

Научно-теоретический журнал

Вестник

Белгородского государственного технологического
университета им. В.Г. Шухова

ISSN 2071-7318

4

2019

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

№ 4, 2019 год

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, произ-

водства 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).

Официальный сайт журнала: http://vestnik_rus.bstu.ru

Тел: +7 (4722) 30-99-77. E-mail: VESTNIK@intbel.ru.

Подписной индекс в объединенном каталоге «Пресса России» – 44446.

Online подписка: <http://www.akc.ru/itm/255810462/>

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).

Official website of the journal: http://vestnik_eng.bstu.ru
Tel.: +7 (4722) 30-99-77. E-mail: VESTNIK@intbel.ru
Subscription index in the united catalogue of "Press of Russia" – 44446.
Online subscription: <http://www.akc.ru/itm/2558104627/>

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).

Баженев Юрий Михайлович, академик РААСН наук, д-р техн. наук, проф., заведующий кафедрой технологии вяжущих веществ и бетона НИУ МГСУ (РФ, г. Москва).

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).

Большаков Андрей Геннадьевич, д-р арх., проф., зав. каф. архитектурного проектирования Иркутского национального исследовательского технического университета (РФ, г. Иркутск).

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. Ставрополь).

Везенцев Александр Иванович, д-р техн. наук, проф., зав. каф. 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 МГСУ (РФ, г. Москва).

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

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

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

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

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

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

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).

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Фишер Ханс-Берtram, Dr.-Ing., заместитель заведующего кафедрой "Строительные материалы" Баухаус-Университет Ваймар (Германия, г. Веймар).

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

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

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

Юрьев Александр Гаврилович, д-р техн. наук, проф., кафедры теоретической механики и сопротивления материалов (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).

Yuriy M. Bazhenov, Academician of the Russian Academy of Architecture and Construction Sciences, Doctor of Technical Sciences, Professor, Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (Russian Federation, Moscow).

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).

Andrey G. Bol'shakov, Doctor of Architecture, Professor, Irkutsk National Research Technical University (Russian Federation, Irkutsk).

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, Stavropol).

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

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

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

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

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

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

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

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

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).

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. Strokovaya, 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

Бахтина Т.А., Любомирский Н.В., Бахтин А.С., Николаенко Е.Ю. РАЗРАБОТКА МАТЕРИАЛА НА ОСНОВЕ ИЗВЕСТКОВО-КАРБОНАТНО-КАЛЬЦИЕВЫХ КОМПОЗИЦИЙ ДЛЯ АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ	8
Зорин Д.А., Иващенко Н.В., Добринина К.Е. ЭФФЕКТИВНЫЕ КОМПЛЕКСНЫЕ ГИДРОФОБИЗАТОРЫ ДЛЯ САМООЧИЩАЮЩИХСЯ ФАСАДНЫХ МАТЕРИАЛОВ	16
Сарсенбаев Н.Б., Аласханов А.Х., Айменов А.Ж., Сарсенбаев Б.К., Айменов Ж.Т., Сауганова Г.Р., Алдияров Ж.А. ВЛИЯНИЕ ДОБАВОК ОТХОДОВ КАРБОНАТНО-БАРИЕВЫХ ХВОСТОВ НА СВОЙСТВА КОМПОЗИЦИОННЫХ ВЯЖУЩИХ И БЕТОНОВ	24
Шорстов Р.А., Сулейманова Л.А., Кара К.А. ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ МНОГОСЛОЙНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ВАРИАТРОПНОЙ СТРУКТУРЫ	32
Пугин К.Г. СТРОИТЕЛЬНАЯ СМЕСЬ С БАКТЕРИЦИДНЫМИ СВОЙСТВАМИ	40
Кочерженко А.В. ПОЛУЧЕНИЕ НАПОЛНЕННОГО ПЕНОПОЛИУРЕТАНА С УЛУЧШЕННЫМИ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫМИ СВОЙСТВАМИ	47
Василькин А.А., Сафронов С.С., Еремин К.Е. ИССЛЕДОВАНИЕ ОБЛАСТИ ЭФФЕКТИВНОГО ПРИМЕНЕНИЯ СТАЛЬНЫХ КОЛОНН	53
Наумов А.Е., Юдин Д.А., Долженко А.В. СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРОВЕДЕНИЯ СТРОИТЕЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКИХ ЭКСПЕРТИЗ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АППАРАТНО-ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ДЕФЕКТОСКОПИИ	61
Панченко Л.А., Ерижокова Е.С. СТЕКЛОФИБРОБЕТОН В ТОНКОСТЕННЫХ КОНСТРУКЦИЯХ	70
Никулин Н.Ю. ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛООБМЕНА В ИНТЕНСИФИЦИРОВАННОМ КОЖУХОТРУБНОМ АППАРАТЕ	77
Ли Цзян ПРИРОДНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ В КИТАЙСКОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ	83
Шербина Е.В., Егорова С.П. ГРАДОСТРОИТЕЛЬНЫЕ АСПЕКТЫ РАЗВИТИЯ ИНДУСТРИИ ТУРИЗМА	88
Макарова М.Г., Ладик Е.И., Киселев С.Н. СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ В ФОРМИРОВАНИИ ОБЩЕСТВЕННО-ДЕЛОВЫХ ПРОСТРАНСТВ	94
Гундлах В.В., Вайтенс А.Г. СОВРЕМЕННЫЙ ЗАРУБЕЖНЫЙ ОПЫТ МЕСТНОГО ГРАДОРЕГУЛИРОВАНИЯ ПРИРЕЧНЫХ ТЕРРИТОРИЙ	103
Колесникова Т.Н., Багданова К.И., Ильвицкая С.В., Этенко В.П. АРХИТЕКТУРНАЯ СРЕДА РЕАБИЛИТАЦИОННЫХ ЦЕНТРОВ ДЛЯ ДЕТЕЙ И ПОДРОСТКОВ	110

ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ

Нецвет Д.Д., Нелюбова В.В., Строкова В.В. КОМПОЗИЦИОННОЕ ВЯЖУЩЕЕ С МИНЕРАЛЬНЫМИ ДОБАВКАМИ ДЛЯ НЕАВТОКЛАВНЫХ ПЕНОБЕТОНОВ	122
Вострикова Г.Ю., Никулина Н.С., Никулин С.С. ПЕРСПЕКТИВА ПРИМЕНЕНИЯ ОЛИГОМЕРА ИЗ ПОБОЧНЫХ ПРОДУКТОВ НЕФТЕХИМИИ, МОДИФИЦИРОВАННОГО ВТОРИЧНЫМ ПЕНОПОЛИСТИРОЛОМ ДЛЯ ЗАЩИТЫ ДРЕВЕСНЫХ МАТЕРИАЛОВ	132
Трепалина Ю.Н., Кириллова Н.К. КЕРАМИЧЕСКИЙ КИРПИЧ ИЗ СЫРЬЯ ЯКУТИИ С ДОБАВЛЕНИЕМ ТОНКОМОЛОТОГО СТЕКЛОБОЯ	138

МАШИНОСТРОЕНИЕ И МАШИНОВЕДЕНИЕ

Хуртасенко В.А., Шрубченко И.В. МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ ПАРАМЕТРОВ ОБРАБОТКИ ПОВЕРХНОСТЕЙ КАЧЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ АГРЕГАТОВ МОБИЛЬНЫМ ОБОРУДОВАНИЕМ	144
Кайтуков Б.А., Скель В.И., Горяйнова П.О. РАЗРАБОТКА УНИФИЦИРОВАННЫХ МЕХАНИЗМОВ ПРИВОДА БЕТНОСМЕСИТЕЛЕЙ ПРИНУДИТЕЛЬНОГО ДЕЙСТВИЯ	151

