), так и формованные), базирующиеся на использовании матричных систем, содержащих в небольших количествах гидравлические вяжущие, прежде всего, особо чистые кальций-алюминатные цементы с высоким содержанием оксида алюминия (более 70 %). Такие цементы по ГОСТ 969-2019 относят к категории высокоглиноземистых цементов (ВГЦ). Согласно принятой международной классификации в зависимости от содержания оксида кальция в композиционном материале различают: низкоцементные (low cement castable) – 1–2,5 масс. % CaO и ультранизкоцементные (ultra low cement castable) – 0,2–1,0 масс. % CaO . Содержание ВГЦ в таких теплотехнических композитах составляет от 3 до 6 масс. % [1, 2].

Существует два основных способа производства высокоглиноземистых цементов (ВГЦ): 1 – полное плавление сырьевой смеси; 2 – спекание, где образование клинкера происходит преимущественно за счет реакций в твердой фазе [3,

4]. Особо чистые высокоглиноземистые цементы получают спеканием во вращающихся печах (в случае многотоннажного производства), а также в туннельных или камерных печах (при среднетоннажном производстве) [5, 6].

Разработка состава и технологии получения особо чистого ВГЦ предполагает проведение исследований процесса синтеза клинкерных минералов, выявление факторов, определяющих условия формирования и температурные области устойчивости целевых фаз СА и СА₂, определение технологических и физико-механических характеристик готового продукта.

Мировым лидером в производстве кальций-алюминатных цементов, включая высокоглиноземистые цементы, является компания Imerys Aluminates (Kerneos) (Франция). Среди российских предприятий, где организовано крупнотоннажное производство высокоглиноземистого цемента, можно назвать Пашийский металлургическо-цементный завод (ПМЦЗ) и Боровичский комбинат огнеупоров (БКО) [7, 8]. Однако эта продукция производится ограниченными партиями, а высокоглиноземистые цементы АО «БКО»

преимущественно используются для собственных нужд при выпуске огнеупорных бетонов.

Целью настоящей работы являлось изучение процессов фазообразования CaAl_2O_4 (СА) и CaAl_4O_7 (СА₂) из порошковых смесей CaCO_3 – Al_2O_3 в интервале температур 1250–1450 °С.

Методология. При расчете содержания сырьевых компонентов в шихте, исходили из критерия получения высокоглиноземистого клинкера с содержанием Al_2O_3 71 – 72 масс. % и СаО 27 – 28 масс.%. Данное массовое соотношение в диаграмме состояния системы СаО - Al_2O_3 предполагает наличие двух кальций-алюминатных фаз СА и СА₂ [9, 10]. Проектируемый фазовый

состав клинкера – 64 мольных % CaAl_2O_4 (СА) и 36 мольных % CaAl_4O_7 (СА₂).

В качестве сырьевых материалов в работе использовали мел марки М-90 и технический глинозем марки Г-0. В качестве связующего при формовании образцов шихты использовали добавку высокоглиноземистого цемента марки НК-СЕМ 72 в количестве 5 масс.%.

Химический состав исходных сырьевых компонентов представлен в таблице 1.

По минералогическому составу глинозем Г-0 представлен преимущественно кристаллической фазой γ - Al_2O_3 . Морфология зерен глиноземистого сырья представлена на рисунке 1.

Таблица 1.

Химический состав сырьевых материалов

Наименование материала	Массовая доля, %						
	Al_2O_3	SiO_2	Fe_2O_3	СаО	MgO	Na_2O	Другие
Глинозем Г-0	98,60	0,02	0,015	следы	следы	0,10	1,26
Мел М-90	0,1	0,1	0,08	CaCO_3 – 98,60	следы	следы	1,12
Цемент НК-СЕМ 72	70,50	0,08	0,05	27,85	следы	0,07	1,45



Рис. 1. СЭМ-микрофотографии глинозема Г-0

Основную массу глинозема Г-0 составляют высокопористые сферолиты размером порядка 150 мкм, которые сложены кристаллитами пластинчатой формы, стопкообразно соединенными между собой.

По минералогическому составу мел марки М-90 представлен преимущественно кальцитом CaCO_3 . Морфология зерен мела представлена на рисунке 2.

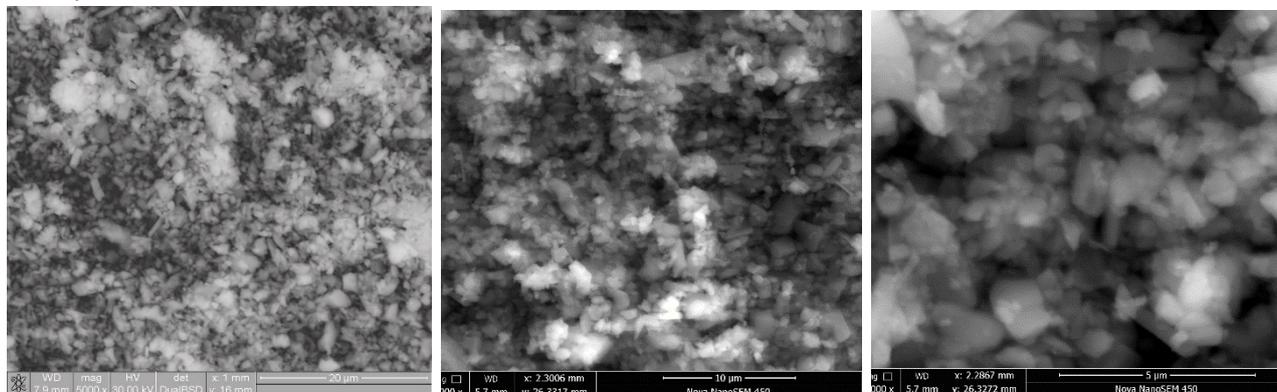


Рис. 2. СЭМ-микрофотографии мела М-90

Мел характеризуется довольно мелкодисперсным составом со средним размером зерен 1,5 мкм. Отдельные частицы представляют собой пластинки неправильной остроугольной формы.

Термогравиметрические исследования проводили с использованием комбинированного термоанализатора SDT Q 600, позволяющего

проводить одновременно термогравиметрический (ТГА) и дифференциальный сканирующий калориметрический (ДСК) анализы. Определения проводились в инертной атмосфере в интервале температур 20–1400 °С при скорости нагрева 10 град/мин.

Фазовый состав материалов определяли методом рентгенофазового анализа (РФА) на дифрактометре Ultima IV (Rigaku Япония) с использованием $\text{CuK}\alpha$ -излучения ($\lambda = 1,54056 \text{ \AA}$), схема съемки Брэгга-Брентано, со скоростью сканирования 2 град/мин в диапазоне углов 2θ от 10 до 70, с шагом сканирования $0,02^\circ$. Идентификация пиков проводилась с использованием базы данных PDF-2. Экспериментальные дифрактограммы обрабатывали с помощью программы PDXL (Rigaku corporation) с уточнением по методу Ритвельда. Соотношение фаз рассчитывали методом корундовых чисел.

Морфологические исследования материалов проводили на растровом электронном микроскопе FEI Nova NanoSEM 450. Изображения получали с использованием детектора обратно-рассеянных электронов в режиме низкого вакуума. Давление в камере 80 Па, ускоряющее напряжение 30 кВ. Для исследования в сканирующем режиме образцы наклеивались на медную подложку с помощью проводящего углеродного клея.

Дозировку компонентов осуществляли весовым методом путем порционного взвешивания на лабораторных технических весах. Гомогенизацию сырьевой смеси проводили путем ее перемешивания в барабане лабораторной шаровой мельницы рабочим объемом 2 л в течение 60 мин.

Сухую порошковую смесь после гомогенизации переносили в емкость. При постоянном перемешивании с помощью верхнеприводной лопастной мешалки, используя объемный дозатор, равномерными порциями добавляли необходимое количество воды (25 масс. %). Полное время перемешивания 10 мин.

После гомогенизации увлажненную массу порциями помещали в полипропиленовые формы и методом вибролитья формовали образцы-брикеты диаметром 40 мм и высотой ~ 40 мм на лабораторном вибростолу. Полученный сырец оставляли на 8 часов при комнатной температуре. Далее брикеты извлекали из форм и сушили в лабораторном сушильном шкафу с принудительной конвекцией при температуре 120 °С в течение 2 часов.

Высушенные образцы-брикеты помещали в высокотемпературную печь Nabertherm LHT 02/17 на корундовую плиту-подложку и подвергали термообработке по следующему режиму:

скорость нагрева 250 °С в час, первая изотермическая выдержка при температуре 900 °С в течение 30 мин, вторая изотермическая выдержка при заданных максимальных температурах в течение 1 или 2 часа. После обжига клинкер подвергали грубому измельчению в щековой дробилке до полного прохода через сито 2,5 мм, а затем тонкому помолу в лабораторной шаровой мельнице (проход через сетку 008 не менее 90 %).

Основная часть. На первом этапе исследования были выполнены предварительные термогравиметрические исследования экспериментальной кальций-алюминатной шихты – кривые ТГ и ДТГ представлены на рисунке 3. Полученные результаты свидетельствуют о протекании двух процессов, сопровождающихся потерей массы:

- эффект потери 2,3 % массы образца при температуре 222 °С, вероятнее всего, связан с удалением физически связанной и кристаллизационной воды из исследуемого образца;

- более выраженный (потеря 18,1 % массы) при 750 °С обусловлен разложением карбоната кальция (мела) с образованием оксида кальция.

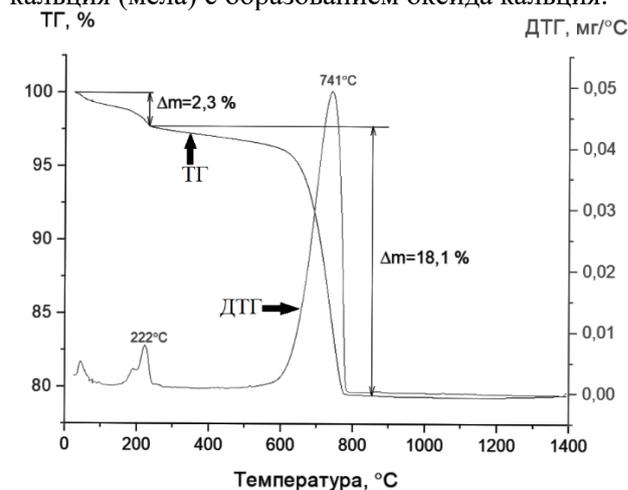


Рис. 3. Кривые ТГ и ДТГ для образца исходной шихты

При дальнейшем увеличении температуры изменения массы образца не наблюдается вплоть до 1400 °С.

Данные ТГ и ДТГ также подтверждаются результатами ДТА. При 220 и 750 °С наблюдаются эндотермические эффекты. В интервале температур от ~1050 до 1250 °С наблюдается широкий слабовыраженный эндотермический эффект, обусловленный протеканием процессов без изменения массы образца (рис. 4). Природа этого эффекта требует дополнительных исследований.

Результаты исследования образцов, подвергнутых термообработке при температурах 1250, 1300, 1350, 1450 °С и времени изотермической выдержки 1 и 2 часа, приведены соответственно на рисунках 5 и 6, а также в таблице 2.

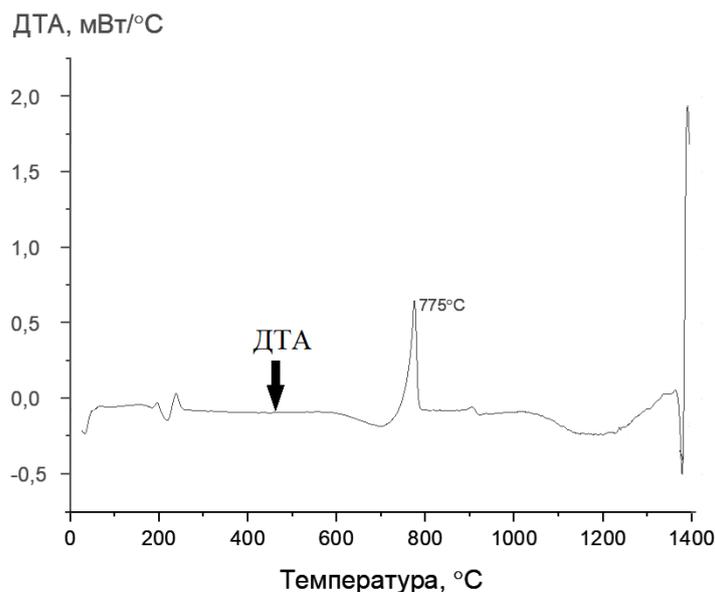


Рис. 4. Кривые ДТА для образца исходной шихты без термообработки

Таблица 2

Влияния режимов термообработки на фазовый состав образцов

Максимальная температура термообработки, °С	Время изотермической выдержки, ч	Содержание фаз, % масс.				
		СА	СА ₂	С ₁₂ А ₇	А ₂ О ₃	СаО
1250	1	54,4	27,0	-	16,5	2,4
1250	2	48,4	35,3	9,7	7,2	-
1300	1	63,4	21,1	8,1	8,2	-
1300	2	67,0	18,0	8,7	6,7	-
1350	1	62,5	21,5	6,9	9,1	-
1350	2	75,1	21,3	3,6	-	-
1400	2	69,2	30,0	0,8	-	-
1450	2	64,0	36,0	-	-	-

В случае термообработки в течение 1 час и температуре 1250 °С основными компонентами получаемых образцов являются целевые фазы (СА и СА₂), а также в образцах сохраняются фазы, соответствующие прекурсорам и продуктам их разложения (А₂О₃ и СаО). При увеличении температуры обработки до 1300 °С суммарное содержание фаз СА и СА₂ остается неизменным, но их относительные количества изменяются в сторону увеличения содержания фазы СА. При температуре 1300 °С исследуемый образец уже не содержит заметных количеств оксида кальция, одновременно с этим происходит снижение содержания оксида алюминия и образования фазы (СаО)₁₂(А₂О₃)₇ (С₁₂А₇). Это свидетельствует о взаимодействии оксида кальция и оксида алюминия с образованием кальций-алюминатных фаз, обогащенных кальцием. Увеличение температуры обработки до 1350 °С с сохранением времени выдержки равным 1 ч, не приводит к существенному изменению фазового состава, в

сравнении с образцами, термообработанными при 1300 °С. Данный факт может свидетельствовать о том, что химический процесс образования целевых фаз СА и СА₂ является кинетически ограниченным.

Далее были проведены исследования влияния режимов термообработки на процесс синтеза кальций-алюминатных фаз при температурах аналогичных вышеописанным (1250, 1300 и 1350 °С), но с увеличением времени выдержки до 2 часов. Также образцы в аналогичных условиях были термообработаны при 1400 и 1450 °С. При температурах 1250 и 1300 °С суммарное содержание целевых фаз СА и СА₂ остается постоянным, а при увеличении максимальной температуры до 1350 °С их содержание увеличивается. Во всем диапазоне температур наличие непрореагировавшего кальция в исследуемых образцах не наблюдалось. Одновременно с увеличением максимальной температуры изотермической вы-

держки происходит снижение содержания оксида алюминия. Количество фазы $C_{12}A_7$ имело максимальное значение при $1250\text{ }^\circ\text{C}$ – 9,7 %, а дальнейшее повышение температуры вело к уменьшению ее содержания до 0,8 % при $1400\text{ }^\circ\text{C}$. Полная трансформация прекурсоров в целевые фазы CA и CA_2 была достигнута после термообработки при $1450\text{ }^\circ\text{C}$ с изотермической выдержкой в течение 2 часов, а фактические мольные соотношения этих фаз почти соответствовали проектным значениям – 64 и 36 %.

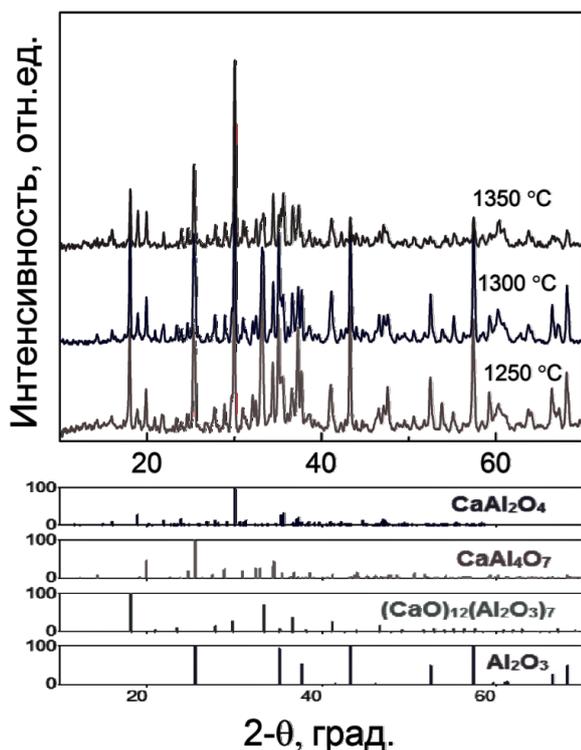


Рис. 5. Порошковые рентгеновские дифрактограммы, полученные на образцах клинкера, выдержка в течение 1 часа при температурах 1250, 1300 и $1350\text{ }^\circ\text{C}$

Исходя из результатов исследования влияния режимов термообработки на процесс синтеза кальций-алюминатных фаз, а также данных представленных в научной литературе [11–15] можно сделать предположение, что формирование целевых фаз CA и CA_2 происходит за счёт формирования и последующего разрушения метастабильной фазы, обогащенной кальцием – $C_{12}A_7$.

Данное предположение косвенно подтверждается результатами сканирующей электронной микроскопии (рис. 7 и 8). Полученные данные СЭМ хорошо согласуются с результатами термогравиметрического и рентгенофазового анализов. При температуре $1250\text{ }^\circ\text{C}$ независимо от времени выдержки наблюдаются крупные частицы с морфологией, сходной с морфологией зерен исходного оксида алюминия, покрытые мелкодисперсными частицами, образованными

продуктами разложения карбоната кальция – CaO . При максимальной температуре обработки, равной $1300\text{ }^\circ\text{C}$ и выдержке 1 час, также наблюдается присутствие мелкодисперсной фазы в межзеренном пространстве. Но при увеличении времени выдержки до 2 часов содержание дисперсной фазы уже значительно меньше.

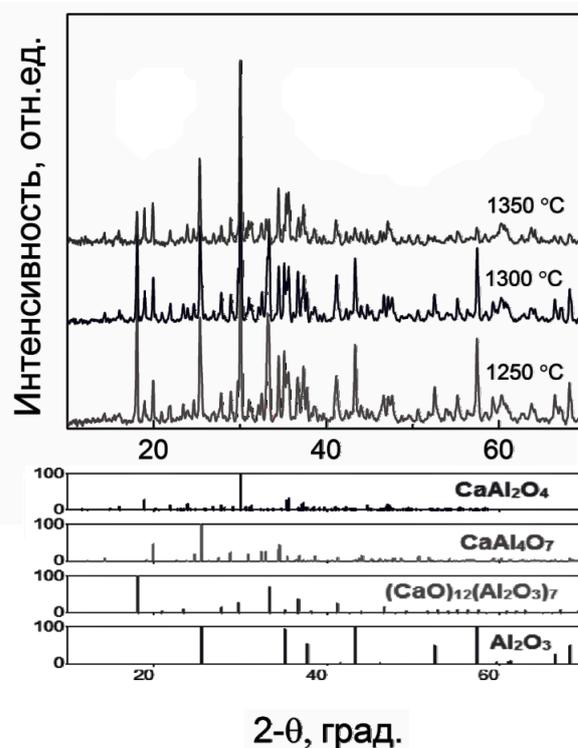
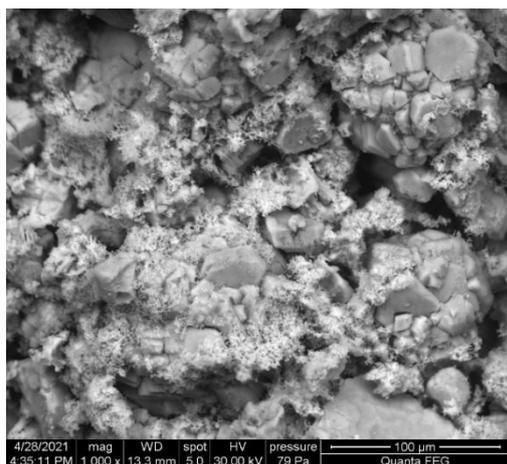
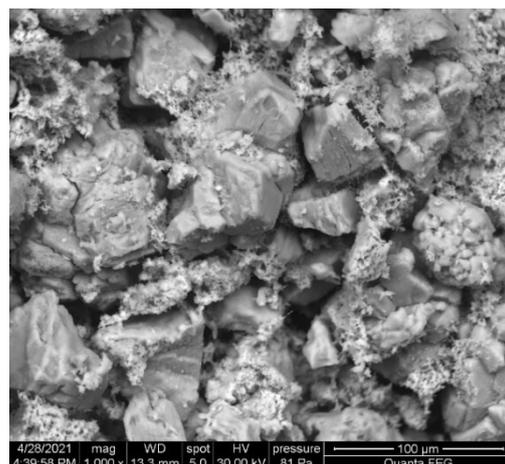


Рис. 6. Порошковые рентгеновские дифрактограммы, полученные на образцах клинкера, выдержка в течение 2 часов при температурах 1250, 1300 и $1350\text{ }^\circ\text{C}$

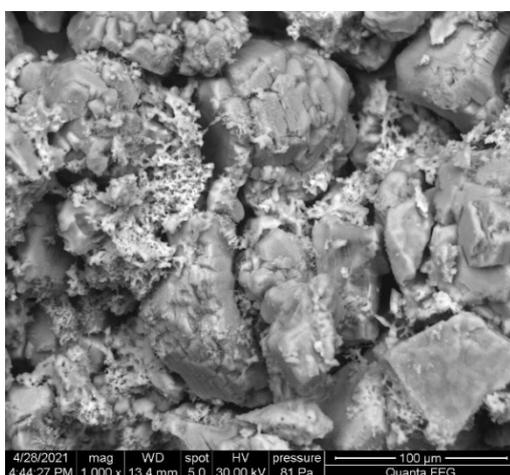
При температуре $1300\text{ }^\circ\text{C}$ и выдержке 2 часа на поверхности частиц с морфологией, характерной для исходного оксида алюминия, наблюдается образование «плотной» оболочки, соответствующей новой фазе (рис. 8). Результаты исследования методом сканирующей электронной микроскопии образцов, термически обработанных при максимальной температуре $1350\text{ }^\circ\text{C}$, независимо от времени выдержки в сочетании с данными рентгенофазового анализа, позволяют предположить, что формирование целевых продуктов обусловлено диффузным взаимодействием продуктов разложения мела (CaO) и поверхности частиц исходного оксида алюминия с образованием частиц типа ядро-оболочка, в которых на поверхности зерен формируется оболочка из фазы богатой оксидом кальция ($C_{12}A_7$), а ядро представлено фазой обогащенной оксидом алюминия (CA_2).



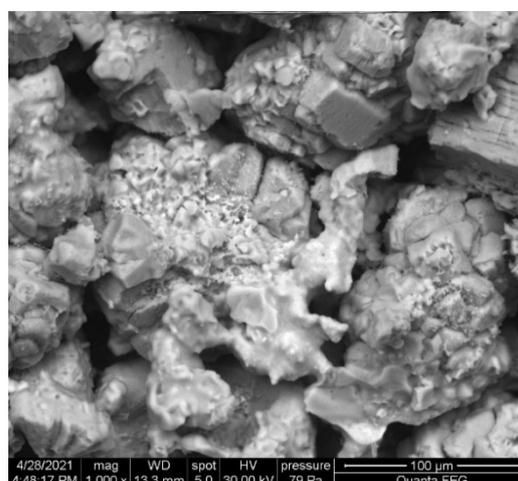
1250 °C 1 ч



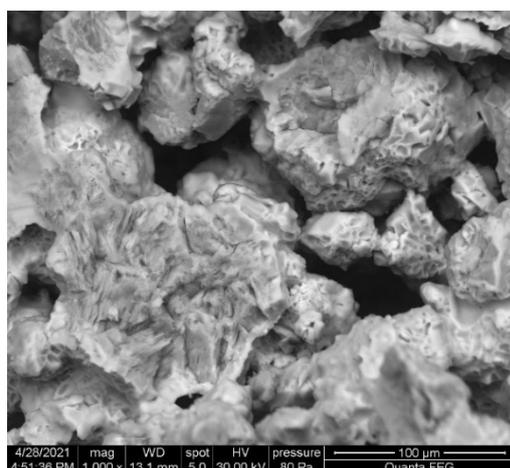
1250 °C 2 ч



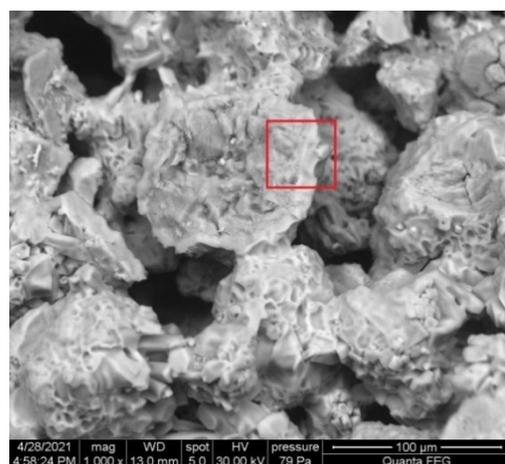
1300 °C 1 ч



1300 °C 2 ч



1350 °C 1 ч



1350 °C 2 ч

Рис. 7. СЭМ изображения поверхностей сколов образцов клинкера, обработанных при максимальных температурах 1250 – 1350 °C

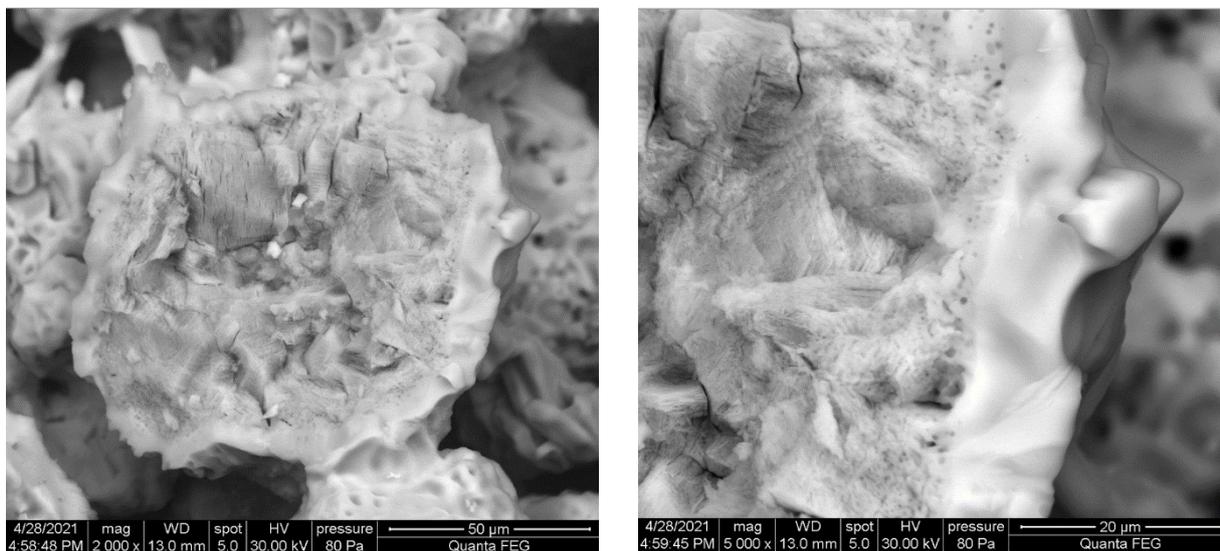


Рис. 8. СЭМ изображения поверхностей сколов образцов клинкера, обработанных при температуре 1350 °С в течении 2 часов

После термообработки образцов кальций-алюминатной шихты при 1450 °С (выдержка 2 часа) как следует из СЭМ-изображений на рис. 9 переходная зона, обогащенная кальцием, уже от-

сутствует. Во всем объеме отчетливо видны хорошо сформированные первичные кристаллы моноалюмината и диалюмината кальция (CA и CA_2). Это подтверждает факт завершения процессов фазообразования в исследуемой системе.

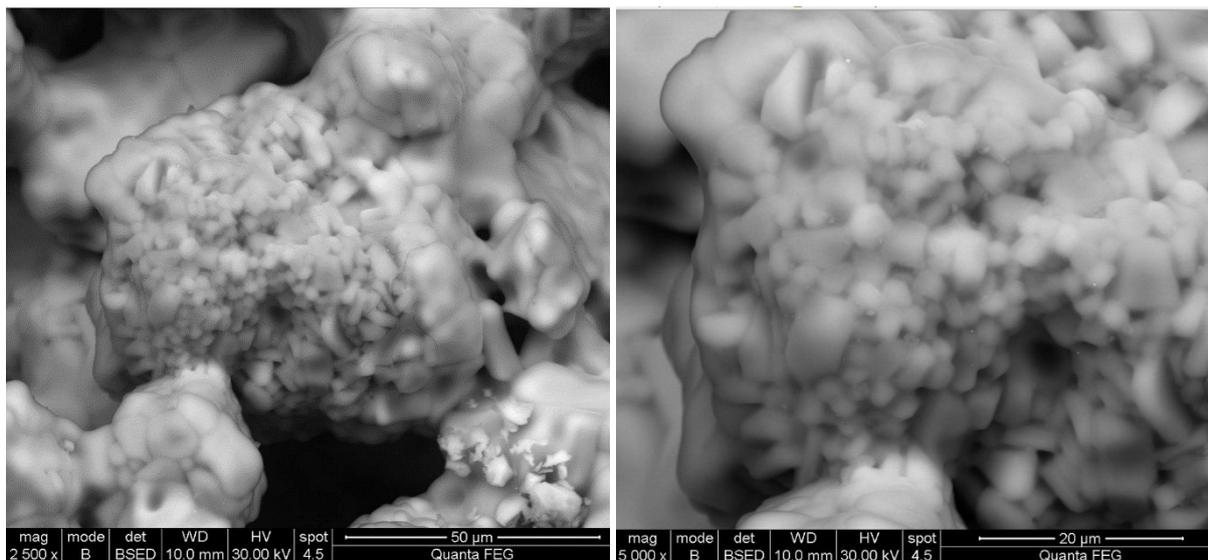


Рис. 9. СЭМ изображения поверхностей сколов образцов клинкера, обработанных при температуре 1450 °С в течении 2 часов

Выводы.

Процесс формирования целевых продуктов CA и CA_2 из дисперсных порошков оксида алюминия и карбоната кальция с увеличением температуры и времени изотермической выдержки определяется преимущественно диффузией более подвижных катионов Ca^{2+} , высвобождаемых в процессе разложения фазы $C_{12}A_7$, в области высоких концентраций оксида алюминия.

Взаимодействие между твердыми фазами преимущественно будет определяться следующими стадиями:

- перенос наиболее подвижной фазы оксида кальция к поверхности раздела;

- физическое взаимодействие оксида алюминия и оксида кальция на поверхности исходных частиц оксида алюминия;

- химическая реакция между исходными компонентами с образованием фазы, обогащённой кальцием;

- кристаллизационные процессы (разрушение кристаллической решетки исходных веществ и образование новой кристаллической решетки продуктов реакции).

Для интенсификации процессов образования целевых фаз CA и CA_2 с требуемым мольным соотношением необходимо минимизировать

влияние факторов, затрудняющих либо замедляющих процесс диффузии. Увеличение скорости диффузии может быть достигнуто путем реализации нескольких подходов: проведение механоактивации, совместный помол исходных компонентов, введение модифицирующих добавок-минерализаторов, способствующих значительному ускорению диффузионных процессов.

Источник финансирования. Работа выполнена в НИУ БелГУ при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках соглашения от 14.12.2020 г. № 075-11-2020-038 о реализации комплексного проекта «Создание импортозамещающего производства компонентов матричных систем и теплотехнических композиционных материалов нового поколения на их основе» согласно Постановлению Правительства РФ от 09.04.2010 г. №218.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ

1. Bhattacharyya S., Prasad B. Studies on phase formation in high alumina cement by varying manufacturing parameter and effect of those phases in refractory castable. Rourkela, 2013. 66 p.
2. Кузьменков М.И., Куницкая Т.С. Вяжущие вещества и технология производства изделий на их основе. Минск.: УО «БГТУ», 2003. 218 с.
3. Кузнецова Т.В., Талабер Й. Глиноземистый цемент. М.: Стройиздат, 1988. 272 с.
4. Krivoborodov Yu., Samchenko S. Synthesis of high alumina cement based on metallurgy wastes // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. 2019. Vol. 687. №2. Pp 1–7.
5. Штиннесен И., Бур А., Кокеджей-Лоренц Р. Высокоочищенный высокоглиноземистый цемент; производство и свойства // Новые огнеупоры. 2003. № 8. С. 22–27.
6. Migal' V.P., Skurikhin V.V., Gershkovich S.I. et al. Production and Equipment High-Alumina Cembor Cements for Low-Cement Refractory Concretes// Refractories and Industrial Ceramics. 2012. Vol. 53. №1. Pp. 4–8.
7. Маргишвили А.П., Русакова Г.В., Гвоздева И.А., Алексеев П.А., Кузнецова О.С. Новые низко- и ультранизкоцементные огнеупорные бетоны производства ОАО «Боровичский комбинат огнеупоров» для металлургии и стекольной промышленности // Новые огнеупоры. 2008. №3. С. 121–126.
8. Илякин А.В., Баранов П.А., Поспелова Е.И., Амурзаков А.Н. Новое поколение магнезиальных торкрет-масс ООО «Группа «Магнезит» // Новые огнеупоры. 2008. №7. 17 с.
9. Jerebtsov D.A., Mikhailov G.G. Phase diagram of CaO-Al₂O₃ system // Ceramics International. 2001. №27. Pp. 25–28.
10. Hai-yan Yu, Yong-pan Tian, Xiaolin Pan, Gan-feng Tu. Mineral transition and formation mechanism of calcium aluminate compounds in CaO-Al₂O₃-Na₂O system during high-temperature sintering // International Journal of Minerals Metallurgy and Materials. 2020. Vol. 27. №7. Pp. 925–932.
11. Zawrah M.F., Shehata A.B, Kishar E.A., Yamani R.N. Synthesis, hydration and sintering of calcium aluminate nanopowder for advanced applications // Comptes Rendus Chimie. 2011. Vol.14. № 6. Pp. 611–618.
12. Park Y.J., Kim Y.J. Effects of crystals structures on luminescent properties of Eu doped Ca-Al-O systems // J. Ceram. Int. 2007. 2843.
13. Hofmeister A.M., Wopenka B., Locock A.J. Spectroscopy and structure of hibonite, grossite, and CaAl₂O₄: Implications for astronomical environments// Geochimica et Cosmochimica Acta. 2004. Vol. 68. № 21. Pp. 4485–4503.
14. Iftekhhar S., Grins J., Svensson G. et al. Phase formation of CaAl₂O₄ from CaCO₃-Al₂O₃ powder mixtures // Journal of the European Ceramic Society. 2008. Vol. 28. Pp. 747–756.
15. Rades S., Hodoroba V.-D., Salge T., Wirth T., Lobera M.P., Labrador R.H., Natte K., Behnke T., Grossa T., Unger W. E. S. High-resolution imaging with SEM/T-SEM, EDX and SAM as a combined methodical approach for morphological and elemental analyses of single engineered nanoparticles // RSC Advances. 2014. Vol. 91. №4. Pp. 49577–49587.