CONSTRUCTION AND ARCHITECTURE

Bakhtina T.A., Lyubomirskiy N.V., Bakhtin A.S., Nikolaenko E.Yu. DEVELOPMENT OF A MATERIAL BASED ON LIME-CARBONATE AND CALCIUM COMPOSITIONS FOR ADDITIVE TECHNOLOGIES	8
Zorin D.A., Ivashenko N.V., Dobrina K.E. EFFECTIVE INTEGRATED WATER REPELLENTS FOR SELF-CLEANING OF FACADE MATERIALS	16
Sarsenbayev N.B., Alaskhanov A.H., Aimenov A.Z., Sarsenbayev B.K., Aimenov Z.T., Aldiyarov Z., Sauganova G.R. INFLUENCE OF ADDITIVES OF BARIUM-CARBONATE TAILING WASTES ON THE PROPERTIES OF COMPOSITIONAL BINDERS AND CONCRETES	24
Shorstov R.A., Suleymanova L.A., Kara K.A. TECHNOLOGIES FOR OBTAINING MULTILAYER DESIGNS OF VARIATIONAL STRUCTURE	32
Pugin K.G. BUILDING MIXTURE WITH BACTERICIDAL PROPERTIES	40
Kocherzhenko A.V. OBTAINING FILLED POLYURETHANE FOAM WITH IMPROVED OPERATIONAL PROPERTIES	47
Vasilkin A.A., Safronov S.S., Eremin K.E. RESEARCH ON EFFECTIVE USE OF STEEL COLUMNS	53
Naumov A.E., Yudin D.A., Dolzhenko A.V. IMPROVING THE TECHNOLOGY OF CONSTRUCTION AND TECHNICAL EXPERTISE USING A HARDWARE AND SOFTWARE COMPLEX OF AUTOMATED INSPECTION	61
Panchenko L.A., Erizhokova E.S. GLASS FIBER REINFORCED CONCRETE IN THIN-WALLED CONSTRUCTIONS	70
Nikulin N.Y. THE STUDY OF HEAT TRANSFER IN INTENSIFIED SHELL AND TUBE DEVICE	77
Li Jiang NATURAL ELEMENTS IN THE CHINESE CONSTRUCTION	83
Shcherbina E.V., Egorova S.P., TOWN-PLANNING ASPECTS OF DEVELOPMENT OF TOURISM INDUSTRY	88
Makarova M.G., Ladik E.I., Kiselev S.N. MODERN TRENDS IN THE FORMATION OF PUBLIC BUSINESS SPACES	94
Gundlakh V.V., Vaytens A.G. MODERN FOREIGN EXPERIENCE OF LOCAL URBAN REGULATION OF THE RIVERINE TERRITORIES	103
Kolesnikova T.N., Bagdanova K.I., Ilvitskaya S.V., Etenko V.P. ARCHITECTURAL ENVIRONMENT OF REHABILITATION CENTERS FOR CHILDREN AND ADOLESCENTS	110

CHEMICAL TECHNOLOGY

Netsvet D.D., Nelyubova V.V., Strokova V.V. COMPOSITE BINDER WITH MINERAL ADDITIVES FOR NON-AUTOCLAVE FOAM CONCRETE	122
Vostrikova G.Y., Nikulina N.S., Nikulin S.S. THE PROSPECT OF USING AN OLIGOMER FROM PETROCHEMICAL BY-PRODUCTS MODIFIED WITH SECONDARY POLYSTYRENE FOAM TO PROTECT WOOD MATERIALS	132
Trepalina Y.N., Kirillova N.K. CERAMIC BRICK FROM YAKUTIA RAW MATERIALS WITH THE ADDITION OF GROUND CULLET	138

MACHINE BUILDING AND ENGINEERING SCIENCE

Khurtasenko V.A., Shrubchenko I.V. MATHEMATICAL MODEL FOR OPTIMIZATION OF PROCESSING PARAMETERS OF ROLLING SURFACE OF TECHNOLOGICAL UNITS BY MOBILE EQUIPMENT	144
Kaytukov B.A., Skel V.I., Goryaynova P.O. DEVELOPMENT OF UNIFIED MECHANISMS OF THE DRIVER OF THE CONCRETE MIXERS OF FORCING ACTION	151

СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

DOI: 10.34031/article_5cb1e65917fd15.03058522

^{1,*}Бахтина Т.А., ¹Любомирский Н.В., ¹Бахтин А.С., ¹Николаенко Е.Ю.¹Академия строительства и архитектуры (структурное подразделение)

Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского

Россия, 295493, Республика Крым, г.Симферополь, ул. Киевская, 181.

*E-mail: t.bakhtina83@gmail.com

РАЗРАБОТКА МАТЕРИАЛА НА ОСНОВЕ ИЗВЕСТКОВО-КАРБОНАТНО-КАЛЬЦИЕВЫХ КОМПОЗИЦИЙ ДЛЯ АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Аннотация. Приведены результаты экспериментальных исследований по определению возможности получения карбонизированного материала на основе известково-карбонатно-кальциевых композиций методом струйной 3D печати. Изучены некоторые виды материалов, применяемых в качестве связующих для неорганических вяжущих веществ. Определен эффективный способ упрочнения модели, полученной в процессе 3D печати. Определены физико-механические характеристики опытных образцов твердевших в среде повышенной концентрации углекислого газа. Установлено, что искусственная карбонизация образцов полученных на различных видах связующих в течение 90 мин способствует формированию достаточно прочной структуры из нерастворимого карбоната кальция – продукта карбонизации гидратной извести, а степень карбонизации зависит от вида связующего и его массовой доли в растворе. Выбраны наиболее эффективные виды связующих и определено оптимальное содержание исследуемых связующих в растворе. С позиции обеспечения получения материалов с достаточными физико-механическими свойствами в результате проведенных исследований подтверждена возможность получения карбонизированного материала методом струйной 3D печати при определенных оптимальных содержаниях исследуемых связующих в растворе.

Ключевые слова: аддитивные технологии, углекислый газ, известково-карбонатные системы, карбонатное твердение.

Введение. Трехмерная печать – это современная, динамично развивающаяся отрасль науки и техники, относящаяся к аддитивным технологиям [1, 2]. Это определение охватывает широкий спектр процессов и технологий, объединяет которые общая сущность процесса, а именно послойное формование трехмерной модели [3]. Впервые трехмерная печать как технология была запатентована Чарльзом Халлом (CharlesHall) в 1986 году в процессе известном, как стереолитография (SLA), за которым последовали следующие разработки [4]. В настоящее время существует более десятка различных способов трехмерной печати, большинство из которых используют свет или тепло для создания физических объектов из порошка или проволоки [5–7]. Струйная технология трехмерной печати состоит в нанесении на слой порошка определенной толщины, уложенного на рабочую площадку, связующей жидкости с помощью печатающей головки с форсунками [8–10]. В процессе струйной печати трехмерная компьютерная модель конвертируется с помощью процедуры нарезки в собрание двухмерных срезов, после наложения которых образуется 3D модель. Связующее наносится по заданному рисунку так, как установлено в текущем двухмерном срезе

сплошной модели. Далее строительная платформа продвигается вниз на один слой толщины, и поверх предыдущего распределяется новый слой порошка, по которому печатается следующий слой. Эта последовательность выполняется слой за слоем пока не будет готова вся модель. После завершения склеенную деталь можно извлекать из массы несвязанного порошка. Далее следует процесс укрепления полученной модели различными способами, т.к. после печати прочность материала модели достаточно низкая [11].

Реализация процесса струйной 3D печати включает в себя не только процесс печати, но и разработку подходящей комбинации системы «порошок-связующее» и процесс постобработки. Создание конкретного вида струйной трехмерной печати с новой комбинацией материалов состоит из ряда шагов: 1) определение состава порошка; 2) выбор метода связывания; 3) выбор состава жидкого связующего и проверка его пригодности для печати и взаимодействия с порошком; 4) определение параметров процесса печати; 5) составление процедур постобработки [9]. Выбор используемого порошка состоит в назначении вида материала, определении размера частиц, выбора добавки (если необходимо) и

типа связывания. Виды материалов, используемые для струйной 3D печати в настоящее время достаточно многообразны – это металлы, керамика, полимеры, неорганические вяжущие [12]. Изначально основным назначением струйной трехмерной печати было прототипирование, т.е. быстрое создание прототипов каких-либо деталей не массового выпуска. Основным недостатком технологии являлась низкая прочность и высокая пористость готовых прототипов, что сужало область использования. Поэтому постоянно ведется работа по усовершенствованию технологии и исключению заявленных недостатков. Для строительства использование аддитивной технологии впервые было предложено Джозефом Пегна для систем на основе цемента [13, 14]. В настоящее время для строительства выделяют три крупномасштабные аддитивные технологии – Contour Crafting, D-Shape (Monolite) и Concrete Printing [15]. Принцип струйной 3D печати реализован в порошковой технологии D-Shape, позволяющей создавать конструкции достаточно большого объема (в одном из проектов под названием «Radiolaria» были созданы конструкции высотой 1,6 м. В качестве вяжущего применяют порошки композиционного цемента, с возможностью армирования волокнами, а связующим могут выступать сахарная пудра, клей на основе поливинилового спирта (ПВА), клей на основе полиуретанового формальдегида, пшеничная паста, метилцеллюлоза, порошкообразный клей для дерева и шпатлевка [16]. В результате могут быть получены строительные материалы, имеющие прочность при сжатии, равную средним классам бетона и прочность на растяжение до 70 % больше, чем у бетона средних классов.