Информация об авторах

Трубицын Михаил Александрович, кандидат технических наук, профессор кафедры общей химии Института фармации, химии и биологии НИУ «БелГУ». E-mail: troubitsin@bsu.edu.ru. Белгородский государственный национальный исследовательский университет. Россия, 308015, Белгород, ул. Победы, д.85

Япрынец Максим Николаевич, кандидат физико-математических наук, научный сотрудник ЦКП «Технологии и материалы НИУ «БелГУ». E-mail: yarprintsev@bsu.edu.ru. Белгородский государственный национальный исследовательский университет. Россия, 308015, Белгород, ул. Победы, д.85

Фурда Любовь Владимировна, кандидат химических наук, доцент кафедры общей химии Института фармации, химии и биологии НИУ «БелГУ». E-mail: furda@bsu.edu.ru. Белгородский государственный национальный исследовательский университет. Россия, 308015, Белгород, ул. Победы, д.85

Воловичева Наталья Александровна, кандидат технических наук, доцент кафедры общей химии Института фармации, химии и биологии НИУ «БелГУ». E-mail: volovicheva@bsu.edu.ru. Белгородский государственный национальный исследовательский университет. Россия, 308015, Белгород, ул. Победы, д.85

Кузин Владислав Игоревич, генеральный директор ЗАО «ПКФ «НК», Россия, 309515, г. Старый Оскол, пл-ка Монтажная, проезд Ш-6, зд. 1.

Зубашенко Роман Вячеславович, кандидат технических наук, заместитель директора по науке. E-mail: zromann7777@mail.ru. ЗАО «ПКФ «НК», Россия, 309515, г. Старый Оскол, пл-ка Монтажная, проезд Ш-6, зд. 1.

Поступила 19.10.2021 г.

© Трубицын М.А., Япрынцеv М.Н., Фурда Л.В., Воловичева Н.А., Кузин В.И., Зубашенко Р.В., 2022

^{1,*}*Troubitsin M.A., ¹Yapryntsev M.N., ¹Furda L.V., ¹Volovicheva N.A.,*

²*Kuzin V.I., ²Zubashenko R.V.*

¹*Belgorod National Research University*

²*ZAO «PKF «NK»*

**E-mail: troubitsin@bsu.edu.ru*

INFLUENCE OF HEAT TREATMENT MODES ON THE PROCESS OF SYNTHESIS OF CALCIUM-ALUMINATE PHASES IN THE TECHNOLOGY OF SPECIAL HIGH PURITY ALUMINUM CEMENT

Abstract. The results of experimental studies on the phase formation of CaAl_2O_4 (CA) and CaAl_4O_7 (CA_2) from CaCO_3 – Al_2O_3 powder mixtures in the temperature range 1250–1450 °C are presented. In order to calculate the content of raw materials in the charge, the criterion of obtaining high-alumina clinker with Al_2O_3 content of 71–72 wt. % and CaO 27–28 wt. % is proceeded. This mass ratio in the CaO – Al_2O_3 system state diagram suggests the presence of two calcium-aluminate phases CA and CA_2 . The projected phase composition of clinker is 64 mol. % CaAl_2O_4 (CA) and 36 mol. % CaAl_4O_7 (CA_2). As precursors chalk grade M-90 and technical alumina grade G-0 are used. The initial charge is heat-treated at temperatures of 1250, 1300, 1350, 1450 °C and isothermal stage times of 1 and 2 hours. It is supposed that the synthesis of target phases CA and CA_2 is preceded by formation stage followed by degradation of calcium-enriched metastable phase C_{12}A_7 . This assumption is confirmed by the results of thermogravimetric and X-ray phase analyses and by scanning electron microscopy. The process of formation of CA and CA_2 target products from dispersed powders of aluminum oxide and calcium carbonate with increasing temperature and time of isothermal exposure is determined mainly by diffusion of more mobile Ca^{2+} cations released in the process of C_{12}A_7 phase degradation in the area of high concentrations of aluminum oxide.

Keywords: heat treatment, calcium monoaluminate, calcium dialuminate, high alumina cement, phase formation, mechanical activation, diffusion.

REFERENCES

1. Bhattacharyya S., Prasad B. Studies on phase formation in high alumina cement by varying manufacturing parameter and effect of those phases in refractory castable. Rourkela, 2013. 66 p.
2. Kuz'menkov M.I., Kunickaya T.S. Astringents and technology for the production of products based on them [Vyazhushchie veshchestva i tekhnologiya proizvodstva izdelij na ih osnove]. Minsk.: UO «BGTU», 2003. 218 p. (rus)
3. Kuznecova T.V., Talaber J. Alumina cement [Glinozemistyj cement]. M.: Strojizdat, 1988. 272 p. (rus)
4. Krivoborodov Yu., Samchenko S. Synthesis of high alumina cement based on metallurgy wastes. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. 2019. Vol. 687. No. 2. Pp 1–7.
5. Shtinnessen I., Bur A., Kokedzhej-Lorenc R. High purity high alumina cement; production and properties [Vysokochistyj vysokoglinozemistyj cement; proizvodstvo i svoystva]. New refractories. 2003. No. 8. Pp. 22–27. (rus)
6. Migal' V.P., Skurikhin V.V., Gershkovich S.I. et al. Production and Equipment High-Alumina Cembor Cements for Low-Cement Refractory Concretes. Refractories and Industrial Ceramics. 2012. Vol. 53. No. 1. Pp. 4–8.
7. Margishvili A.P., Rusakova G.V., Gvozdeva I.A., Alekssev P.A., Kuznecova O.S. New low- and ultra-low-cement refractory concretes produced by JSC «Borovichi Refractory Plant» for metallurgy and glass industry [Novye nizko- i ul'tranizkoementnye ogneupornye betony proizvodstva OAO

«Borovichskij kombinat ogneporov» dlya metalurgii i stekol'noj promyshlennosti]. New refractories. 2008. No. 3. Pp. 121–126. (rus)

8. Ilyakin A.V., Baranov P.A., Pospelova E.I., Amurzakov A.N. New generation of magnesia gunning mixes of «Group «Magnezit» [Novoe pokolenie magnezial'nyh torkret-mass OOO «Gruppa «Magnezit»]. New refractories. 2008. No. 7. Pp. 17. (rus)

9. Jerebtsov D.A., Mikhailov G.G. Phase diagram of CaO-Al₂O₃ system. Ceramics International. 2001. No. 27. Pp. 25–28.

10. Hai-yan Yu, Yong-pan Tian, Xiaolin Pan, Gan-feng Tu. Mineral transition and formation mechanism of calcium aluminate compounds in CaO-Al₂O₃-Na₂O system during high-temperature sintering. International Journal of Minerals Metallurgy and Materials. 2020. Vol. 27. No. 7. Pp. 925–932.

11. Zawrah M.F., Shehata A.B., Kishar E.A., Yamani R.N. Synthesis, hydration and sintering of calcium aluminate nanopowder for advanced applications. Comptes Rendus Chimie. 2011. Vol. 14. No. 6. Pp. 611–618.

12. Park Y.J., Kim Y.J. Effects of crystals structures on luminescent properties of Eu doped Ca-Al-O systems. J. Ceram. Int. 2007. 2843.

13. Hofmeister A.M., Wopenka B., Locock A.J. Spectroscopy and structure of hibonite, grossite, and CaAl₂O₄: Implications for astronomical environments. Geochimica et Cosmochimica Acta. 2004. Vol. 68. No. 21. Pp. 4485–4503.

14. Iftekhar S., Grins J., Svensson G. et al. Phase formation of CaAl₂O₄ from CaCO₃-Al₂O₃ powder mixtures. Journal of the European Ceramic Society. 2008. Vol. 28. Pp. 747–756.

15. Rades S., Hodoroba V.-D., Salge T., Wirth T., Lobera M.P., Labrador R.H., Natte K., Behnke T., Grossa T., Unger W. E. S. High-resolution imaging with SEM/T-SEM, EDX and SAM as a combined methodical approach for morphological and elemental analyses of single engineered nanoparticles. RSC Advances. 2014. Vol. 91. No. 4. Pp. 49577–49587.

Information about the authors

Troubitsin, Mikhail A. PhD, Professor of the Department of General Chemistry, Institute of Pharmacy, Chemistry and Biology of the National Research University «BelSU». E-mail: troubitsin@bsu.edu.ru. Belgorod National Research University Russia, 308015, Belgorod, st. Pobedy, 85

Yaprintsev, Maksim N. PhD, researcher of Center «Technologies and materials of the NRU «BelSU». E-mail: yaprintsev@bsu.edu.ru. Belgorod National Research University Russia, 308015, Belgorod, st. Pobedy, 85

Furda, Lyubov V. PhD, Assistant professor of the Department of General Chemistry, Institute of Pharmacy, Chemistry and Biology of the National Research University «BelSU». E-mail: furda@bsu.edu.ru. Belgorod National Research University Russia, 308015, Belgorod, st. Pobedy, 85

Volovicheva, Natalya A. PhD, Assistant professor of the Department of General Chemistry, Institute of Pharmacy, Chemistry and Biology of the National Research University «BelSU». E-mail: volovicheva@bsu.edu.ru. Belgorod National Research University Russia, 308015, Belgorod, st. Pobedy, 85

Kuzin, Vladislav I. General Director of ZAO «PKF «NK», Russia, 309515 Stary Oskol, f. Montagnaya, Sh-6, 1.

Zubashenko, Roman V. PhD, Deputy Director for Science of ZAO «PKF «NK». E-mail: zromann7777@mail.ru. Russia, 309515 Stary Oskol, f. Montagnaya, Sh-6, 1.

Received 19.10.2021

Для цитирования:

Трубицын М.А., Япрынцеv М.Н., Фурда Л.В., Воловичева Н.А., Кузин В.И., Зубашенко Р.В. Влияние режимов термообработки на процесс синтеза кальций-алюминатных фаз в технологии особо чистого высокоглиноземистого цемента // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2022. № 2. С. 84–93. DOI: 10.34031/2071-7318-2021-7-2-84-93

For citation:

Troubitsin M.A., Yaprintsev M.N., Furda L.V., Volovicheva N.A., Kuzin V.I., Zubashenko R.V. Influence of heat treatment modes on the process of synthesis of calcium-aluminate phases in the technology of special high purity aluminum cement. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2022. No. 2. Pp. 84–93. DOI: 10.34031/2071-7318-2021-7-2-84-93

МАШИНОСТРОЕНИЕ И МАШИНОВЕДЕНИЕ

DOI: 10.34031/2071-7318-2021-7-2-94-101

Ханин С.И., Воронов В.П., Кикин Н.О., Мордовская О.С.Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова***E-mail: dh@intbel.ru*

ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ КОНЦЕНТРАЦИИ КЛЮЧЕВОГО КОМПОНЕНТА СУХОЙ СМЕСИ В ГОРИЗОНТАЛЬНОМ ЛОПАСТНОМ СМЕСИТЕЛЕ С ЦИЛИНДРИЧЕСКИМИ СТЕРЖНЯМИ

Аннотация. В производстве строительных материалов двухвальными лопастными смесителями распространены при подготовке как сухих, так и пластичных смесей. При вращении лопасти в смешиваемой среде непосредственно перед её рабочей поверхностью образуется уплотненная зона из перемешиваемых компонентов. Это уплотнение негативно влияет на качество смесеприготовления, характеризующегося однородностью получаемой смеси. С целью воздействия на уплотненную зону, интенсификации процесса смешивания перед рабочей поверхностью лопасти устанавливаются стержни цилиндрической формы. Получено математическое описание процесса сухого смешивания двух компонентов в горизонтальном лопастном смесителе. Оно позволяет, в зависимости от наиболее влияющих на этот процесс его конструктивных и технологических параметров, рассчитать в определенном объеме смеси значения концентрации ключевого компонента как при установке перед рабочей поверхностью лопасти стержней цилиндрической формы, так и без стержней. Выполнены исследования изменения концентрации ключевого компонента для смесителя со стержнями при изменяющихся значениях его конструктивно-технологических параметров. Определены для смесителя со стержнями закономерности влияния конструктивно-технологических параметров на изменение концентрации ключевого компонента в определенном объеме смеси и их рациональные значения. При сравнении значений концентраций ключевого компонента, полученных с использованием математического описания для смесей, приготовляемых в смесителях со стержнями и без стержней, установлено, что смеситель со стержнями позволяет получать смесь более высокого качества со значениями концентрации ключевого компонента более близкими к идеальному значению.

Ключевые слова: смешивание, лопастной двухвальный смеситель, концентрация ключевого компонента, стержни цилиндрической формы.

Введение. Процесс смешивания компонентов получил широкое распространение в производстве различных строительных материалов. Для подготовки качественных сухих строительных смесей используются смесительные машины различных принципов действия: смесители гравитационного типа, смесители принудительного действия, смесители, воздействующие на компоненты энергонесителем (например, пневматические) и другие.

Двухвальные лопастные смесители, относящиеся к группе смесителей принудительного действия, являются эффективными машинами для получения качественных смесей. Благодаря относительно простой конструкции, достаточно большой производительности и повышенной площади взаимодействия рабочих органов со смешиваемым материалом, двухвальные смесители используются для получения как сухих, так и пластичных смесей [1, 2].

На отечественных и зарубежных предприятиях по производству сухих строительных смесей применяют различные модели двухвальных

смесителей. Как правило, выбор конкретной машины определяется технологическим регламентом предприятия на производство продукции [3].

Двухвальные смесители непрерывного действия обеспечивают производительность до 100 т/ч и более. Для таких машин очень важным параметром является точность дозирования компонентов и время их пребывания в рабочей камере смесителя. К основному недостатку машин данного типа относится низкая однородность готовой смеси. Периодические двухвальные смесители характеризуются меньшей производительностью, однако, в связи с точной дозировкой компонентов и строго определенным временем смешивания, готовая смесь получается более высокого качества [4].

Основными рабочими органами, непосредственно взаимодействующими с усредненным материалом, в двухвальных смесителях являются лопасти, которые радиально закреплены на вращающемся валу. Так как лопасти повернуты на некоторый угол относительно плоскости, перпендикулярной продольной оси валов, то при

вращательном движении лопасти активно перемещают компоненты смеси в радиальном (поперечном) направлении. Такое воздействие является основным в смесителях периодического действия. Продольное движение смеси в рабочей камере зависит от режима работы смесителя, схемы и угла установки лопастей относительно плоскости вращения.

При движении лопасти в смешиваемой среде перед её рабочей поверхностью образуется уплотнение из компонентов (рис.1), в котором массообменные процессы идут гораздо медленней, чем на границе возникновения уплотнения. Объем данного уплотнения преимущественно зависит от геометрических размеров лопасти и угла её установки относительно плоскости вращения [5–7].

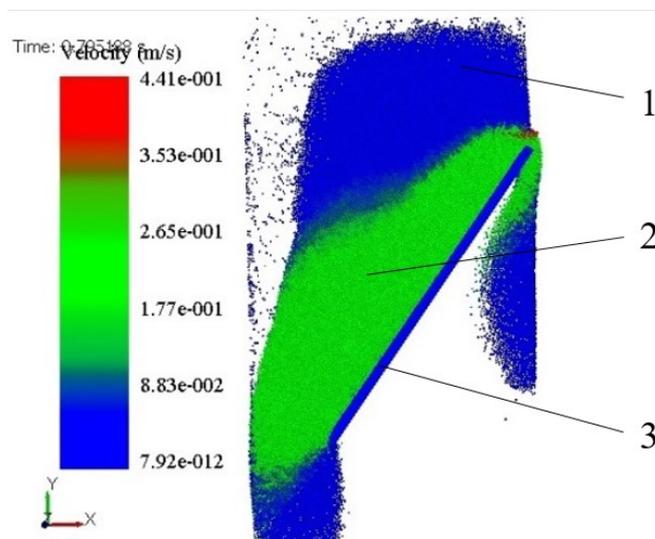


Рис. 1. Образование уплотнения из смешиваемого материала перед лопастью:

- 1 – смешиваемый материал, удаленный от рабочей поверхности лопасти;
2 – зона уплотнения материала; 3 – лопасть

С целью воздействия на уплотнение перед лопастью и повышения интенсификации процесса смешивания за счет увеличения площади взаимодействия рабочих органов с материалом, была предложена конструкция смесителя, в котором перед лопастью устанавливаются стержни цилиндрического поперечного сечения. Для установления рациональных значений параметров рабочих органов рассматриваемой конструкции смесителя целесообразно разработать математическое описание процесса смешивания компонентов материала [8–11].

Методология. С учетом рекомендаций [12–15], а также с учетом результатов анализа процесса смешивания компонентов в смесителе периодического режима работы со схемой установки лопастей, которая обеспечивает круговое движение компонентов в рабочей камере смесителя, рассматривалось изменение концентрации ключевого компонента для поперечного движения смешиваемого материала. Схема поперечного сечения предложенной модели двухвального смесителя с установленными перед рабочей поверхностью стержнями цилиндрической формы показана на рис. 2.

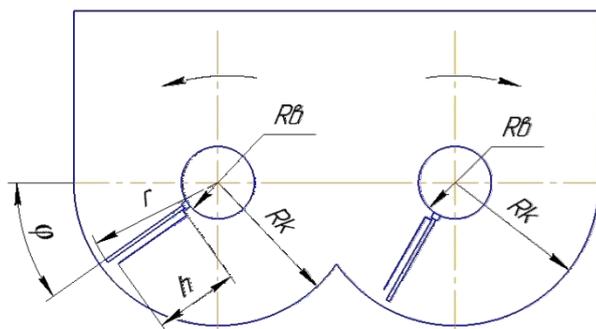


Рис. 2. Схема поперечного сечения двухвального смесителя:

- h – высота цилиндрических стержней; R_k – радиус днища корпуса; R_b – радиус вала;
 r – расстояние от оси вращения, φ – угол поворота лопасти

Запишем уравнение диффузионной модели для поперечного движения смешиваемого материала согласно (12):

$$\frac{\partial c}{\partial t} = \frac{D_r}{r} \left(\frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial c}{\partial r} \right) \right), \quad (1)$$

где $C=C(t,r)$ – изменение в смеси концентрации ключевого компонента с течением времени t и при изменении расстояния r от оси вращения; D_r – коэффициент поперечного перемешивания частиц материала; t – время смешивания, с; r – радиус поперечного сечения потока, м.

Коэффициент поперечного перемешивания D_r зависит от вклада лопасти и установленных перед лопастью стержней в поперечное движение смешиваемых компонентов. Очевидно, что вклад в поперечное движение частиц материала в результате вращения лопасти и установленных перед ней стержней цилиндрической формы с частотой ω пропорционален значению этой частоты и площадей активного воздействия лопасти и стержней на материал. Поэтому коэффициент поперечного перемешивания можно описать выражением:

$$D_r = (S \cdot \cos \alpha + \pi \cdot R_{\text{ц}} \cdot h) \cdot \omega, \quad (2)$$

где S – площадь рабочей поверхности лопасти, м²; α – угол установки лопасти к плоскости, перпендикулярной продольной оси валов, рад; $R_{\text{ц}}$ – радиус цилиндрического стержня, установленного перед лопастью, м; h – высота цилиндрического стержня, м; ω – частота вращения лопастного вала, с⁻¹.

При подстановке формулы (2) в уравнение (1) получим:

$$\frac{\partial c}{\partial t} = \frac{(S \cdot \cos \alpha + \pi \cdot R_{\text{ц}} \cdot h) \cdot \omega}{r} \cdot \left[r \cdot \frac{\partial^2 c}{\partial r^2} + \frac{\partial c}{\partial r} \right]. \quad (3)$$

Для упрощения записи математических выражений при получении решения уравнения (3) введем безразмерные переменные (φ, ξ):

$$\varphi = \omega \cdot t. \quad (4)$$

$$r = \beta \cdot \xi. \quad (5)$$

$$\beta = \sqrt{S \cdot \cos \alpha + \pi \cdot R_{\text{ц}} \cdot h}. \quad (6)$$

С учетом (4), (5), (6) уравнение (3) принимает вид:

$$\frac{\partial c}{\partial \varphi} = \frac{\partial^2 c}{\partial \xi^2} + \frac{1}{\xi} \cdot \frac{\partial c}{\partial \xi}. \quad (7)$$

Решение дифференциального выражения (7), ограниченное во всем объеме смесителя относительно переменных (t, r) и удовлетворяющее граничным условиям:

$$C(0, R_{\text{в}}) = C_0, \quad (8)$$

$$C(0, R_{\text{к}}) = 0, \quad (9)$$

здесь C_0 – начальное значение концентрации ключевого компонента смеси сыпучего материала; $R_{\text{к}}$ – радиус цилиндрической части корпуса смесителя, м; $R_{\text{в}}$ – радиус лопастного вала, м;

имеет вид:

$$c(t, r) = \frac{C_0}{J_0\left(\frac{R_{\text{в}}}{R_{\text{к}}}\psi_1\right)} \cdot \exp\left(-\frac{\beta^2 \cdot \psi_1^2}{R_{\text{к}}^2} \cdot \omega \cdot t\right) \cdot J_0\left(\frac{r}{R_{\text{к}}} \cdot \psi_1\right). \quad (10)$$

Здесь $J_0(\xi)$ – является функцией Бесселя нулевого порядка первого рода, а число ψ_1 является первым нулем функции $J_0(\xi)$.

Полученное уравнение (10) позволяет определить изменение концентрации выделенной компоненты частиц сыпучего материала в зависимости от конструктивных ($S, \alpha, R_{\text{ц}}, h, R_{\text{к}}$) и технологических (ω, t) параметров.

Согласно (10) второй сомножитель описывает временную зависимость изменения концентрации выделенной компоненты смеси, которая носит экспоненциальный характер. Следовательно, при достаточно длительном времени смешивания (в пределах $t \rightarrow \infty$) значение концентрации выделенной компоненты смеси должно принять предельное конечное значение « $C_{\text{к}}$ ». Поэтому формулу (10) можно окончательно привести к следующему виду:

$$C(t, r) = C_{\text{к}} - (C_{\text{к}} - C_0) \cdot \exp\left(-\frac{S \cdot \cos \alpha + \pi R_{\text{ц}} \cdot h}{J_0\left(\frac{R_{\text{в}}}{R_{\text{к}}}\psi_1\right)} \cdot \psi_1^2 \cdot \omega \cdot t\right) \cdot J_0\left(\frac{r}{R_{\text{к}}} \cdot \psi_1\right) \quad (11)$$

Выражение (11) представляет собой математическое описание процесса сухого смешивания двух компонентов в горизонтальном лопастном смесителе. Оно позволяет, в зависимости от рассматриваемых конструктивных и технологических параметров смесителя с установленными стержнями цилиндрической формы перед рабочими поверхностями лопастей, рассчитать в определенном объеме двухкомпонентной сухой смеси значения концентрации ключевого компонента. Для возможности использования выражения (11) для математического описания процесса сухого смешивания двух компонентов в горизонтальном лопастном смесителе без стержней, высота стержней в этом выражении должна быть приравнена нулю ($h=0$).

Основная часть. С помощью программной среды *Maple* были выполнены исследования уравнения (11) и получены графические зависимости изменения концентрации ключевого компонента от конструктивных и технологических факторов (рис. 3).

Стоит отметить, что в рассматриваемом случае значение $C_{\text{к}}$ было выбрано исходя из соотношения смешиваемых двух компонентов в пропорциях 1 к 5. Т.е. значение идеальной концентрации ключевого компонента $C_{\text{к}}=0,2$.

Увеличение α от минимальной величины приводит к повышению концентрации ключевого компонента (рис. 3, а). Так, при $t=30$ с, $\omega=1$ с⁻¹, минимальном значении расстояния от оси

вращения $r=0,1$ м и $\alpha_1=20^\circ$, $\alpha_2=35^\circ$, $\alpha_3=50^\circ$ концентрация ключевого компонента принимает соответственно значения $C_{11}=0,43$, $C_{12}=0,51$, $C_{13}=0,55$. Значения функции изменяются на 0,12. При значении $r=0,2$ и рассматриваемых значениях α – $C_{14}=0,36$, $C_{15}=0,42$, $C_{16}=0,50$, соответственно. Значения функции изменяются на 0,14. При максимальном значении $r=0,35$ м и тех же α значения концентрации ключевого компонента соответственно составляют $C_{17}=0,30$, $C_{18}=0,32$, $C_{19}=0,34$. Изменение функции составляет 0,04. При рассмотренных значениях варьируемых параметров максимальное значение концентрации ключевого компонента $C_{max1}=0,56$ достигается при значениях $r=0,1$ м, и $\alpha=55^\circ$, минимальное значение $C_{min1}=0,30$ достигается при значениях $r=0,35$ м, и $\alpha=20^\circ$.

Увеличение времени смешивания t приводит к снижению концентрации ключевого компонента (рис. 3, б). При $\alpha=30^\circ$, $\omega=1\text{с}^{-1}$, минимальном

значении $r=0,1$ м и $t_1=5$ с, $t_2=15$ с, $t_3=30$ с концентрация ключевого компонента принимает соответственно значения $C_{21}=0,9$, $C_{22}=0,67$, $C_{23}=0,45$. Значения функции изменяются на 0,45. При значении $r=0,2$ м и тех же значениях t , концентрация ключевого компонента принимает соответственно значения $C_{24}=0,72$, $C_{25}=0,53$, $C_{26}=0,34$. Изменение функции составляет 0,38. При максимальном значении $r=0,35$ м и выбранных значениях t концентрация ключевого компонента будет принимать следующие значения: $C_{27}=0,4$, $C_{28}=0,33$, $C_{29}=0,31$. Значения функции изменяются на 0,09. При рассмотренных значениях варьируемых параметров максимальное значение концентрации ключевого компонента $C_{max2}=0,96$ достигается при значениях $r=0,1$ м, и $t=1$ с, минимальное значение $C_{min2}=0,31$ достигается при значениях $r=0,35$ м и $t=30$ с.

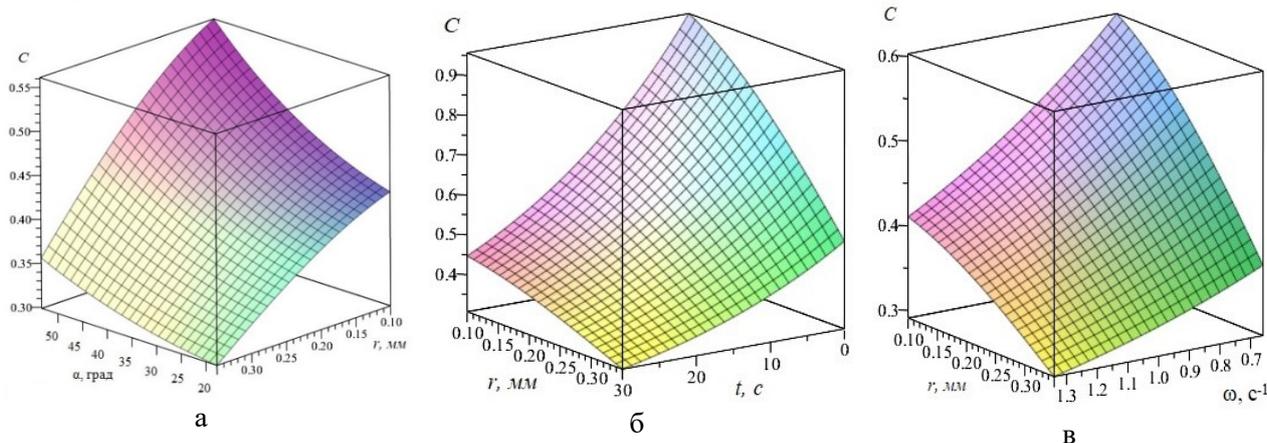


Рис. 3. Зависимость C для смесителя со стержнями от:

- а – расстояния r от оси вращения лопастного вала и угла установки лопастей α при $t=30$ с, $\omega=1\text{с}^{-1}$;
- б – расстояния r от оси вращения лопастного вала и времени смешивания t при $\alpha=30^\circ$ и $\omega=1\text{с}^{-1}$; в – расстояния r от оси вращения лопастного вала и частоты вращения лопастных валов ω при $t=30$ с и $\alpha=30^\circ$

Увеличение частоты вращения лопастных валов ω приводит к снижению концентрации ключевого компонента C (рис. 3, в). Так, при $t=30$ с, $\alpha=30^\circ$, минимальном значении расстояния от оси вращения $r=0,1$ м и $\omega_1=0,66\text{с}^{-1}$, $\omega_2=1,0\text{с}^{-1}$, $\omega_3=1,34\text{с}^{-1}$ концентрация ключевого компонента принимает соответственно значения $C_{31}=0,60$, $C_{32}=0,51$, $C_{33}=0,41$. Значения функции изменяются на 0,19. При значении $r=0,2$ м и тех же значениях ω концентрация ключевого компонента принимает соответственно значения $C_{34}=0,53$, $C_{35}=0,42$, $C_{36}=0,33$. Изменение функции составляет 0,2. При максимальном значении $r=0,35$ м и выбранных значениях ω концентрация ключевого компонента будет принимать следующие значения: $C_{37}=0,35$, $C_{38}=0,32$, $C_{39}=0,29$. Значения функции изменяются на 0,06. При рассмотренных значениях варьируемых параметров максимальное значение концентрации ключевого компонента $C_{max3}=0,60$ достигается при значениях

$r=0,1$ м, и $\omega=0,66\text{с}^{-1}$, минимальное значение $C_{min3}=0,29$ достигается при значениях $r=0,35$ м, и $\omega=1,34\text{с}^{-1}$.

При рассмотрении областей значений варьируемых параметров $\alpha=20\dots50^\circ$, $r=0,1\dots0,35$ м, $t=1\dots30$ с, $\omega=0,66\text{с}^{-1}\dots1,34\text{с}^{-1}$ минимальное значение концентрации ключевого компонента в смесителе со стержнями $C_{min}^c=0,26$ достигается при рациональных величинах $\alpha_{\text{рац}}^c=20^\circ$, $r_{\text{рац}}^c=0,35$ м, $t_{\text{рац}}^c=30$ с, $\omega_{\text{рац}}^c=1,34\text{с}^{-1}$.

Для возможности сравнения изменений концентрации ключевого компонента в смесителе с установленными стержнями перед рабочей поверхностью лопасти и в смесителе без стержней, в выражении (33) полученного математического описания процесса смешивания компонентов высота стержней приравнивалась нулю ($h=0$). Все остальные варьируемые параметры изменялись в рассмотренных пределах. Это позволило исполь-

зовать указанное выражение для описания изменения концентрации ключевого компонента в смесителе без стержней и провести сравнительный анализ с полученными результатами для смесителя с установленными стержнями. Приведенные на рис. 4 графические зависимости для двухкомпонентной смеси характеризуют изменения концентрации ключевого компонента при отсутствии в смесителе стержней перед лопастями.

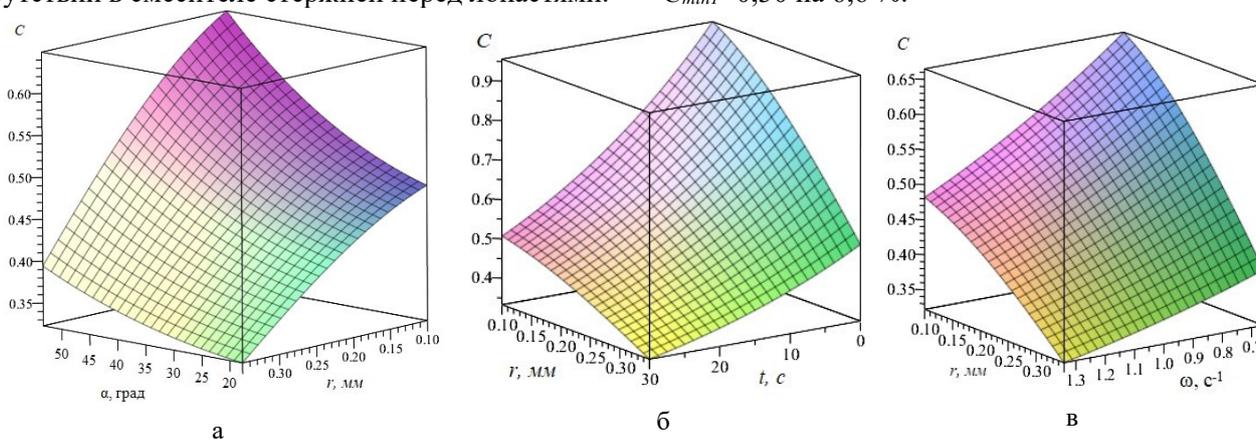


Рис. 4. Изменение C в смеси при отсутствии в смесителе стержней перед лопастями ($h=0$) в зависимости от: а – расстояния r от оси вращения лопастного вала и угла установки лопастей α при $t=30$ с, $\omega=1$ с $^{-1}$; б – расстояния r от оси вращения лопастного вала и времени смешивания t при $\alpha=30^\circ$ и $\omega=1$ с $^{-1}$; в – расстояния r от оси вращения лопастного вала и частоты вращения лопастных валов ω при $t=30$ с

При $\alpha=30^\circ$, $\omega=1$ с $^{-1}$, $r=0,1\dots0,35$ м, $t=1\dots30$ с максимальное значение концентрации ключевого компонента $C_{max5}=0,96$ достигается при значениях $r=0,1$ м и $t=1$ с, минимальное значение $C_{min5}=0,33$ достигается при значениях $r=0,35$ м и $t=30$ с (рис.4, б). Значение $C_{max5}=0,96$ равно значению $C_{max2}=0,96$, а значение $C_{min5}=0,33$ больше аналогичного значения $C_{min2}=0,31$ на 6%.