Не менее важным является процесс последующего укрепления полученного изделия различными способами, которые зависят от вида принятого порошка и связующего компонента. Ранее проведенные авторами исследования показали высокую эффективность химического процесса искусственной карбонизации гидратных фаз оксидов кальция и магния [17–19]. При этом образовавшиеся фазы карбонатов способствуют существенному увеличению физико-механических характеристик опытных образцов в короткие временные сроки. Также установлено, что строительные материалы на основе известково-карбонатно-кальциевых композиций имеют повышенную долговечность в агрессивных средах, из-за более высокого сопротивления их гидратной и карбонатной магниевых фаз, при их наличии в исходном вяжущем. Процесс карбонизации также имеет низкую чувствительность к наличию различных примесей в исход-

ных сырьевых компонентах, что существенно упрощает процесс производства различных строительных изделий по технологии карбонатного твердения. Из анализа литературных источников, посвященных изучению карбонатного твердения известковых вяжущих и их разновидностей следует, что известковые вяжущие карбонатного твердения обладают высоким потенциалом, не используемым на данный момент промышленностью строительных материалов.

Целью данной работы была разработка системы «порошок-связующее» на основе известково-карбонатно-кальциевых композиций карбонатного твердения для расширения базы строительных материалов, которые возможно использовать для осуществления струйной 3D печати.

Методология. При проведении исследования использовались следующие материалы:

Вяжущее вещество – пушенка кальциевая (отход производства ПАО «СЗ» по ТУ 57744-018-00723477-2015, является продуктом оседающем на рукавных фильтрах известеобжиговых шахтных печей), представляет собой мелкодисперсный порошок светло-серого цвета, химического состава: $\text{CaO}_{\text{акт.}}$ – 52,0 % и минералогического состава: $\text{Ca}(\text{OH})_2$ – 54,72 %, CaCO_3 – 28 %.

В качестве связующего применяли три вида материалов:

- сахарная пудра;
- метилгидроксипропилцеллюлоза (МГПЦ) Mecellose FMC 2070 со специальной модификацией. Вязкость 2 % водного раствора (20 °C): 18000-26000 мПа·с (по Брукфелд);
- поливинилацетатный клей (ПВА).

Для каждого вида связующего готовили растворы с заданной массовой долей и проверяли клеящую способность с помощью напыления раствора на тонкий слой вяжущего, распределенного на стеклянной пластине [16]. Для сахара готовили 3 раствора с массовой долей сахара в растворе 45, 25 и 15 %, для МГПЦ массовая доля составила 0,1 % и 0,5 %, для поливинилацетатного клея 2 и 6 %. За критерий пригодности испытываемых связующих принимали клеящую способность, характеризующуюся получением твердого слоя порошка вяжущего, на который напыляли раствор связующего, в максимально короткие сроки. По полученным результатам делали выводы об эффективности применения исследуемых связующих на принятом вяжущем (пушенка кальциевая). Диапазоны содержания данных видов связующих определяли исходя из возможности распыления полученного раствора через сопло распылителя. Соответственно, верхний предел исследуемого диапазона означает получение раствора связующего по-

вышенной вязкости и возможность его распыления резко снижается.

Влияние исследуемых связующих на процесс карбонатного твердения порошка вяжущего определяли на опытных образцах цилиндрах, которые получали методом прессования при удельном давлении 2,0 МПа. Низкое значение давления прессования было выбрано исходя из возможностей существующего промышленного 3D оборудования, а технология прессования максимально имитирует процесс послойного нанесения порошка на основу, его уплотнения, например, роликовым прокатом и последующего напыления на полученный слой связующего. Полученные образцы подвергали искусственной карбонизации в течение 90 мин. при концентрации CO_2 равной 30 %. Далее определяли физико-механические характеристики образцов по стандартным методикам.

Основная часть. Первым этапом для внедрения нового материала в технологию струйной 3D печати является подбор порошка с определенными свойствами, к которым относится способность осаждаться, зависящая от размера и формы частиц. Размер частиц влияет на толщи-

ну формируемого слоя, а также способ нанесения порошка – для частиц 20 мкм и более предпочтительно осаждение в сухом состоянии, тогда как частицы 5 микрон и менее могут осаждаться в сухом или влажном состоянии [20]. Установлено, что для струйной технологии форма частиц менее важна, чем размер, но порошки со сферическими частицами имеют низкое внутреннее трение и соответственно легче распределяются в слое, а анизотропные порошки обладают повышенным внутренним трением, что снижает растекаемость порошков, но может увеличить коэффициент упаковки [21]. Поэтому для исследуемого порошка вяжущего был проведен лазерный анализ размера частиц на оборудовании ParticaLA-960 (Horiba). На рисунке 1 представлены результаты анализа, из которых следует, что пушенка кальцевая в основном состоит из частиц размером от 4 до 80 мкм. Частицы размером от 10 до 30 мкм составляют 82,2 % гранулометрического состава порошка. Средний геометрический размер частиц составляет 15,5 мкм.

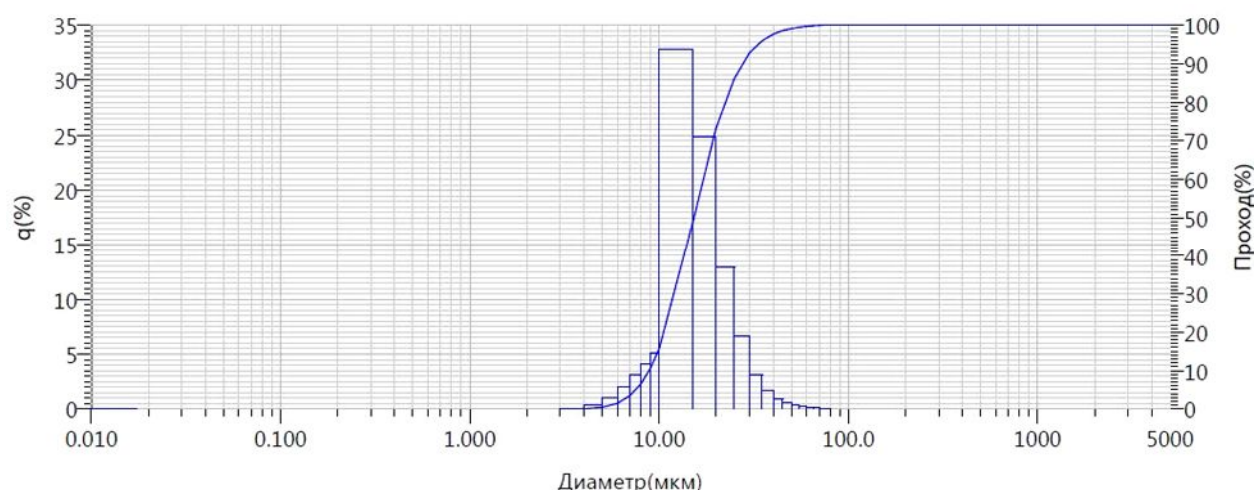


Рис. 1. Дисперсный состав и кривая частных и полных остатков частиц пушенки кальцевой

Данные лазерного анализа размера частиц позволяют сделать вывод о пригодности порошка пушенки кальцевой для использования в струйной 3D печати. Результаты определения клеящей способности растворов связующих показали, что раствор сахарной пудры наиболее эффективен с точки зрения получения твердого слоя распределенного порошка уже после пяти минут распыления связующего. При этом эффективность раствора сахарной пудры возрастает с увеличением массовой доли сахара в растворе. Растворы связующих на основе метилгидроксипропилцеллюлозы и поливинилацетатного клея показали меньшую эффективность по клеящей способности и времени получения

твердого слоя обработанного порошка вяжущего, однако также оказались пригодны для использования в качестве растворов связующих для данного порошка вяжущего. Эффективность их работы для получения твердого слоя порошка также повышается с увеличением их массовой доли в растворе.

Искусственную карбонизацию опытных образцов-цилиндров, полученных из порошкова основе пушенки кальцевой и растворов связующих осуществляли в специально разработанной камере без избыточного давления и повышения температуры. Концентрация CO_2 в камере карбонизации поддерживалась в диапазоне 30–35 %. Время карбонизации для всех образцов

составляло 90 мин. По истечении времени карбонизации образцы высушивали до постоянной массы, после чего определяли их свойства – прочность на сжатие, $R_{сж}$, среднюю плотность, ρ_0 , и водостойкость, K_p . Испытания на прочность на сжатие опытных образцов проводили на автоматической системе испытаний на базе консоли управления МСС8 (Controls). Результаты испытаний представлены в табл. 1 и на рис. 2.

Анализируя значения исследуемых свойств опытных образцов до и после искусственной

карбонизации табл. 1, рис. 2 можно сделать вывод, что процесс активной карбонизации проходит для всех видов связующих, о чем свидетельствует увеличение средней плотности, прочности при сжатии карбонизированных образцов от 4 до 32 раз в сравнении с образцами без карбонизации. Однако необходимо отметить, что увеличение массовой доли всех связующих в растворе снижает эффективность протекания химической реакции карбонизации или вовсе останавливает ее.