При $t=30$ с, $\alpha=30^\circ$, $r=0,1\dots0,35$ м, $\omega=0,66$ с $^{-1}\dots1,34$ с $^{-1}$ максимальное значение концентрации ключевого компонента $C_{max6}=0,67$ достигается при значениях $r=0,1$ м, и $\omega=0,66$ с $^{-1}$, минимальное значение $C_{min6}=0,32$ достигается при значениях $r=0,35$ м, и $\omega=1,34$ с $^{-1}$ (рис.4, в). Значение $C_{max6}=0,67$ больше аналогичного значения $C_{max3}=0,60$ на 11,6%, а значение $C_{min6}=0,32$ больше аналогичного значения $C_{min3}=0,29$ на 9,3%.

При рассмотрении областей значений варьируемых параметров $\alpha=20\dots50^\circ$, $r=0,1\dots0,35$ м, $t=1\dots30$ с, $\omega=0,66$ с $^{-1}\dots1,34$ с $^{-1}$ минимальное значение концентрации ключевого компонента в смесителе без стержней $C_{min}^6=0,28$ достигается при рациональных величинах $\alpha_{рац}^6=20^\circ$, $r_{рац}^6=0,35$ м, $t_{рац}^6=30$ с, $\omega_{рац}^6=1,34$ с $^{-1}$.

Анализируя полученные результаты, следует отметить, что смеситель с установленными стержнями позволяет получать смесь более высокого качества со значениями концентрации ключевого компонента более близкими к идеальному значению. При варьировании конструктивных и

Так, при $t=30$ с, $\omega=1$ с $^{-1}$, $r=0,1\dots0,35$ м, максимальное значение концентрации ключевого компонента $C_{max4}=0,65$ достигается при значениях $r=0,1$ м и $\alpha=55^\circ$, минимальное значение $C_{min4}=0,32$ достигается при значениях $r=0,35$ м и $\alpha=20^\circ$ (рис.4, а). Значение $C_{max4}=0,65$ больше аналогичного значения $C_{max1}=0,56$ на 16 %, а значение $C_{min4}=0,32$ больше аналогичного значения $C_{min1}=0,30$ на 6,6 %.

технологических параметров смесителей со стержнями и без стержней в областях их значений $\alpha=20\dots50^\circ$, $r=0,1\dots0,35$ м, $t=1\dots30$ с, $\omega=0,66$ с $^{-1}\dots1,34$ с $^{-1}$ установлено, что минимальное значение концентрации ключевого компонента $C_{min}^c=0,26$, достигаемое в смесителе с цилиндрическими стержнями, меньше этого показателя $C_{min}^6=0,28$ для смесителя без стержней на 7,7 %.

Выводы.

1. Показано распространение двухвалных лопастных смесителей на предприятиях строительных материалов при подготовке как сухих, так и пластичных смесей. Указана возможность интенсификации процесса смешивания компонентов смеси установкой перед рабочими поверхностями лопастей стержней цилиндрической формы.

2. Получено математическое описание процесса сухого смешивания двух компонентов в горизонтальном лопастном смесителе, позволяющее, в зависимости от его конструктивно-технологических параметров, рассчитать в определенном объеме смеси значения концентрации ключевого компонента как при установке стержней цилиндрической формы перед рабочими поверхностями лопастей, так и без стержней.

3. С использованием разработанного математического описания и программной среды Maple выполнены исследования изменения концентрации ключевого компонента для смесителя

с цилиндрическими стержнями в зависимости от его конструктивно-технологических параметров при изменяющихся значениях: $\alpha=20\dots50^\circ$, $r=0,1\dots0,35$ м, $t=1\dots30$ с, $\omega=0,66$ с⁻¹...1,34 с⁻¹. Для двухкомпонентной смеси при варьировании, в рассматриваемых областях значений, конструктивных и технологических параметров смесителя с расположенными перед рабочими поверхностями лопастей стержнями определены закономерности влияния этих параметров на изменение концентрации ключевого компонента и их рациональные значения. При сравнении значений этого показателя, полученных с использованием математического описания для смесей, приготовляемых в смесителях со стержнями и без стержней установлено, что смеситель со стержнями позволяет получать смесь более высокого качества со значениями концентрации ключевого компонента более близкими к идеальному значению. Минимальное значение концентрации ключевого компонента $C_{\min}^c=0,26$ в смеси для смесителя с цилиндрическими стержнями, достигаемое при значениях $\alpha_{\text{рац}}^c=20^\circ$, $r_{\text{рац}}^c=0,35$ м, $t_{\text{рац}}^c=30$ с, $\omega_{\text{рац}}^c=1,34$ с⁻¹, меньше на 7,7 % минимального значения $C_{\min}^b=0,28$ этого показателя для смесителя без стержней, достигаемого при значениях $\alpha_{\text{рац}}^b=20^\circ$, $r_{\text{рац}}^b=0,35$ м, $t_{\text{рац}}^b=30$ с, $\omega_{\text{рац}}^b=1,34$ с⁻¹.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Фадин Ю.М., Шеметова О.М. Сухие строительные смеси и смесительное оборудование для их производства // Вестник БГТУ им. В. Г. Шухова. 2020. №12. С. 145–150. DOI: 10.34031/2071-7318-2020-5-12-145-150
2. Yao Y., Feng Z., Chen S., Li B. Q., Zhao L., Zhao W. A Double-Blade Mixer for Concrete with Improved Mixing Quality // New Materials and Advanced Materials. 2016. No. 41. P. 4809–4816. DOI 10.1007/s13369-016-2151-1
3. Yao Y., Feng Z., Chen S. Strength of concrete reinforced using double-blade mixer // New Materials and Advanced Materials. 2013. No. 65. P. 787–792. DOI 10.1680/macr.12.00221
4. Баженов, Ю. М., Коровяков В. Ф., Денисов Г. А. Технология сухих строительных смесей. М: Издательство АСВ, 2003. 96 с.
5. Дёмин О. В., Першин В. Ф., Смолин Д. О. Интенсификация смешивания сыпучих материалов в лопастном смесителе // Химия и химическая технология. 2012. №8. С. 108–111. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=17082579> (дата обращения 11.08.2021)
6. Маслов А.Г., Саленко Ю.С. Исследование взаимодействия лопатки вибрационного смесителя бетонной смесью. // Вестник ХНАДУ. 2014. № 65-66. С. 44 – 48. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=23059666> (дата обращения 17.09.2021)
7. Алексеев А.В., Шищенко Е.В. Исследование рабочего процесса роторного разбрасывателя сыпучих грузов с криволинейным профилем лопастей // Вестник НГИЭИ. 2018. №7. С. 29–39. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=35185288> (дата обращения 12.11.2021)
8. Пат.192657, Российская Федерация, МПК В28С 5/14, В01F 7/04 Смеситель материалов / С.И. Ханин, Н.О. Кикин; заявитель и патентообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова». №2019119931; заявл. 25.06.2019; опублик. 25.09.2019, Бюл. № 27. 6 с.
9. Rovero G., Piccinini N. Particle mixing and segregation // Spouted and Spout-Fluid Beds: Fundamentals and Applications. 2011. No. 11. Pp. 141–160. DOI 10.1017/CBO9780511777936.009
10. Valigi M.C., Logozzo S., Landi L., Braccesi C., Galletti L. Twin-Shaft Mixers' Mechanical Behavior Numerical Simulations of the Mix and Phases // Machines. 2019. No. 7. Pp. 39–52. DOI 10.3390/machines7020039
11. Valigi M.C., Gasperini I. Model-based method predicting useful life of concrete mixers // Plant Precast Technol. 2020. No. 71. Pp. 38–42. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84887012955&partnerID=MN8TOARS> (дата обращения 14.09.2021)
12. Макаров Ю.И. Аппараты для смешивания сыпучих материалов. М.: Машиностроение, 1973. 216 с.
13. Першин В.Ф., Однолько В.Г., Першина С.В. Переработка сыпучих материалов в машинах барабанного типа. М.: Машиностроение, 2009. 220 с.
14. Веригин А.Н., Незамаев Н.А., Данильчук В.С. Машины и аппараты переработки дисперсных материалов. Основы проектирования. ЭБС Лань, 2018. 536 с.
15. Кафаров В.В., Глебов М.Б. Математическое моделирование основных процессов химических производств. Москва: Издательство Юрайт, 2019. 403 с.

Информация об авторах

Ханин Сергей Иванович, доктор технических наук, профессор кафедры механического оборудования. E-mail: dh@intbel.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Воронов Виталий Павлович, кандидат физико-математических наук, профессор кафедры механического оборудования. E-mail: v.p.voronov2018@gmail.com. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Кикин Николай Олегович, аспирант кафедры механического оборудования. E-mail: nikolaukikin@gmail.com. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Мордовская Ольга Сергеевна, кандидат технических наук, доцент кафедры механического оборудования. E-mail: unique.ox@gmail.com. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Поступила 11.10.2021 г.

© Ханин С.И., Воронов В.П., Кикин Н.О., Мордовская О.С., 2022

**Khanin S.I., Voronov V.P., Kikin N.O., Mordovskaya O.S.,
Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov
E-mail: dh@intbel.ru

CHANGE IN CONCENTRATION OF THE KEY COMPONENT OF THE MIXTURE DURING MIXING IN THE TRANSVERSE DIRECTION IN DUAL SHAFT MIXER WITH RODS INSTALLED IN FRONT OF THE BLADE

Abstract. *In the construction materials industry, twin-shaft paddle mixers are common in the preparation of both dry and plastic mixes. When the blade rotates in a mixed medium, a compacted zone of mixed components is formed immediately in front of its working surface. This compaction negatively affects the quality of the mixture preparation, characterized by the homogeneity of the resulting mixture. In order to influence the compacted area, to intensify the mixing process, cylindrical rods are installed in front of the working surface of the blade. A mathematical description of the process of dry mixing of two components in a horizontal paddle mixer is obtained. It allows, depending on the design and technological parameters that most affect this process, to calculate the concentration of the key component in a certain volume of the mixture, both when installing cylindrical rods in front of the working surface of the blade, and without rods. Studies of changes in the concentration of a key component for a mixer with rods have been carried out with varying values of its design and technological parameters. Regularities of the influence of design and technological parameters on the change in the concentration of the key component in a certain volume of the mixture and their rational values have been determined for a mixer with rods. When comparing the values of the concentrations of the key component obtained using the mathematical description for mixtures prepared in mixers with and without rods, it was found that the mixer with rods allows you to obtain a mixture of higher quality with the concentration values of the key component closer to the ideal value.*

Keywords: *mixing, paddle twin-shaft mixer, concentration of the key component, cylindrical rods.*

REFERENCES

1. Fadin Yu.M., Shemetova O.M. Dry construction mixtures and mixing equipment for their production [Suhie stroitelnie smesi i smesitelnoe oborudovaniya dlya ih proizvodstva]. Bulletin BGTU named after V.G. Shukhova. 2020. No. 12. Pp. 145-150. DOI: 10.34031/2071-7318-2020-5-12-145-150 (rus)
2. Yao Y., Feng Z., Chen S., Li B.Q., Zhao L., Zhao W. A Double-Blade Mixer for Concrete with Improved Mixing Quality. *New Materials and Advanced Materials*. 2016. No. 41. P. 4809–4816. DOI 10.1007/s13369-016-2151-1
3. Yao Y., Feng Z., Chen S. Strength of concrete reinforced using double-blade mixer. *New Materials and Advanced Materials*. 2013. No. 65. P. 787–792. DOI 10.1680/macr.12.00221
4. Bazhenov Yu. M., Korovyakov V. F., Denisov G. A. Dry mortar technology. [Tehnologiya suhikh stroitelnih smesei]. M: Publishing house ACB, 2003, 96 p. (rus)
5. Demin O.V., Pershin V.F., Smolin D.O. Intensification of mixing of bulk materials in a paddle mixer [Intensifikatsiya smeshivaniya sypuchikh materialov v lopastnom smesitele]. *Chemistry and Chemical Technology*. 2012. No. 8. Pp. 108–111.

URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=17082579> (date of treatment 11.08.2021) (rus)

6. Maslov A.G., Salenko Yu.S. Investigation of the interaction of a vibration mixer blade with a concrete mixture [Issledovanie vzaimodeistviya lopatki vibracionnogo smesitelya betonnoi smesy]. Bulletin of KhNARU. 2014. No. 65-66. Pp. 44-48. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=23059666> (date of treatment 17.09.2021) (rus)

7. Alekseev A.V., Shishchenko E.V. Research of the working process of a rotary spreader of bulk cargo with a curved blade profile [Issledovanie rabocheho protsessa rotornogo razbrasyvatelya sypuchikh gruzov s krivolineynym profilem lopastey]. Bulletin of NNSEaEU, 2018. 7. 10. Pp. 29-39. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=35185288> (date of treatment 12.11.2021) (rus)

8. Khanin S.I., Kikin N.O. Material mixer. Patent RF, no. 192657, 2019.

9. Rovero G., Piccinini N. Particle mixing and segregation. Spouted and Spout-Fluid Beds: Fundamentals and Applications. 2011. No. 11. Pp. 141-160. DOI 10.1017/CBO9780511777936.009

10. Valigi M. C., Logozzo S., Landi L., Braccesi C., Galletti L. Twin-Shaft Mixers' Mechanical

Behavior Numerical Simulations of the Mix and Phases. Machines. 2019. No. 7. Pp. 39-52. DOI 10.3390/machines7020039

11. Valigi M.C., Gasperini I. Model-based method predicting useful life of concrete mixers. Plant Precast Technol. 2020. No. 71. Pp. 38-42. URL: <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84887012955&partnerID=MN8TOARS> (date of treatment 14.09.2021)

12. Makarov Yu.I. Apparatus for mixing bulk materials [Apparati dlya smeshivaniya sipuchih materialov]. M.: Mechanical Engineering, 1973, 216 p. (rus)

13. Pershin V.F., Odnolko V.G., Pershina S.V. Processing of loose materials in drum-type machines [Pererabotka sypuchikh materialov v mashinakh barabannogo tipa]. M.: Mashinostroenie, 2009, 220 p. (rus)

14. Verigin A.N., Nezamaev N.A., Danilchuk V. S. Machines and devices for processing dispersed materials. Basics of design [Mashiny i apparaty pererabotki dispersnykh materialov. Osnovy proektirovaniya.]. Lan', 2018, 536 p. (rus)

15. Kafarov V.V., Glebov M.B. Mathematical modeling of the main processes of chemical production [Matematicheskoe modelirovanie osnovnykh protsessov khimicheskikh proizvodstv]. Publishing House Yurayt, 2019, 403 p. (rus)

Information about the authors

Khanin, Sergei I. DSc, Professor. E-mail: sergiykhani@gmail.com. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Voronov, Vitaly P. Ph.D., Professor. E-mail: v.p.voronov2018@gmail.com. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Kikin, Nikolay O. Postgraduate student. E-mail: nikolaykikin@gmail.com. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Mordovskaya, Olga S. PhD, Assistant professor. E-mail: unique.ox@gmail.com. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Received 11.10.2021

Для цитирования:

Ханин С.И., Воронов В.П., Кикин Н.О., Мордовская О.С. Исследование изменения концентрации ключевого компонента сухой смеси в горизонтальном лопастном смесителе с цилиндрическими стержнями // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2022. № 2. С. 94-101. DOI: 10.34031/2071-7318-2021-7-2-94-101

For citation:

Khanin S.I., Voronov V.P., Kikin N.O., Mordovskaya O.S. Change in concentration of the key component of the mixture during mixing in the transverse direction in dual shaft mixer with rods installed in front of the blade. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2022. No. 2. Pp. 94-101. DOI: 10.34031/2071-7318-2021-7-2-94-101

DOI: 10.34031/2071-7318-2021-7-2-102-113

***Шрубченко И.В., Хуртасенко А.В., Дуюн Т.А., Воронкова М.Н.**

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

E-mail: ivshrub@yandex.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНЫХ ИЗМЕНЕНИЙ ЖЕСТКОСТИ БАНДАЖА В РЕЗУЛЬТАТЕ МОБИЛЬНОЙ ТЕХНОЛОГИИ ОБРАБОТКИ ПОВЕРХНОСТИ КАЧЕНИЯ

Аннотация. В статье рассмотрено исследование возможных изменений жесткости бандажа вращающейся печи, которые могут происходить в результате механической обработки его поверхностей с использованием мобильных технологий. Дано описание применяемых конструкций бандажей и основные технические требования, предъявляемые к поверхностям качения. Представлены различные конструкции специальных переносных станков, позволяющих осуществлять процесс механической обработки поверхностей качения опор вращающихся печей, без остановки основного производственного процесса. Предложено для оценки возможности восстановительной обработки поверхностей качения, а также для возможности модифицирования бандажей плавающего типа во вварной применить CAD/CAE системы, используя встроенный пакет конечно-элементного анализа – Solid-WorksSimulation. Приведена последовательность оценки напряженно-деформированного состояния отдельно для бандажа плавающего и вварного типов, а также для бандажей, установленных на корпус печи. Предложена методика определения предельно допустимых припусков на условия восстановления формы их поверхностей качения мобильными технологиями. Применение данной методики позволяет прогнозировать возможные изменения в конструкции опоры печи еще до начала обработки. Тем самым исключить вероятность выведения из строя, как отдельной опоры печи, так и всего агрегата.

Ключевые слова: бандаж вращающейся печи, восстановительная обработка, конечно-элементный анализ

Введение. В промышленности строительных материалов для сушки, обжига и других видов обработки материалов широко применяют вращающиеся печи [1–5] (рис. 1). Эти технологические агрегаты работают по непрерывному

циклу, и какие-либо внеплановые остановки приводят к существенной потере их производительности.



Рис. 1. Вращающаяся обжиговая печь для производства цементного клинкера
[Источник: <http://www.eztm.ru/catalog/tsementnoe-oborudovanie/vrashchayushchiesya-pechi>]

Следует отметить, что на их работоспособность максимальное влияние оказывает состояние опор. В зависимости от типоразмера печи, их количество может составлять от двух до восьми. Для повышения жесткости всей конструкции, на корпус печи устанавливают некоторое количе-

ство бандажей. Каждый из таких бандажей опирается на два свободно вращающихся опорных ролика, которые имеют угловое расположение относительно вертикальной оси – (60...65)°. Для обеспечения условия равномерности распределения всей массы печи, включая и сырье, исключе-

ния каких-либо продольных искривлений ее корпуса, а также возможной перегрузки отдельных опор, все опорные ролики должны находиться

в одной плоскости. Бандажи, которые применяют в конструкциях опор, выпускают плавающего типа - «П» и сварного типа - «В» [6, 7] (рис. 2).

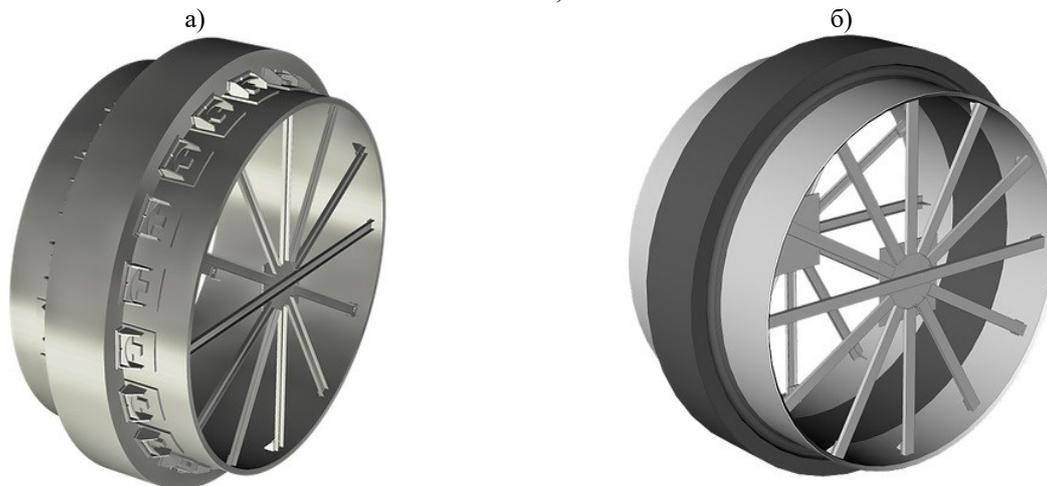


Рис. 2. Основные типы применяемых бандажей [6]: а) плавающего типа, б) сварного типа

Безусловно, что в зависимости от типоразмера печи, применяют и различные размеры бандажей. На рис. 3 представлены некоторые виды

исполнения таких бандажей и их основные размеры в таблице 1.

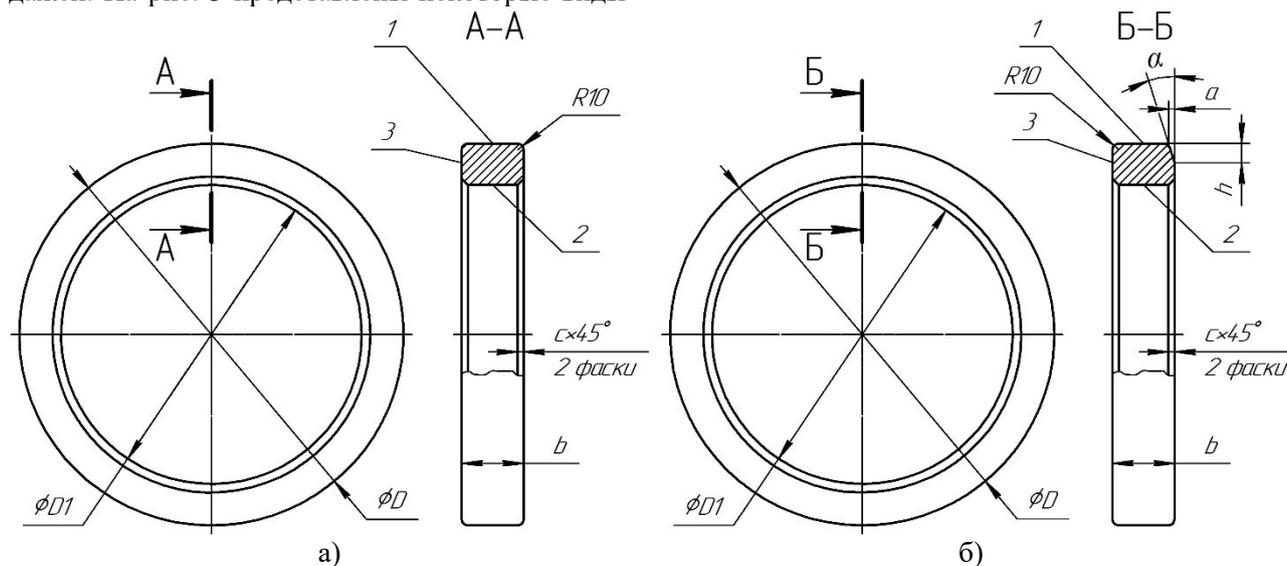


Рис. 3. Некоторые разновидности бандажей типа «П»: а) исполнение 1; б) исполнение 2

В частности, бандажи типа «П», с исполнением 1 и 2, содержат следующие основные поверхности: 1 – поверхность качения, при помощи нее бандаж опирается на поверхности качения опорных роликов и, тем самым может осуществлять вращательное движение; 2 – посадочная поверхность, для непосредственной установки на подбандажную обечайку корпуса печи. В таком соединении обеспечивают наличие зазора, за счет которого обеспечивается возможность компенсации температурных деформаций.

Задаваемая величина такого теплового зазора обычно находится в пределах (3...6) мм и

обеспечивается подбором компенсирующих башмаков, устанавливаемых между подбандажной обечайкой и самим бандажом. Так как в таком подвижном соединении имеет место зазор, то корпус печи при вращении, будет перекачиваться по внутренней поверхности бандажа с несколько большей угловой скоростью, чем сам бандаж. Следовательно, их относительное положение будет постоянно изменяться, на некоторую величину:

$$S = \pi \cdot (D_{\phi} - D_0), \tag{1}$$

где D_6 и D_6- соответственно диаметры посадоч-

ной поверхности бандажа и подбандажной обечайки.

Таблица 1

Параметры бандажей плавающего типа (тип «П»), исполнение 2

№	Диаметр корпуса печи	D	D1	b	c	h	a	α	Масса, кг (не более)
Исполнение 1									
1.	4000	4850	4184	800	5	-	-	-	29700
2.	4500	5470	4760	900	5	-	-	-	40400
3.	5000	6100	5300	1000	10	-	-	-	56200
4.	5000	6250	5360	1100	10	-	-	-	70700
5.	5600	6800	5960	1000	10	-	-	-	66300
6.	5600	6800	5960	1200	10	-	-	-	79600
7.	6400	7750	6800	1200	10	-	-	-	102800
8.	7000	8450	7450	1350	10	-	-	-	132400
Исполнение 2									
1.	4000	4850	4760	800	5	165	37.3	12°45'	29400
2.	4500	5470	5300	900	5	200	40.1	11°20'	39900
3.	5000	6100	5960	1000	10	200	35.9	10°10'	55800
4.	5600	6800	5960	1000	10	210	37	10°	65700
5.	5600	6800	6800	1200	10	210	37	10°	78900
6.	6400	7750	6800	1200	10	285	47.7	9°30'	101700
7.	7000	8350	7400	1200	10	285	44.3	8°50'	115100
8.	7000	8450	7450	1350	10	325	50	8°45'	130800

Следует отметить, что наличие подобных перемещений, вносит некоторую неопределенность в их базирование. В результате этого, имеющие место погрешности формы поверхностей подбандажной обечайки и бандажа, будут либо частично компенсироваться, либо суммироваться. Безусловно, что это будет сказываться и на величине нагрузки, действующей на опору и на сам бандаж. На отдельных опорах печи возможны даже условия, когда бандаж не контактирует с поверхностью качения одного или даже обоих опорных роликов. И это условие должно быть учтено при определении нагрузки, действующей на исследуемый бандаж.

На конструкциях бандажей, по исполнению 2, на торцевой поверхности 3, выполнены конические элементы. Эти поверхности, служат для контактного взаимодействия с роликами гидравлических упоров. При силовом воздействии на эту поверхность, нагрузка, действующая на исследуемый бандаж, так же будет изменяться.

Вварные конструкции бандажей так же имеют поверхность качения и коническую торцевую поверхность под гидравлический упор. Однако, жесткое соединение таких бандажей с корпусом печи, исключает наличие зазора между ними, значит и условия изменения нагрузки.

Для исследования условий изменения жесткости бандажа при его обработке, требуется еще знать и ряд предъявляемых к поверхностям технических требований. В соответствии с ОСТ 22-170-87 к поверхностям качения бандажей предъявляют ряд технических требований:

- допуск на диаметральный размер – по $h12$;
- допуск шероховатости – $(6,3 \dots 12,5) Ra$;
- высота усиления сварного шва для составного бандажа – не более 1 мм;
- точность относительного положения к другим поверхностям - в пределах допусков на соответствующие размеры;
- допуск формы для бандажей, диаметром:
 - до 4000 мм – 2 мм;
 - св. 4000 мм до 5500 мм – 2,5 мм;
 - св. 5500 мм до 6100 мм – 3 мм;
 - св. 6100 мм – 3,5 мм.

В настоящее время для периодической обработки поверхностей качения, с целью поддержания точности их формы, широко применяют их периодическую обработку с применением специальных переносных станков [8–12]. Такая технология получила название мобильной технологии. Наиболее совершенным на сегодняшний день, является специальный переносной встраиваемый станок, который базируется непосредственно на опору печи и соответственно встраивается в ее конструкцию (рис. 4). Станок такой модели содержит опорные стойки 1, одна из которых выполняется неподвижной, а вторая – подвижной с возможностью регулирования осевого положения относительно направляющей 2. Направляющая выполнена круглого сечения с направляющей шпонкой и по ней перемещается продольный суппорт 3 с двумя базирующими плоскостями. Поперечный суппорт может устанавливаться на одну из этих поверхностей, обеспечи-

вая тем самым настройку на обработку поверхности качения ролика или бандажа. Для возможности установки станка на различные типоразмеры опор печей, станок оснащается сменными технологическими наладками (СТН) 4. Применяя раз-

личные по конструкции СТН мы можем применить различные схемы установки и соответствующей обработки: сбоку опоры печи (рис. 4а) или снизу бандажа, между опорными роликами (рис. 4 б).

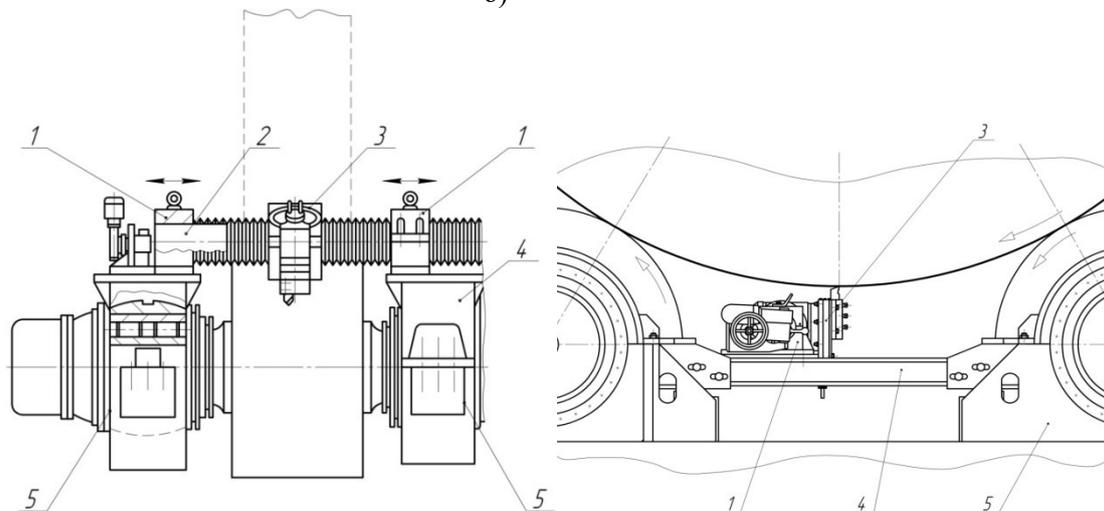


Рис. 4. Схемы установки универсального встраиваемого станка:
а) сбоку опоры печи; б) снизу бандажа, между опорными роликами

Для обработки поверхностей бандажей удобно применять стандартные резцы: 2100-0417 ВК8 ГОСТ 18878-73; 2100-0413 ВК8 ГОСТ 18878-73. Это прямые проходные резцы, с сечением державки $40 \times 25 \times 200$ или $30 \times 20 \times 170$ и пластинками твердого сплава ВК-8. Можно устанавливать так же и пластинки Т5 или Т5К10. Для условий обработки поверхности качения бандажа, имеющего бесцентровую схему [13, 14], станок оснащается динамическим самоустанавливающимся суппортом [9]. (рис. 5). Этот суппорт оснащается режущим инструментом 1, под-

пружиненной траверсой 2 и системой контактных роликов 3. За счет этой системы, все возможные изменения траектории перемещения бандажа копируются. А расположение его контактных роликов и обрабатывающего инструмента, позволяет гарантированно исправлять форму обрабатываемой поверхности качения бандажа. Как показывает опыт применения мобильной технологии, величина снимаемых припусков может достигать 5...10 мм. При обработке поверхности качения ленточно-абразивным способом, силы резания оказываются весьма незначительными, по сравнению с лезвийной обработкой.

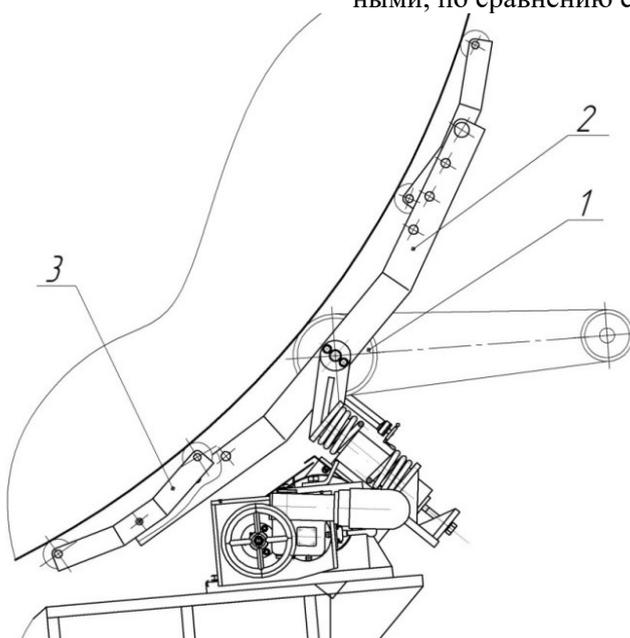


Рис. 5. Схема ленточно-абразивной обработки с использованием ДСС

Продольная подача при этом может быть задана существенно выше. Для таких условий возможно применение облегченной конструкции станка [10] (рис. 6). Такой станок базируется аналогично, используя СТН 1, на корпусе 2 роликоопоры. Основным достоинством такого станка является применение пары стандартным прямолинейных профильных направляющих качения 4, устанавливаемых на раму 3. На продольном суппорте 5, так же на аналогичные направляющие качения 6, размещается ДСС, содержащий подпружиненную пиноль 7, с шарнирносоединенной роликовой тележкой 8, где размещена каретка 9, с лентошлифовальной головкой 10. Выверка положения станка осуществляется регулировочными винтами 11 и 12, соответственно в вертикальной и горизонтальной плоскостях.