Таблица 1

Физико-механические свойства опытных образцов на различных связующих до и после карбонизации

Наименование добавки	Массовая доля добавки в растворе, %	После карбонизации				До карбонизации	
		ρ_0 , кг/м ³	$R_{сж}$, МПа	W, %	K_p	ρ_0 , кг/м ³	$R_{сж}$, МПа
Сахар	15	1165	9,1	44,4	0,47	997	1,5
	25	1221	11,7	38,1	0,44	1041	2,6
	45	1103	1,8	-	-	1098	1,9
МГПЦ	0,1	1107	9,7	44,0	0,53	916	0,3
	0,5	991	1,4	-	-	958	1,0
ПВА	2	1104	11,8	43,4	0,71	932	0,7
	6	1120	9,1	45,7	0,54	926	0,6

Так, увеличение массовой доли сахарной пудры в растворе до 45 % приводит к прекращению процесса карбонизации опытных образцов, о чем свидетельствует стабильность свойств до и после процесса. Также эти образцы склонны к растрескиванию в процессе сушки за счет образования твердых кристаллов избытка сахарозы

из объемных гидратных оболочек, а образцы, помещенные в воду для определения водопоглощения и коэффициента размягчения, полностью разрушились. Наиболее эффективная работа данного вида связующего наблюдается при его массовой доле в растворе в пределах 25–30 %.

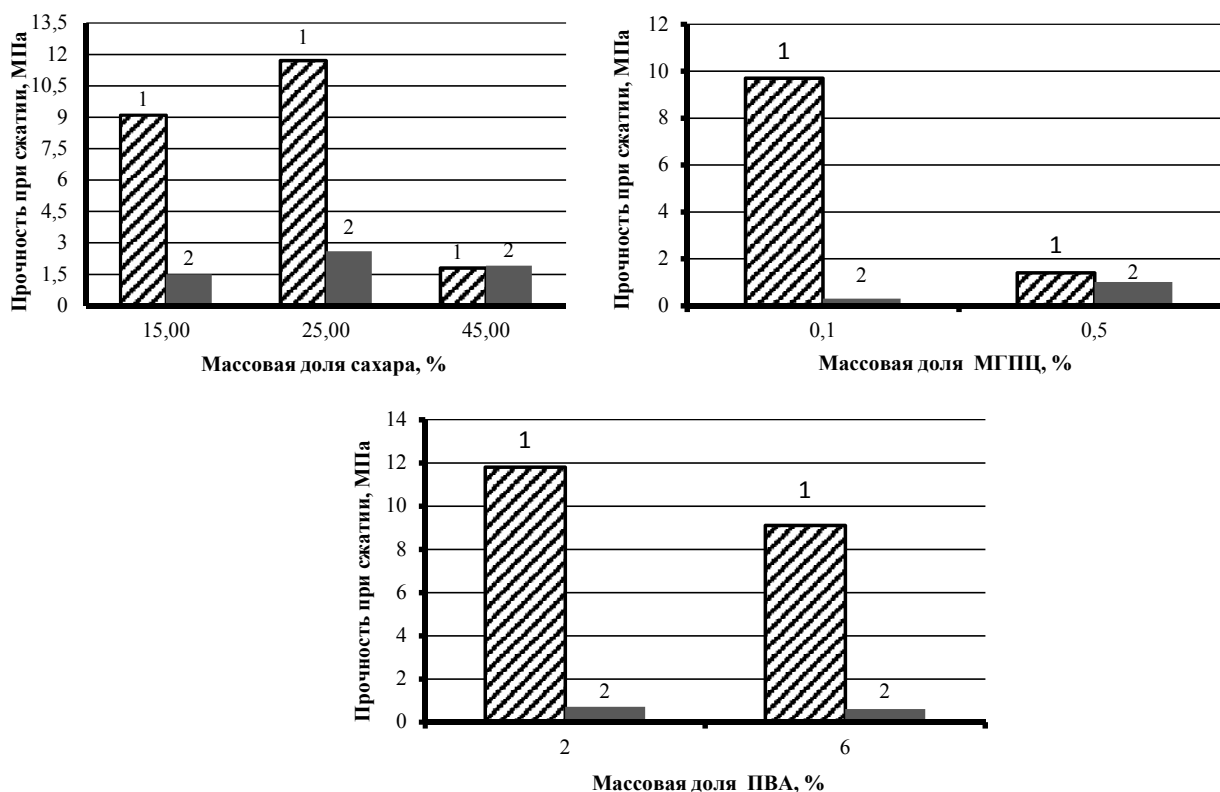


Рис. 2. Изменение прочности при сжатии образцов до и после карбонизации в зависимости от вида связующего и его массовой доли в растворе: 1 – после карбонизации; 2 – до карбонизации

Аналогичным образом ведет себя связующее МГПЦ. Если увеличение его массовой доли в растворе повышает клеящую способность, то прочность при сжатии карбонизированных образцов практически не отличается от прочности некарбонизированных (см. рис. 2), а образцы в воде также разрушаются при его содержании 0,5 % (см. табл. 1). В случае применения связующего на основе ПВА образцы в воде не разрушаются, однако увеличение массовой доли сверх 6 % способствует снижению эффективности процесса карбонизации. Оптимальное содержание связующего на основе ПВА находится в пределах 2–3 %. Необходимо отметить, что опытные образцы не подверженные искусственной карбонизации при испытании их на водопоглощение полностью разрушаются, что говорит об отсутствии водостойкости независимо от вида применяемого связующего.

Выводы. Полученные результаты позволяют сделать вывод о том, что искусственная карбонизация образцов полученных на различных видах связующих в течение 90 мин способствует формированию достаточно прочной структуры из нерастворимого карбоната кальция – продукта карбонизации гидратной извести, а степень карбонизации зависит от вида связующего и его массовой доли в растворе. Наиболее эффективными видами связующих оказались растворы сахарной пудры и ПВА с массовой долей 25–30 % и 2–3 % соответственно.

Таким образом, с позиции обеспечения получения материалов с достаточными физико-механическими свойствами в результате проведенных исследований подтверждена возможность получения карбонизированного материала методом струйной 3D печати при определенных оптимальных содержаниях, исследуемых связующих в растворе.

Источник финансирования. Российский фонд фундаментальных исследований и Министерство образования и науки Республики Крым, в рамках научного проекта 18-48-910004.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Wu P., Wang J., Wang X. A critical review of the use of 3-D printing in the construction industry // *Automation in Construction*. 2016. Vol. 68. Pp.21–31.
2. Berman B. 3-D printing: the new industrial revolution // *Business Horizons*. 2012. Vol. 55. Issue 2. Pp. 155–162.
3. Chergui A., Hadj-Hamou K., Vignat F. Productionschedulingand nesting in additive manufacturing // *Computers & Industrial Engineering*. 2018. Vol. 126. Pp. 292–301.
4. Ngo T.D., Kashani A., Imbalzano G., Nguyen K.T.Q., Hui D. Additive manufacturing (3D printing): A review of materials, methods, applications and challenges. *Composites. Part B* 143 (2018) 172–196.
5. Wong K.V., Hernandez A. A review of additive manufacturing // *ISRN Mechanical Engineering*. 2012. Vol. 2012. Pp. 1–10.
6. Petrovic V., Vicente Haro Gonzalez J., Jorda Ferrando O., Delgado Gordillo J., Ramon Blasco Puchades J., Portoles Grinan L. Additive layered manufacturing :sectors of industrial application shown through case studies // *International Journal of Production Research*. 2011. Vol. 49 (4). Pp. 1061–1079.
7. Chan H.K., Griffin J., Lim J.J., Zeng F., Chiu A.S.F. The impact of 3D Printing technology on the supply chain: Manufacturing and legal perspectives // *International Journal of Production Economics*. 2018. Vol. 205. Pp. 156–162.
8. Lu K., Reynolds W.T. 3DP process for fine mesh structure printing // *Powder Technology*. 2008. Vol. 187. Pp. 11–18.
9. Utela B., Storti D., Anderson R., Ganter M. 2008. A review of process development steps for new material systems in three dimensional printing (3DP) // *Journal of Manufacturing Processes*. 2008. Vol. 10. Pp. 96–104.
10. Candi Marina, Beltagui Ahmad Effective use of 3D printing in the innovation process. *Technovation* Available online, 7 June 2018.
11. Impens David, Urbanic R.J. Assessing the Impact of Post-Processing Variables on Tensile and Compression Characteristics for 3D Printed Components // *IFAC-Papers On Line*. 2015. Volume 48. Issue 3. Pp.652–657.
12. Li N., Huang S., Zhanga G., Qina R., Liua W., Xionga H., Shib G., Blackburn J. Progress in additive manufacturing on new materials: A review // *Journal of Materials Science & Technology*. 2019. Vol. 35. Pp. 242–269.
13. Pegna J. Exploratory investigation of solid freeform construction. *Automation in Construction*, 1997. Vol. 5. Pp. 427–437.
14. Anjum T., Dongre P., Misbah F., Nanyam N. Purview of 3DP in the Indian Built Environment Sector. 2017. *Procedia Engineering*. Vol. 196. Pp. 228–235.
15. Lim S., Buswell R.A., Le T.T., Austin S.A., Gibb A.G.F., Thorp T. Developments in construction-scale additive manufacturing processes // *Automation in Construction*. 2012. Vol. 21. Pp. 262–268.
16. Rael R. 3D printing powder composition and methods of use. United States: U.S. Patent and Trademark Office, The Regents Of The University Of California. WO2013043908A1; 2012.

17. Lyubomirskiy N., Bakhtin A., Bakhtina T. Alternative approach to the organization of hardening of dolomite binding materials // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering Vol. 365 (2018) 032032. doi:10.1088/1757-899X/365/3/032032.

18. Lyubomirskiy N.V., Fic S., Fedorkin S.I. Investigation of Physical and Mechanical Properties of Construction Materials of Forced Carbonate Hardening // Materials Science Forum «Materials and Technologies in Construction and Architecture», International Conference on Construction and Architecture: Theory and Practice of Industry Development (CATPID 2018), 2018, Vol. 931, Pp. 475–480.

19. Lyubomirskiy N., Fedorkin S.I., Bakhtin A.S., Bakhtina T.A. Structuring of composite systems based on lime harden through carbonation and secondary limestone raw materials // Malaysian Construction Research Journal. 2017. Volume 23. No. 3. Pp. 15–26.

20. Sachs E.M. Powder dispensing apparatus using vibration. United States: U.S. Patent and Trademark Office, Massachusetts Institute of Technology. 6,036,777;2000.

21. Cima M, Sachs E, Fan T, et al. Three-dimensional printing techniques. United States: U.S. Patent and Trademark Office, Massachusetts Institute of Technology. 5,387,380;1995.

Поступила в февраль 2019 г.

© Бахтина Т.А., Любомирский Н.В., Бахтин А.С., Николаенко Е.Ю., 2019

Информация об авторах

Бахтина Тамара Алексеевна, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры строительного инжиниринга и материаловедения. E-mail: t.bakhtina83@gmail.com. Академия строительства и архитектуры (структурное подразделение). Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского. Россия, Республика Крым, 295493, г. Симферополь, ул. Киевская, 181.

Любомирский Николай Владимирович, доктор технических наук, профессор, заместитель директора по научной работе Академии строительства и архитектуры, профессор кафедры строительного инжиниринга и материаловедения. E-mail: niklub.ua@gmail.com. Академия строительства и архитектуры (структурное подразделение). Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского. Россия, Республика Крым, 295493, г. Симферополь, ул. Киевская, 181.

Бахтин Александр Сергеевич, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры строительного инжиниринга и материаловедения. Академия строительства и архитектуры (структурное подразделение). E-mail: aleserba@gmail.com. Академия строительства и архитектуры (структурное подразделение). Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского. Россия, Республика Крым, 295493, г. Симферополь, ул. Киевская, 181.

Николаенко Елена Юрьевна, кандидат технических наук, доцент кафедры строительного инжиниринга и материаловедения. Академия строительства и архитектуры (структурное подразделение). E-mail: lescha29.04@mail.ru. Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского. Россия, Республика Крым, 295493, г. Симферополь, ул. Киевская, 181.

^{1,*}**Bakhtina T.A., ¹Lyubomirskiy N.V., ¹Bakhtin A.S., ¹Nikolaenko E.Yu.**

¹*V.I. Vernadsky Crimean Federal University.*

Russia, 295007, Simferopol, st.Academic Vernadsky, 4.

**E-mail: t.bakhtina83@gmail.com*

DEVELOPMENT OF A MATERIAL BASED ON LIME-CARBONATE AND CALCIUM COMPOSITIONS FOR ADDITIVE TECHNOLOGIES

Abstract. The results of experimental studies to determine the possibility of obtaining carbonized material based on lime-carbonate-calcium compositions using inkjet 3D printing are presented. Some types of materials used as connecting for inorganic binders have been studied. An effective method of hardening the model obtained in the process of 3D printing is determined. The physicomechanical characteristics of prototypes solidified in an environment of high concentration of carbon dioxide are defined. It has been established that artificial carbonization of samples obtained on various types of binders for 90 minutes contributes to the formation of a sufficiently strong structure from insoluble calcium carbonate, a product of carbonation of hydrated lime. In this case, the degree of carbonization depends on the type of binder and its mass fraction in solution. The most effective types of binders are selected and the optimal content of the

binders in solution is determined. In result, to ensure the production of materials with sufficient physico-mechanical properties, a possibility of obtaining carbonized material by the method of 3D inkjet printing at certain optimal contents of the tested binders is confirmed.

Keywords: *additive technologies, carbon dioxide, lime-carbonate systems, carbonate hardening.*

REFERENCES

1. Wu P., Wang J., Wang X. A critical review of the use of 3-D printing in the construction industry. *Automation in Construction*. 2016. Vol. 68. Pp. 21–31.
2. Berman B. 3-D printing: the new industrial revolution. *Business Horizons*. 2012. Vol. 55. Issue 2. Pp. 155–162.
3. Chergui A., Hadj-Hamou K., Vignat F. Productionscheduling and nesting in additive manufacturing. *Computers & Industrial Engineering*. 2018. Vol. 126. Pp. 292–301.
4. Ngo T.D., Kashani A., Imbalzano G., Nguyen K.T.Q., Hui D. Additive manufacturing (3D printing): A review of materials, methods, applications and challenges. *Composites. Part B* 143 (2018) 172–196.
5. Wong K.V., Hernandez A. A review of additive manufacturing. *ISRN Mechanical Engineering*. 2012. Vol. 2012. Pp. 1–10.
6. Petrovic V., Vicente Haro Gonzalez J., Jorda Ferrando O., Delgado Gordillo J., Ramon Blasco Puchades J., Portoles Grinan L. Additive layered manufacturing: sectors of industrial application shown through case studies. *International Journal of Production Research*. 2011. Vol. 49 (4). Pp. 1061–1079.
7. Chan H.K., Griffin J., Lim J.J., Zeng F., Chiu A.S.F. The impact of 3D Printing technology on the supply chain: Manufacturing and legal perspectives. *International Journal of Production Economics*. 2018. Vol. 205. Pp. 156–162.
8. Lu K., Reynolds W.T. 3DP process for fine mesh structure printing. *Powder Technology*. 2008. Vol. 187. Pp. 11–18.
9. Utela B., Storti D., Anderson R., Ganter M. 2008. A review of process development steps for new material systems in three dimensional printing (3DP). *Journal of Manufacturing Processes*. 2008. Vol. 10. Pp. 96–104.
10. Candi Marina, Beltagui Ahmad Effective use of 3D printing in the innovation process. *Technovation* Available online, 7 June 2018.
11. Impens David, Urbanic R.J. Assessing the Impact of Post-Processing Variables on Tensile and Compression Characteristics for 3D Printed Components. *IFAC-Papers On Line*. 2015. Vol. 48. Iss. 3. Pp. 652–657.
12. Li N., Huang S., Zhanga G., Qina R., Liua W., Xiong H., Shib G., Blackburn J. Progress in additive manufacturing on new materials: A review. *Journal of Materials Science & Technology*. 2019. Vol. 35. Pp. 242–269.
13. Pegna J. Exploratory investigation of solid freeform construction. *Automation in Construction*. 1997. Vol. 5. Pp. 427–437.
14. Anjum T., Dongre P., Misbah F., Nanyam N. Purview of 3DP in the Indian Built Environment Sector. 2017. *Procedia Engineering*. Vol. 196. Pp. 228–235.
15. Lim S., Buswell R.A., Le T.T., Austin S.A., Gibb A.G.F., Thorp T. Developments in construction-scale additive manufacturing processes. *Automation in Construction*. 2012. Vol. 21. Pp. 262–268.
16. Rael R. 3D printing powder composition and methods of use. United States: U.S. Patent and Trademark Office, The Regents Of The University Of California. WO2013043908A1; 2012.
17. Lyubomirskiy N., Bakhtin A., Bakhtina T. Alternative approach to the organization of hardening of dolomite binding materials. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*. 2018. Vol. 365 032032. doi:10.1088/1757-899X/365/3/032032.
18. Lyubomirskiy N.V., Fic S., Fedorkin S.I. Investigation of Physical and Mechanical Properties of Construction Materials of Forced Carbonate Hardening. *Materials Science Forum «Materials and Technologies in Construction and Architecture», International Conference on Construction and Architecture: Theory and Practice of Industry Development (CATPID 2018)*. 2018. Vol. 931. Pp. 475–480.
19. Lyubomirskiy N., Fedorkin S.I., Bakhtin A.S., Bakhtina T.A. Structuring of composite systems based on lime harden through carbonation and secondary limestone raw materials. *Malaysian Construction Research Journal*. 2017. Vol. 23. No. 3. Pp. 15–26.
20. Sachs E.M. Powder dispensing apparatus using vibration. United States: U.S. Patent and Trademark Office, Massachusetts Institute of Technology. 6, 036, 777; 2000.
21. Cima M., Sachs E., Fan T., et al. Three-dimensional printing techniques. United States: U.S. Patent and Trademark Office, Massachusetts Institute of Technology. 5, 387, 380; 1995.

Information about the authors

Bakhtina, Tamara A. PhD, Assistant professor. E-mail: t.bakhtina83@gmail.com. Academy of Construction and Architecture of the V.I. Vernadsky Crimean Federal University. Russia, 295493, Simferopol, Kievskaya St., 181.

Lyubomirsky, Nikolay V. DSc, Professor. Academy of Construction and Architecture of the V.I. Vernadsky Crimean Federal University. Russia, 295493, Simferopol, Kievskaya St., 181. E-mail: niklub.ua@gmail.com

Bakhtin, Aleksandr S. PhD, Assistant professor. E-mail: aleserba@gmail.com. Academy of Construction and Architecture of the V.I. Vernadsky Crimean Federal University. Russia, 295493, Simferopol, Kievskaya St., 181.

Nikolaenko, Elena Yu PhD. Assistant professor. E-mail: lesha29.04@mail.ru. Academy of Construction and Architecture of the V.I. Vernadsky Crimean Federal University. Russia, 295493, Simferopol, Kievskaya St., 181.

Received in February 2019

Для цитирования:

Бахтина Т.А., Любомирский Н.В., Бахтин А.С., Николаенко Е.Ю. Разработка материала на основе известково-карбонатно-кальциевых композиций для аддитивных технологий // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2019. №3. С. 9–15. DOI: 10.34031/article_5cb1e65917fd15.03058522

For citation:

Bakhtina T.A., Lyubomirskiy N.V., Bakhtin A.S., Nikolaenko E.Yu. Development of a material based on lime-carbonate and calcium compositions for additive technologies. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2019. No. 4. Pp. 9–15. DOI: 10.34031/article_5cb1e65917fd15.03058522

-

DOI: 10.34031/article_5cb1e6595c5ba2.05324270

^{1,*}Зорин Д.А., ¹Иващенко Н.В., ¹Добрина К.Е.¹Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет
Россия, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26

*E-mail: dim-z@yandex.ru

ЭФФЕКТИВНЫЕ КОМПЛЕКСНЫЕ ГИДРОФОБИЗАТОРЫ ДЛЯ САМООЧИЩАЮЩИХСЯ ФАСАДНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Аннотация. В данной работе изложены результаты исследования эффекта самоочищения поверхностей, применяемых для наружной отделки жилых и промышленных зданий. Рассмотрены методы его достижения такие как: фотокаталитический и способ гидрофобизации. Применены известные методики определения краевого угла смачивания. Использована установка по генерированию низкотемпературной неравновесной плазмы для модифицирования мелкого заполнителя. Экспериментально определены краевые углы смачивания, полученные в результате использования различных рецептур гидрофобизирующих суспензий. Так же проведена модификация кварцевого заполнителя. Эксперименты подтвердили техническую эффективность гидрофобизаторов и усиление их свойств, при применении дисперсных наполнителей. Еще более высокие значения краевого угла смачивания достигнуты при использовании плазмомодифицированного заполнителя.

Ключевые слова: самоочищающиеся поверхности, гидрофобные материалы, краевой угол смачивания, плазмомодифицированные материалы.

Введение. При проектировании жилых, промышленных, общественных зданий и сооружений кроме общих требований, предъявляемых к объемно-планировочным решениям, большое значение уделяется обеспечению архитектурной выразительности. В последнее время в качестве эффективного решения наружной отделки зданий используются вентилируемые фасады. Конструкция вентилируемых фасадов включает в себя систему креплений, теплоизоляционный слой и защитно-декоративный материал. В целом вентилируемые фасады обеспечивают снижение тепловых потерь и выполняют защитно-декоративные функции.

Состояние экологической обстановки в крупных городах постоянно ухудшается. Это приводит не только к загрязнению поверхности и уменьшению архитектурной выразительности фасада, но и разрушению поверхности защитно-декоративных материалов. Поддержание в должном рабочем состоянии фасадов требует дополнительных экономических затрат по проведению планируемых работ, связанных с очисткой поверхности фасадов. Для этих целей привлекаются промышленные альпинисты, использующие в своей работе значительное количество моющих средств на основе поверхностно активных веществ, которые после обработки поверхности зданий попадают в виде водных растворов в канализационную систему, что приводит к дополнительным экономическим и трудовым затратам.

В связи с этим одни из путей решения проблемы затрат является использование самоочищающихся фасадов или придание эффекта самоочищения поверхности из традиционных ма-

териалов [1–3]. Данный эффект достигается следующими методами:

- фотокаталитический способ;

- комплексные гидрофобизаторы на основе тонкодисперсных неорганических и жидких кремнийорганических гидрофобизаторов [4].

Для достижения фотокаталитического эффекта покрытию придают гидрофильные свойства: покрытие притягивает воду, которая при попадании на поверхность превращается в водяную плёнку. Вода в виде тонкой плёнки растекается по поверхности и смывает грязь. Благодаря гидрофильным свойствам, на поверхности не остаётся следов минеральных отложений после испарения капель дождя. Далее остатки загрязнений под действием фотокатализа разлагаются при естественном освещении.

Для повышения фотокаталитического эффекта используется углеродмодифицированный оксид титана [5, 6].

Принцип самоочищения при помощи гидрофобизаторов заключен в придании супергидрофобности поверхности материала. Супергидрофобность достигается за счет образования микро и наношероховатостей, созданных пленкой на основе дисперсии или эмульсии с введением в нее наполнителей размером от 0,1 до 200 мкм [7]. В качестве таких дисперсных материалов могут использоваться оксиды титана, алюминия, кремния с удельной поверхностью до 200 м²/г [8]. По аналогии с бугорчатостью поверхности листа лотоса данная структура способствует образованию капель воды на поверхности и удалению механических загрязнений за счет захвата отложений и удаления их.

Методика. Один из способов придания гидрофобности поверхностям, не обладающим этим свойством, заключается в обработке гидрофобизаторами [9]. Практический интерес для решения этой проблемы представляют водорастворимые кремнийорганические гидрофобизаторы.

Известно, что эффект повышения гидрофобности поверхностей может быть реализован за счет комплексного покрытия гидрофобизатором с микродисперсными наполнителями [10]. Либо с помощью комплексных наноматериалов (с использованием оксидов металлов, в том числе титана и алюминия), обладающих супергидрофобным эффектом, достигаемым нанесением на поверхности гидроксида титана или алюминия [11].

Микроструктура и химические свойства поверхности твердого тела определяют смачиваемость, которая характеризуется величиной угла смачивания [12, 13].

С физической точки зрения это описывается законом Кассье, который определяет эффективное значение угла контакта θ_c с жидкостью в случае неоднородной поверхности. Математическое выражение закона следующее:

$$\cos \theta_c = y_1 \cos \theta_1 + y_2 \cos \theta_2 \quad (1)$$

где θ_1 – угол контакта компонента 1, присутствующего в композиционном материале, с долей площади поверхности y_1 ; θ_2 – угол контакта компонента 2, присутствующего в композиционном материале, с долей площади поверхности y_2 .

Закон объясняет, как можно увеличить значение контактного угла для поверхности всего лишь придав ей шероховатость.

Увеличение степени шероховатости поверхности обеспечивает уменьшение адгезии между водой и поверхностью материала, и связана с дисперсностью удаляемых твердых частиц в случае присутствия их в воде, то есть имеет взаимосвязь с размером удаляемых частиц. Это объясняет, в частности, эффект удаления твердых частиц водой, вследствие более высокой адгезии между водой и дисперсными твердыми частицами, чем адгезия между последними и поверхностью материала.

Основная часть. В представленной работе были проведены исследования по определению эффективности гидрофобных суспензий на основе жидких гидрофобизаторов и дисперсных наполнителей. В качестве жидких гидрофобизаторов были выбраны следующие отечественные марки кремнеорганических жидкостей: Аквасил ТУ 2229-003-60543126-2014, ГКЖ 10 и ГКЖ 11

ТУ 6-02-696-76. И дисперсные микронаполнители TiO_2 и Al_2O_3 .

Суспензии приготавливались в соответствии с рецептурами, приведенными в таблице 1, на быстроходной мешалке со скоростью вращения вала 1000 об/мин. После чего полученные суспензии наносились валиком на поверхность образцов.

Для приготовления образцов на основе цементно-песчаного раствора был использован белый портландцемент марки ЦЕМ I 52,5 Н (Симса, Турция). В качестве пластифицирующей добавки использован суперпластификатор С-3, что обусловлено его низкой стоимостью и универсальностью применения. В работе использовался песок с карьера «Путилово-2». Вода для затворения – водопроводная.

По истечении суток определялся краевой угол смачивания. Для его расчета существует несколько методик [13–15]. В данном случае была выбрана известная методика, описанная в литературе [15]. Значение краевого угла смачивания поверхностей в зависимости от количественного и качественного состава гидрофобных суспензий приведены в таблице 2.

Для повышения эффекта самоочищения, при получении материалов в заводских условиях, следует применять плазмомодифицированный мелкий наполнитель.

Обработка кварцевого песка в низкотемпературной неравновесной плазме приводит к модификации характеристик его поверхностных и приповерхностных слоев. Так, известен эффект использования плазмы для модификации поверхности, что позволяет вносить локальные изменения в свойства обрабатываемой поверхности [16].

В связи с этим в данной работе также были проведены исследования по определению влияния комплексных супергидрофобных покрытий на образцах с предварительно модифицированным мелким кварцевым наполнителем.

Модификация минеральных наполнителей (SiO_2) осуществлялась на установке по генерированию низкотемпературной неравновесной плазмы. SiO_2 (песок) обрабатывали низкотемпературной неравновесной плазмой в барьерном разряде, после чего исследовали химический состав обработанного и необработанного песка на спектрометре комбинационного рассеяния Senterra.

Распределение пор в кварцевом песке проводилось на автоматизированном анализаторе поверхности, который в автоматическом режиме регистрирует изотермы адсорбции–десорбции. Использование теории капиллярной конденса-

ции позволяет проводить расчет распределения тальных изотерм адсорбции–десорбции. мезопор по размерам на основе эксперимен-

Таблица 1

Состав наносимых покрытий

Марки- ровка	КЭ 30-04, масс.ч.	ГКЖ 10, масс.ч.	ГКЖ 11, масс.ч.	Аквасил, масс.ч.	Наполнитель Al_2O_3 , масс.ч.	Наполнитель TiO_2 , масс.ч.
1	100				0	
2	100				1	
3	100				2	
4	100				4	
5	100					1
6	100					2
7	100					4
8		100			0	
9		100			1	
10		100			2	
11		100			4	
12		100				1
13		100				2
14		100				4
15			100		0	
16			100		1	
17			100		2	
18			100		4	
19			100			1
20			100			2
21			100			4
22				100	0	
23				100	1	
24				100	2	
25				100	4	
26				100		1
27				100		2
28				100		4

В качестве прибора для измерения сорбции применялся анализатор сорбции газов типа NOVA 4200e (Quantachrome). Расчет размеров пор проводился по методу Баррета-Джойнера-Халенды (БДЖ) [17]. Данный прибор позволяет измерять сорбцию различных газов твердофазными материалами и в автоматическом режиме позволяет определять площадь поверхности, объем и радиус пор и строит графики распределения пор по размерам [18]. В результате воздействия низкотемпературной плазмы происходит аморфизация и структурные изменения поверхности (табл. 3).

Как видно из таблицы 3, после плазмохимической обработки кварцевого песка пло-

щадь поверхности песка и площадь поверхности пор увеличиваются. Объем и радиус пор при этом почти не меняется. Можно сделать вывод, что происходят структурные изменения поверхности кварцевого песка.

Из рис. 1 видно, что при обработке кварцевого песка в низкотемпературной неравновесной плазме наблюдается исчезновение пика $465,07 \text{ см}^{-1}$, указывающего на наличие SiO_2 , что связано, по-видимому, с изменением кристаллической решетки вещества и перехода поверхности песка в аморфизированное состояние.

При испытании контрольных образцов с использованием модифицированного кварцевого заполнителя было получено увеличение крае-

вого угла смачивания от 10 до 13 процентов с наполнителями Al_2O_3 и TiO_2 (табл. 4).
поверхностью образцов, по сравнению с напол-

Таблица 2

Значение краевого угла смачивания для различных гидрофобизированных поверхностей

Маркировка	Краевой угол, °	Визуальный эффект самоочищения	Изменение внешнего вида материала
Контрольный	53	нет	-
1	65	слабый	-
2	70	слабый	незначительное
3	90	слабый	есть
4	95	слабый	есть
5	75	слабый	незначительное
6	98	слабый	незначительное
7	102	слабый	есть
8	80	слабый	-
9	85	слабый	-
10	104	средний	незначительное
11	126	есть	есть
12	89	слабый	незначительное
13	110	средний	незначительное
14	130	есть	есть
15	66	слабый	-
16	68	слабый	незначительное
17	95	слабый	незначительное
18	99	средний	есть
19	72	слабый	незначительное
20	102	средний	незначительное
21	116	средний	есть
22	75	средний	-
23	87	средний	-
24	124	есть	-
25	134	есть	незначительное
26	94	хороший	-
27	118	есть	-
28	148	есть	-

Таблица 3

Изменение шероховатости кварцевого песка

Размер частиц песка, мм	Режим плазменно-химической обработки кварцевого песка	Площадь поверхности по методу Multi-point BET, м²/г	Коэффициент корреляции R	Распределение пор в кварцевом песке по методу ВДН		
				Площадь поверхности, м²/г	Объем пор, мг³/г	Радиус пор Dv(r), А
0,15	–	2,098	0,995	0,785	0,002	20,515
0,15	В барьерном разряде	2,235	0,997	0,858	0,003	20,305

Таблица 4

Сравнение краевых углов смачивания различных составов

Состав	Краевой угол, °	Визуальный эффект самоочищения	Изменение внешнего вида материала
Аквасил+ наполнитель Al_2O_3 (образец 25)	134	есть	незначительное
Аквасил+ наполнитель TiO_2 (образец 28)	148	есть	незначительное
Аквасил + мод. кварцевый песок	165	есть	незначительное

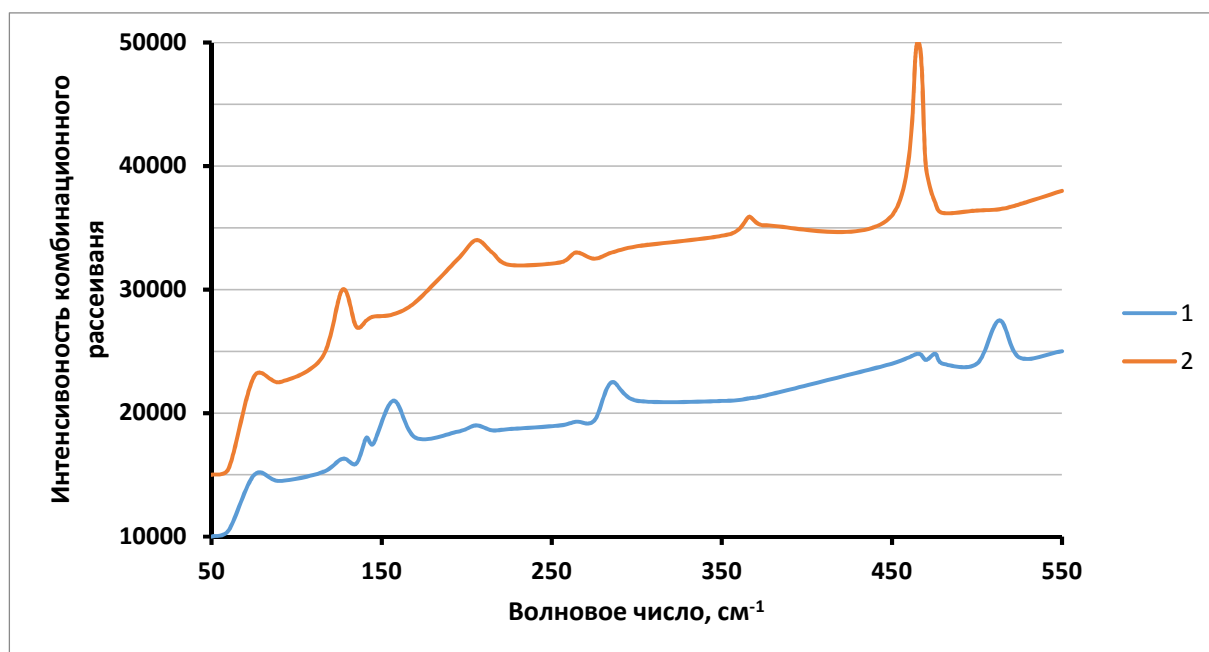


Рис. 1. Спектрограмма комбинационного рассеивания света
(1 – модифицированный наполнитель, 2 – обычный наполнитель)

Выводы. Наибольшую эффективность проявили кремнеорганические гидрофобизаторы Аквасил и ГКЖ10.

Увеличение краевого угла смачивания, а, следовательно, эффективность покрытия зависит как от количественного состава микронаполнителей, так и от химической природы гидрофобизаторов.

Наибольший эффект придания гидрофобности материалам показали суспензии на основе кремнеорганического гидрофобизатора Аквасил, а эффективность дисперсных наполнителей – TiO_2 .

Наибольшее значения краевого угла смачивания было достигнуто на суспензиях на основе Аквасил и ГКЖ10 в сочетании с оксидом титана. При этом максимальное значение краевого угла смачивания было достигнуто на поверхности, обработанной суспензией на основе 100 массовых частей Аквасил и 4 массовых частей TiO_2 (см. таблица 1, 2).

Следует отметить, что использованные в качестве компонентов для гидрофобных суспензий Аквасил и TiO_2 не оказывают влияния на внешний вид обработанного материала. Что позволяет сделать вывод о целесообразности использования суспензий на основе Аквасил и оксида титана для придания повышенной гидрофобности обрабатываемым поверхностям.

Использование дисперсных микронаполнителей для придания гидрофобности поверхности жидкими кремнеорганическим гидрофобизаторам позволяет повысить эффективность защитных строительных материалов. Так, введение

оксида титана в гидрофобизатор марки Аквасил позволяет увеличить краевой угол смачивания.

Результаты исследования позволяют судить о возможности достижения самоочищающегося эффекта у материалов с супергидрофобной поверхностью. Угол смачивания которой достигает значения 165 градусов.

Для обработки существующих фасадов эффективно использовать комплексные гидрофобизаторы. Наибольший эффект показали покрытия на основе суспензий, содержащих большее количество наполнителей (4 масс.ч.). А для получения самоочищающихся материалов в заводских условиях, следует использовать плазмомодифицированный мелкий наполнитель, либо комбинацию двух способов для получения максимальных результатов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ищенко А.В., Огурцова Ю.Н., Строкова В.В. Особенности фибры различного состава как элемента самоочищающейся поверхности // БГТУ им. В.Г. Шухова. 2017. № 11. С. 18–24.
2. Майоров В.А. Светопрозрачные конструкции с самоочищающимися стеклами // Светопрозрачные конструкции. 2017. № 3(113). С.13-26.
3. Соколова Е.В., Закревская Л.В., Гавриленко А.А., Любин П.А. Новый фасадный композиционный материал, способный к самоочищению // Сборник докладов международной научно-практической конференции «Наукоемкие технологии и инновации» (октябрь 2016 г.).

Белгород. БГТУ им. В.Г. Шухова, 2016. С. 380–384.

4. Nanda D., Varshney P., Satapathy M., Mohapatra S.S., Kumar A. Self-assembled monolayer of functionalized silica microparticles for self-cleaning applications // *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*. 2017. Vol. 529. Pp. 231–238.

5. Киш Х., Орт-гербер Й., Сактхивель Ш. Углеродсодержащий фотокатализатор на основе диоксида титана, способ его получения и применение (варианты) Пат. № 2380318 Российская Федерация. МПК С 01 G 23/047; опубл. 27.01.2010.

6. Грохаль П. Кроющий материал Пат. № 2377267 Российская Федерация: МПК С 04 В 20/10.; опубл. 27.12.2009.

7. Найнхуис К., Бартлотт В. Способ изготовления самоочищающихся поверхностей и изделий с такой поверхностью Пат. № 2246514 Российская Федерация: МПК С 08 J 7/06.; опубл. 20.02.2005.

8. Савинкина Е.В., Оболенская Л.Н., Кузьмичева Г.М., Дорохов А.В. Фотокатализатор на основе наноразмерной модификации диоксида титана Пат. № 2469788 Российская Федерация: МПК С 01 G 23/00.; опубл. 20.12.2012.

9. Галлямов М.О., Хохлов А.Р., Бузник В.М., Никитин Л.Н., Николаев А.Ю. Водоотталкивающий элемент и способ получения гидрофобного покрытия Пат. № 2331532 Российская Федерация: МПК В 60 R 13/00; 20.08.2008, Бюл. 23. 15 с.

10. Vinogradov A.V., Agafonov A.V. Sol-gel synthesis of titanium dioxide based films possessing highly ordered channel structure. Abstract. Intern.

Conf. «Sol-Gel 2009» (23-27 august. 2009). Recife, Brazil, 2009. 118 p.

11. Zhang CY, Cai HG, Chen B, Dong W., Mu Z., Zhang X. Synthesis of superhydrophobic surface of polyethylene via in situ ziegler-natta polymerization. *Chin J Catal*. 2008. Vol. 29. Iss. 1. Pp. 1–3.

12. Chang K.C., Chen Y.K., Chen H. Fabrication of highly transparent and superhydrophobic silica-based surface by TEOS/PPG hybrid with adjustment of the pH value. 2008. Vol. 202. Iss. 16. Pp. 3822–3831.

13. Киселев М.Г., Савич В.В., Павич Т.П. Определение краевого угла смачивания на плоских поверхностях // *Вестник БНТУ*. 2006. № 1. С. 38–41.

14. Richard Wright, Mark Blitshteyn. Method and apparatus for measuring contact angles of liquid droplets on substrate surfaces. Patent US5268733A, 1993.

15. Catherine A. Demoulin, Dominique Ausserre, Francis Rondelez. Method and apparatus for determining the contact angle of a drop of liquid placed on a solid or liquid horizontal substrate. Patent US4688938A, 1987.

16. Ефремов А.М., Светцов В.И., Рыбкин В.В. Вакуумно-плазменные процессы и технологии. Иваново: ИГХТУ, 2006. 260 с.

17. Вячеславов А.С., Померанцева Е.А. Измерение площади поверхности и пористости методом капиллярной конденсации азота. Методическая разработка. М.: МГУ им. М.В. Ломоносова, 2006. 55 с.

18. Aligizaki Kalliopi K. Pore Structure of Cement-Based Materials: Testing Interpretation and Requirements (Modern Concrete Technology). Taylor & Francis, 2005. 432 p.

Информация об авторах

Зорин Дмитрий Александрович, кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры технологии вяжущих веществ и бетонов. E-mail: dim-z@yandex.ru. Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет. Россия, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26.

Ивашенко Наталья Васильевна, студент. E-mail: ivashenko.nata@mail.ru. Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет. Россия, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26.

Добрина Кристина Евгеньевна, студент. E-mail: ivashenko.nata@mail.ru. Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет. Россия, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26.

Поступила в январе 2019 г.

© Зорин Д.А., Ивашенко Н.В., Добрина К.Е., 2019

^{1,*}Zorin D.A., ¹Ivashenko N.V., ¹Dobrina K.E.¹Moscow State University of Civil Engineering (National Research University)

Russia, 129337, Moscow, Yaroslavskoye shosse, 26

*E-mail: dim-z@yandex.ru

EFFECTIVE INTEGRATED WATER REPELLENTS FOR SELF-CLEANING OF FACADE MATERIALS

Abstract. This research presents the result of studying self-cleaning effect of surfaces used for external coating of residential and industrial buildings. Methods of obtaining above-mentioned effect are examined, including photocatalytic and hydrophobization methods. Widely known methods for determining the wetting angle are applied. Low temperature unbalanced plasma generator is used to modify fine filler material. Wetting angles obtained by using various formulas for water repellent suspensions are observed. Quartz filler material is also modified. The experiments confirms technical effectiveness of water repellents and the enhancement of their properties, when using dispersed fillers. High values of wetting angle are achieved using plasma-modified aggregate.

Keywords: self-cleaning surfaces, hydrophobic materials, wetting angle, plasma-modified materials.

REFERENCES

1. Ishchenko A.V., Ogurtsova Yu.N., Strokova V.V. Features of fibers of different composition, as part of a self-cleaning surface [*Osobennosti fibry razlichnogo sostava kak ehlementa samoochishchayushcheysya poverhnosti*]. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2017. No. 11. Pp. 18–24. (rus)
2. Mayorov V.A. Translucent structures with self-cleaning glass [*