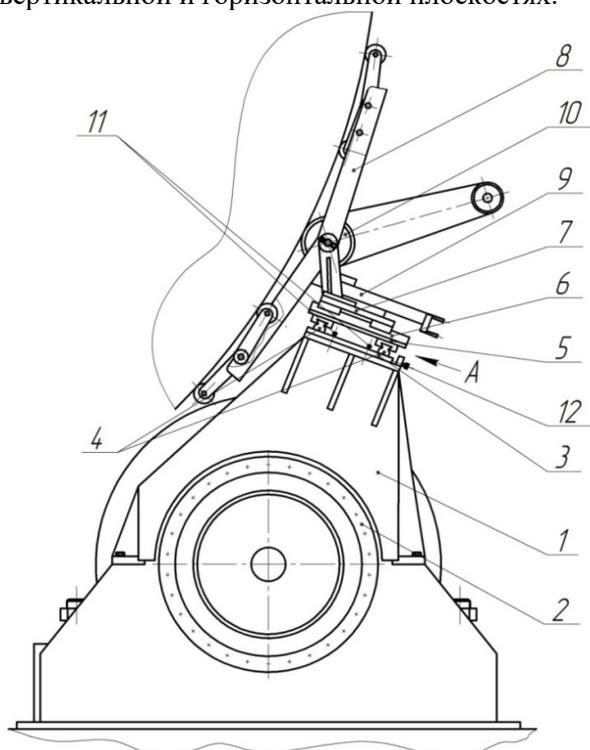


Рис. 6. Облегченная конструкция ленточно-шлифовального станка

Станок обычно оснащается абразивной бесконечной лентой **XK870X**, производства компании **VSM**, с керамическим зерном **CERAGRAT**. Хорошие результаты показала обработка поверхностей качения лентами с зернистостью P24. Ряд проведенных ранее исследований показал, что потребность в периодической обработке поверхностей качения может составлять от 6 до 8 месяцев [15].

Безусловно, что с изменением сечения бандажа, будет постепенно снижаться и его жест-

кость. Поэтому, актуальной задачей на сегодняшний день, является разработка механизмов, позволяющих моделировать возможные деформации, как самого бандажа, так и опоры вращающейся печи.

Материалы и методы. Для исследования параметров жесткости и прочностных характеристик сложных технических объектов к которым относятся вращающиеся печные агрегаты, включая кинематические и динамические расчеты, успешно используются современные CAE системы [16]. Исследование напряженно-деформированного состояния опоры печи, при условии изменения сечения бандажа, можно осуществить в CAD/CAE системе *SolidWorks*, используя встроенный пакет конечно-элементного анализа – *SolidWorksSimulation* [17].

Основная часть. Для реализации расчетов настоящего исследования вначале формируем объемные модели отдельно бандажа, установленного на опорные ролики, а далее, бандажа, установленного на корпусе печи, с действующей рабочей нагрузкой.

Конструктивное исполнение бандажа может быть плавающего типа - «П» или вварного – тип «В». Форма его сечения, а также размеры, могут быть заданы в соответствие с существующими типоразмерами бандажей. На рис. 7 представлены объемные модели таких бандажей, в их натуральную величину. Система позволяет из встроенной библиотеки выбрать соответствующий материал для бандажа. Например, литая малоуглеродистая сталь. Далее, для имитации расположения бандажа на двух опорных роликах, следует назначить и соответствующие ограничения. Это своего рода фиксированная геометрия на его поверхности качения, на гранях, соответствующих зонам контакта бандажа с реальными опорными роликами (рис. 8). Необходимые параметры контакта поверхности качения бандажа с опорными роликами мы можем определить по известным формулам [18]:

$$a = 1,52 \sqrt{\frac{p}{E} \cdot \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}} \quad (2)$$

$$p = \frac{F}{S} \quad (3)$$

Таким образом, мы получаем соответствующие размеры этих граней. При рассмотрении статической задачи, бандаж будет подвергаться деформации под действием своего веса. Поэтому, справедливо в качестве действующей нагрузки, приложить действующую силу тяжести.

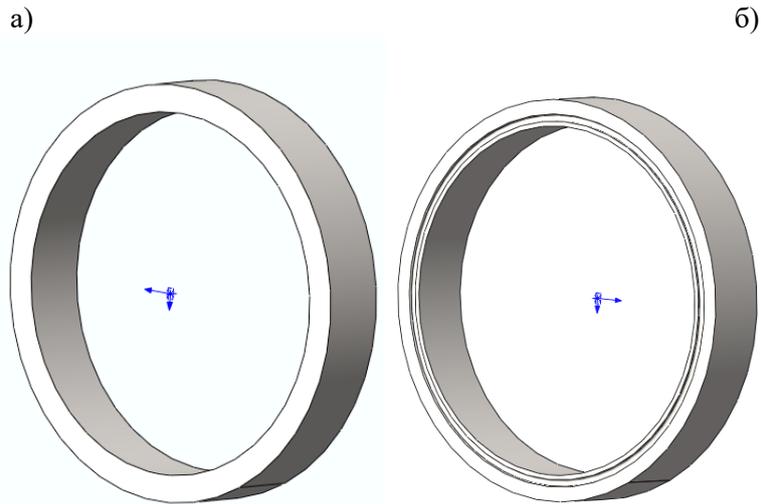


Рис. 7. Объемные модели бандажа: а) плавающего типа (с прямоугольным сечением); б) сварного типа (с кольцевыми фасонными проточками)

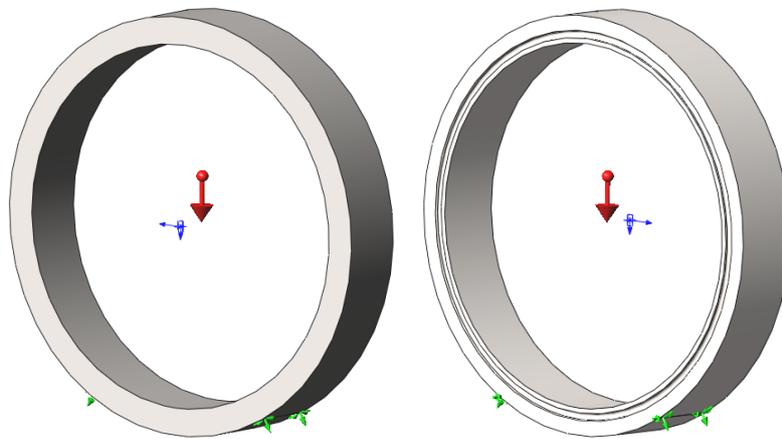


Рис. 8. Модели с введенными ограничениями

Далее, на исследуемые объекты, наносим сетку конечных элементов (рис. 9). Следует иметь в виду, что программа сама создает более уплотненную сетку конечных элементов на участках, где будут происходить изменения

напряженно-деформированного состояния. Такие участки, например, будут иметь место в зонах размещения кольцевых проточек на торцах или в зоне закрылков.

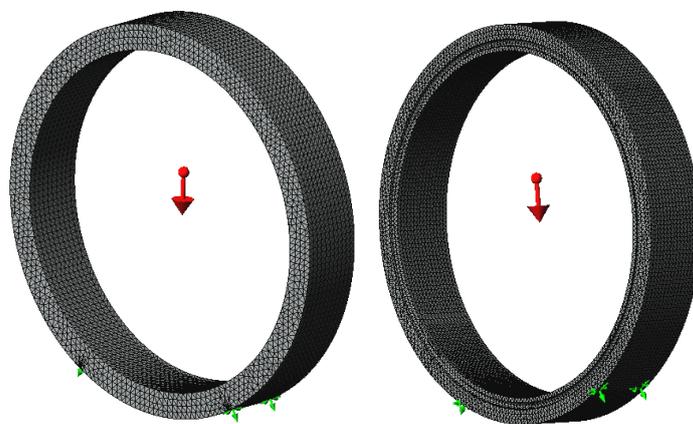


Рис. 9. Исследуемые модели с сеткой конечных элементов

Далее, выполняем вычисления. На рис. 10 представлены результаты моделирования с цветовой шкалой, по которой можно определить

ориентировочные значения напряжений, возникающих в различных зонах исследуемых моделей.

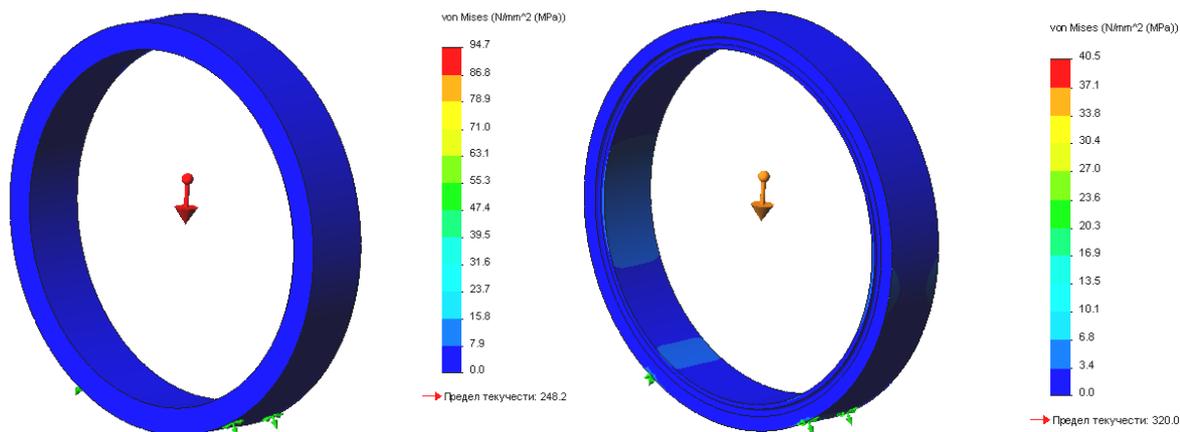


Рис. 10. Напряжения, возникающие в бандаже

Для определения точных значений напряжений в интересующих зонах, программа позволяет выводить их числовые значения (рис. 11).

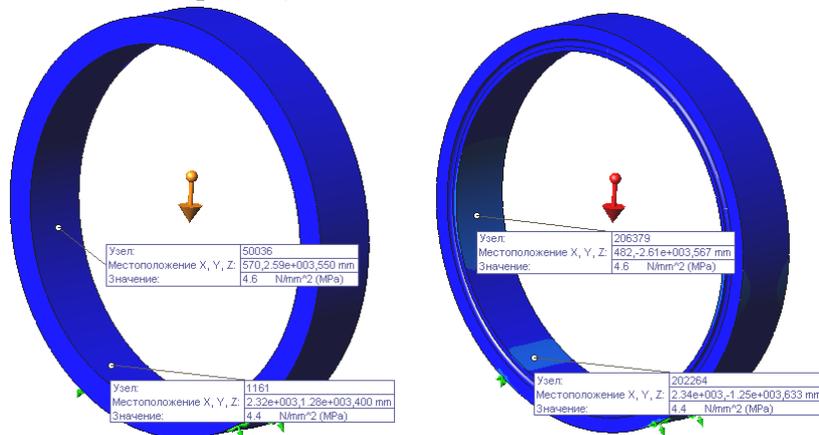


Рис. 11. Числовые значения напряжений, в локальных узлах моделей

Анализ получаемых результатов, например, показывает, что модифицирование бандажей из плавающего типа во вварной, на существенное изменение его жесткости не оказывает влияние. Несомненный интерес представляют не только напряжения, но и деформации, возникающие в конструкции бандажа. Эпюры таких перемещений также для предварительного анализа мы можем получить в цветовой гамме (рис. 12). В частности, анализ результатов применительно к конструкции исследуемого бандажа показывает, что максимальные перемещения имеют верхние зоны бандажа. Также, как и в предыдущем случае, можно вывести и числовые значения перемещений в интересующих зонах. Применительно к исследуемым конструкциям, при модифицировании бандажа, его деформации изменились на сотые доли миллиметра, что очевидно объясняется изменением сечения бандажа и его массы. Следовательно, модифицирование бандажа во вварной тип, путем формирования фасонных канавок

на его торцах, к существенному изменению его формы не приводит.

Однако, на бандаж, установленный на корпус печи, будут действовать существенно большие по величине нагрузки. Поэтому, возникает необходимость в исследовании напряженно-деформированного состояния бандажа с элементами корпуса печи. Для этого достаточно разработать модели с секциями корпуса печи, ограниченными соседними опорами (рис. 13).

Далее, необходимо вычислить массу таких объектов, учитывая массу корпуса печи, его футеровки, а также массу клинкера, находящегося внутри. Безусловно, что масса таких объектов существенно увеличится, что приведет и к изменению условий контакта поверхностей качения бандажа с опорными роликами. В частности, полуширина пятна контакта применительно к исследуемым опорам, составила – $a=1,9$ мм. Для имитации соединения исследуемых объектов с соседними опорами на торцевые грани корпуса

устанавливаем ограничения – фиксированная геометрия (рис. 14).

Формируем сетку конечных элементов (рис. 15) и производим вычисления.

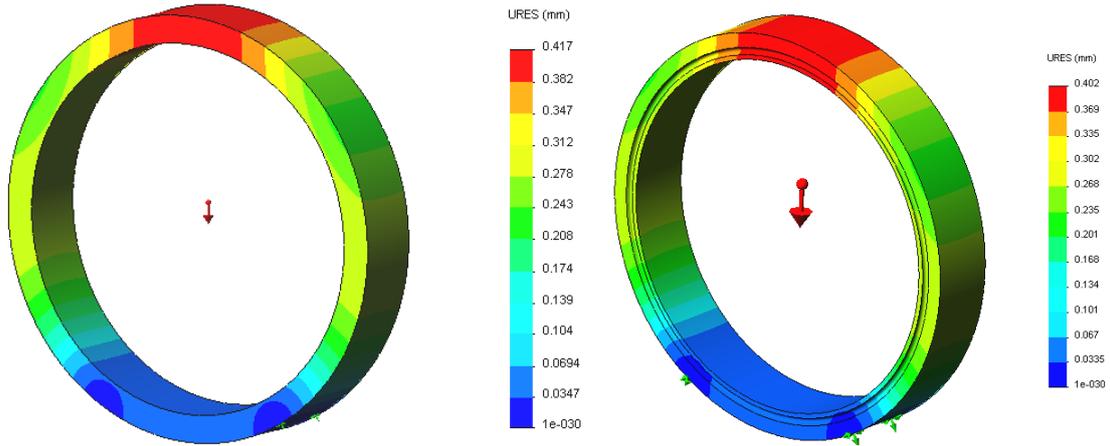


Рис. 12. Эпюры перемещений в различных зонах бандажа

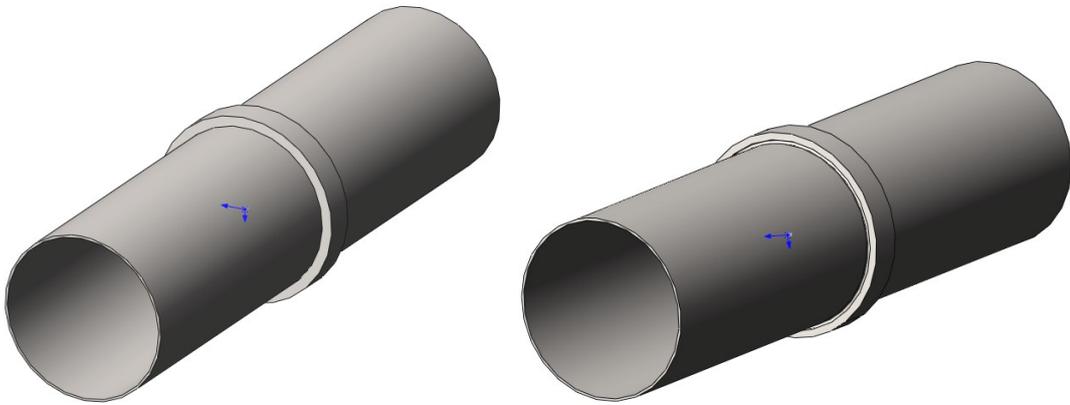


Рис. 13. Модели исследуемых бандажей с элементами корпуса

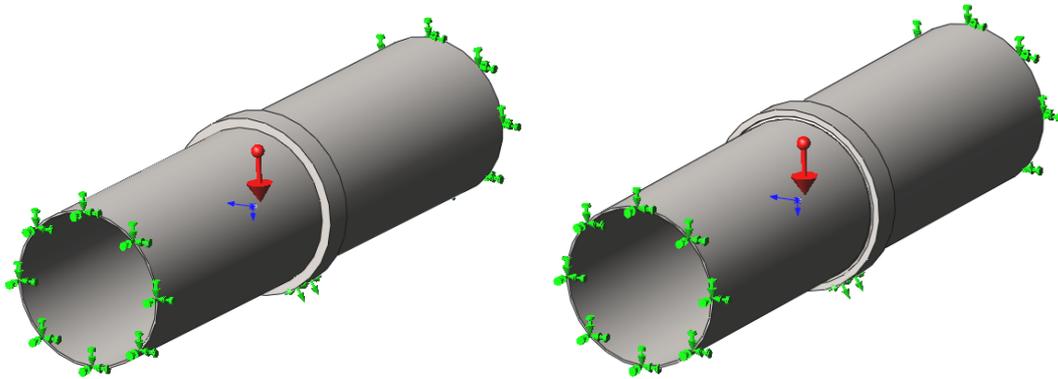


Рис. 14. Расчетные модели

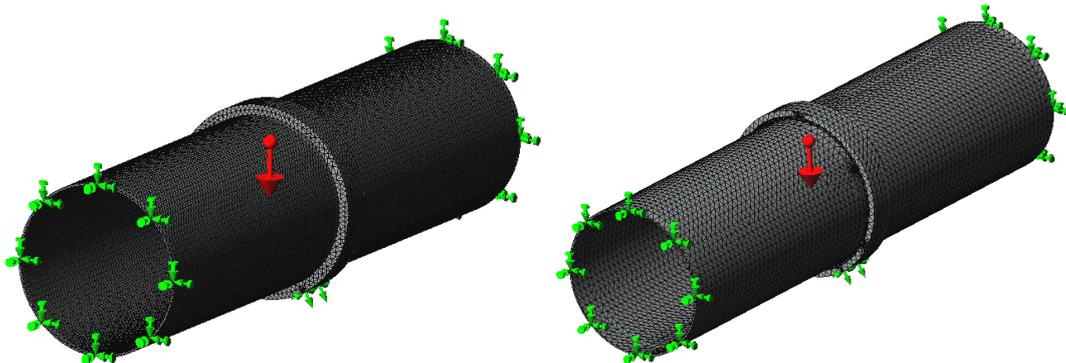


Рис. 15. Исследуемые модели с сеткой конечных элементов

В результате моделирования мы так же получаем эпюры напряжений (рис 16), а также числовые значения напряжений в интересующих узлах конструкции (рис. 17).

Так же мы получаем и эпюры перемещений (рис. 18).

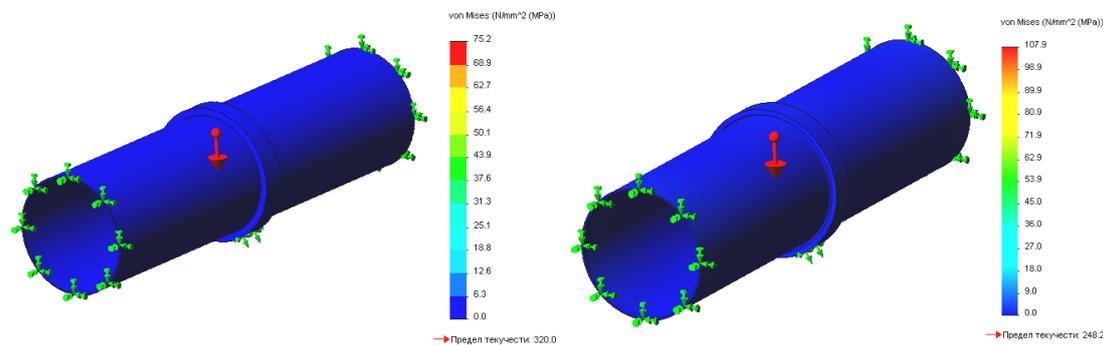


Рис. 16. Эпюры напряжений, возникающих в конструкции

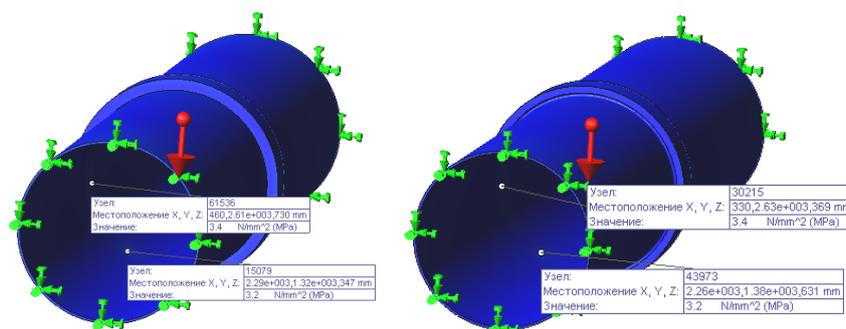


Рис. 17. Числовые значения напряжений в отдельных узлах

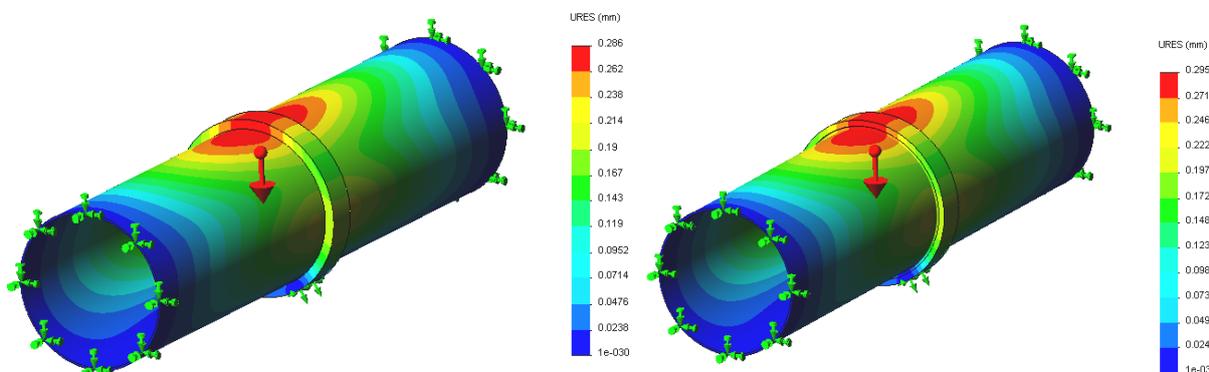


Рис. 18. Эпюра перемещений в моделях

Таким образом, мы получаем значения напряжений и деформации в различных узлах конструкции. Далее, задаваясь соответствующей величиной припуска, который мы должны снимать в результате механической обработки поверхности качения, мы изменяем в модели сечение бандажа и моделируем опять напряженно-деформированное состояние. Предложенная методика позволяет учитывать возможное возникновение погрешности положения детали рассматриваемого узла и на стадии проектирования технологии обработки определять возможность восстановления формы путем снятия припуска, а также максимальное его значение, допустимое с учетом возникающих деформаций.

Выводы. Достоинством такого моделирования является то, что оно позволяет прогнозировать возможные изменения в конструкции опоры печи еще до начала обработки. Тем самым мы можем исключить вероятность выведения из строя, как отдельной опоры печи, так и всего агрегата. Положительным моментом является и то, что получаемая информация об изменении параметров деформаций рассматриваемых узлов в зависимости от величин уменьшения сечения тела бандажа дает возможность установить предельные значения припусков, которые могут быть назначены на механическую обработку поверхностей качения, с целью их восстановительной

обработки с применением мобильных технологий. Кроме того, получаемые расчетные значения смещений в опорных элементах, включая изменение положения центра вращения в сечении одной или нескольких опор, позволяют дополнительно уточнить значения регулируемых перемещений в конструкциях блоков опорных роликов, которые необходимы для обеспечения прямолинейности оси вращающегося печного агрегата и выполняются после восстановительной обработки.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Vijayan S.N., Sendhilkumar S. Industrial Applications of Rotary Kiln in Various Sectors - A Review. International Journal of Engineering Innovation & Research. 2014. Vol. 3. Pp. 342–345.
2. Phillips Kiln Services. [Электронный ресурс]. URL: <https://britishrema.co.uk/what-we-do/rotary-engineering/overview/> (дата обращения 15.12.2021).
3. Boaten A.A. Rotary Kilns. Elsevier Inc. Publ., 2015. 390 p.
4. Design features of rotary kilns. [Электронный ресурс]. URL: https://www.cementkilns.co.uk/kiln_design.html. (дата обращения: 09.11.2021)
5. FLSmidth. Rotary Kilns. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.flsmidth.com/en-gb/products/rotary-kilns> (дата обращения 12.11.2021).
6. Бандажи плавающие и бандажи вварные. URL: <https://www.npp-prom.com/zapasnye-chastipechej-vrashayushih> (дата обращения: 05.12.2021)
7. Бандажи для промышленных печей. [Электронный ресурс]. URL: <https://tulpech.ru/bandazhi-dlya-promyshlennyh-pechej> (дата обращения: 05.12.2021)
8. Универсальный встраиваемый станок УВС-01 / Федеральный каталог высокотехнологичного оборудования и объектов научного потенциала России. [Электронный ресурс]. URL: <https://каталог-нп.рф/project/281> (дата обращения 12.11.2021).
9. Пат. 110013, Российская Федерация, МПК В 23 В5/00 (2006.01). Станок для обработки наружных поверхностей бандажей / Л.В. Мурыгина, И.В. Шрубченко, Н.А. Архипова, В.Ю. Рыбалко, А.С. Черняев; заявитель и патентообладатель БГТУ им. В.Г. Шухова. № 2011111455/02, заявл. 25.03.2011; опубл. 10.11.2011, Бюл. № 31. 10. Пат. 125499, Российская Федерация, МПК В 23 В5/00 (2006.01). Станок для обработки бандажей / И.В. Шрубченко, Л.В. Мурыгина, В.Ю. Рыбалко; заявитель и патентообладатель БГТУ им. В.Г. Шухова. – № 2012121121/02, заявл. 22.05.2012; опубл. 10.03.2013, Бюл. № 7. 11. Санин С.Н., Оникиенко Д.А. Разработка концепции мобильного стенда для механической обработки бандажей вращающихся печей с базированием по торцовой поверхности и отверстию // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2016. № 2. С. 104–109. 12. Пат. 191596, Российская Федерация, МПК В 23 В5/00 (2006.01). Станок для обработки поверхностей крупногабаритных деталей-тел вращения / С.П. Тимофеев, А.В. Хуртасенко, И.В. Шрубченко, М.Н. Воронкова; заявитель и патентообладатель БГТУ им. В.Г. Шухова. № 2019114537, заявл. 13.05.2019; опубл. 13.08.2019, Бюл. № 23. 13. Захаров О.В. Минимизация погрешностей формообразования при бесцентровой абразивной обработке. Саратов: СГТУ, 2006. 152 с. 14. Захаров О.В. Стабильность силового замыкания контакта при бесцентровом шлифовании на неподвижных опорах // СТИН. 2011. №7. С. 8–10. 15. Шрубченко И.В. О периодичности обработки поверхностей качения бандажей и роликов вращающихся цементных печей // Промышленность строительных материалов. Серия 1. Цементная промышленность. М., 2003. Вып. 1–2 (ВНИИЭСМ). С. 16–20. 16. Ramanenka D., Stjernberg J., Jonsén P. FEM investigation of global mechanisms affecting brick lining stability in a rotary kiln in cold state. Engineering Failure Analysis. 2016. Vol. 59. Pp. 554–569. 17. Алямовский А.А. Инженерные расчеты в SolidWorksSimulation. М.: ДМКпресс, 2019. 464 с. 18. Шрубченко И.В., Кузнецова И.И. Исследование характеристик пятна контакта поверхностей качения технологических барабанов // Механика – XXI веку. Сборник докладов V межрегиональной научно-технической конференции с международным участием. Братск. 2006. С. 242–245.

Информация об авторах

Шрубченко Иван Васильевич, доктор технических наук, профессор кафедры технологии машиностроения. E-mail: ivshrub@yandex.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Хуртасенко Андрей Владимирович, кандидат технических наук, доцент кафедры технологии машиностроения. E-mail: hurtintbel@mail.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Дуюн Татьяна Александровна, доктор технических наук, профессор кафедры технологии машиностроения. E-mail: tanduun@mail.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Воронкова Марина Николаевна, кандидат технических наук, доцент кафедры технологии машиностроения. E-mail: mkuzko@mail.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Поступила 27.12.2021 г.

© Шрубченко И.В., Хуртасенко А.В., Дуюн Т.А., Воронкова М.Н., 2022

*Shrubchenko I.V., Khurtasenko A.V., Duyun T.A., Voronkova M.N.
Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov
E-mail: ivshrub@yandex.ru*

STUDY OF POSSIBLE CHANGES IN RIGIDITY OF THE BANDAGE AS A RESULT OF MOBILE TECHNOLOGY OF TREATMENT OF THE ROLLING SURFACE

Abstract. *The article deals with the study of the change in the rigidity of the bandage as a result of mechanical treatment of its surfaces using mobile technologies. It was proposed to use the CAD / CAE system Solid Works to assess the possibility of restoring the treatment of rolling surfaces, as well as for the possibility of modifying floating-type bandages into welded-in bandages. And use the built-in package of finite element analysis - Solid Works Simulation. The sequence for assessing the stress-strain state is given separately for the floating and welded-in type bandage, as well as for the bandages installed on the furnace body. A method is proposed for determining the maximum allowable allowances for the conditions for restoring the shape of their rolling surfaces using mobile technologies. The use of this technique allows predicting possible changes in the design of the furnace support even before the start of processing. Thus, to exclude the likelihood of disabling, as an individual support of the furnace, and the entire unit.*

Keywords: *rotary kiln bandage, restorative treatment, finite element analysis*

REFERENCES

- Vijayan S.N., Sendhilkumar S. Industrial Applications of Rotary Kiln in Various Sectors - A Review. International Journal of Engineering Innovation & Research. 2014. Vol. 3. Pp. 342–345.
- Phillips Kiln Services. URL: <http://www.pkse.co.uk/services/resurfacing.php> (date of treatment: 05.11.2021).
- Boaten A.A. Rotary Kilns. Elsevier Inc. Publ., 2015. 390 p.
- Design features of rotary kilns. URL: https://www.cementkilns.co.uk/kiln_design.html. (date of treatment: 09.11.2021).
- FLSmidth. Rotary Kilns. URL: <https://www.flsmidth.com/en-gb/products/rotary-kilns> (date of treatment: 12.11.2021).
- Floating and welded-in bandages [Bandazhi plavayushchie I bandazhi vvarnye]. URL: <https://www.npp-prom.com/zapasnye-chasti-pechej-vrashayushih> (date of treatment: 05.12.2021) (rus)
- Bandages for industrial furnaces [Bandazhi dlya promyshlennyh pechej]. URL: <https://tulpech.ru/bandazhi-dlya-promyshlennyh-pechej> (date of treatment: 05.12.2021) (rus)
- Universal Embedded Machine UEM-01 [Universal'ny'j vstraivaemy'j stanok UVS-01]. Federal'ny'j catalog vy'sokotekhnologichnogo oborudovaniya i ob'ektov nauchnogo potentsiala Rossii. URL: <https://katalog-np.rf/project/281> (date of treatment: 05.12.2021) (rus)
- Murygina L.V., Shrubchenko I.V., Arkhipova N.A., Rybalko V.Yu., Chernyaev A.S. Machine for processing the outer surfaces of bandages. Patent RF, no. 2011111455/02, 2011.
- Shrubchenko I.V., Murygina L.V., Rybalko V.Yu. Machine for processing bandages. Patent RF, no. 2012121121/02, 2013.
- Sanin S.N., Onikienko D.A. Development of the concept of a mobile stand for mechanical processing of rotary kiln rims based on the end surface and the hole [Razrabotka koncepcii mobil'nogo stenda dlya mekhanicheskoy obrabotki bandazhej vrashchayushchihsya pechej s bazirovaniem po torcovej poverhnosti i otverstiyu]. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2016. No. 2. Pp. 104–109. (rus)

12. Timofeev S.P., Khurtasenko A.V., Shrubchenko I. V., Voronkova M.N. Machine for surface treatment of large-sized parts-bodies of revolution. Patent RF, no. 2019114537, 2019.

13. Zaharov O.V. Minimization of shaping errors during centerless abrasive machining [Minimizatsiya pogreshnostej formoobrazovaniya pri bescentrovoy abrazivnoj obrabotke]. Saratov: SGTU. 2006. 152 p. (rus)

14. Zaharov O.V. Stability of the force contact closure during centerless grinding on fixed bearings [Stabil'nost' silovogo zamykaniya kontakta pri bescentrovom shlifovanii na nepodviznyh oporah]. STIN. 2011. No. 7. Pp. 8–10. (rus)

15. Shrubchenko I.V. On the frequency of treatment of rolling surfaces of tires and rollers of rotating cement kilns [O periodichnosti obrabotki poverhnostej kacheniya bandazhej i rolikov vrashchayushchihsya cementnyh pechej]. Industry of building materials. Series 1. Cement industry. Moscow. 2003/ Issue. 1-2 (VNIIESM). Pp. 16–20. (rus)

16. Ramanenka D., Stjernberg J., Jonsén P. FEM investigation of global mechanisms affecting brick lining stability in a rotary kiln in cold state. Engineering Failure Analysis. 2016. Vol. 59. Pp. 554–569.

17. Alyamovskij A.A. Engineering Calculations in SolidWorks Simulation [Inzhenernye raschety v Solid Works Simulation]. M.: DMK Press. 2019. 464 p. (rus)

18. Shrubchenko I.V., Kuznetsova I.I. Investigation of the characteristics of the contact patch of the rolling surfaces of technological drums [Issledovanie harakteristik pyatna kontakta poverhnostej kacheniya tekhnologicheskikh barabanov]. Mechanics - XXI century. Collection of reports of the V international scientific and technical conference with international participation. Bratsk. 2006. Pp. 242–245. (rus)

Information about the authors

Shrubchenko, Ivan V. DSc, Professor. E-mail: ivshrub@yandex.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Khurtasenko, Andrey V. PhD, Assistant professor. E-mail: hurtintbel@mail.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Duyun, Tatiana A. DSc, Assistant professor. E-mail: tanduun@mail.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Voronkova, Marina N. PhD, Assistant professor. E-mail: mkuzko@mail.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Received 27.12.2021

Для цитирования:

Шрубченко И.В., Хуртасенко А.В., Дуюн Т.А., Воронкова М.Н. Исследование возможных изменений жесткости бандажа в результате мобильной технологии обработки поверхности качения // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2022. № 2. С. 102–113. DOI: 10.34031/2071-7318-2021-7-2-102-113

For citation:

Shrubchenko I.V., Khurtasenko A.V., Duyun T. A., Voronkova M.N. Study of possible changes in rigidity of the bandage as a result of mobile technology of treatment of the rolling surface. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2022. No. 2. Pp. 102–113. DOI: 10.34031/2071-7318-2021-7-2-102-113

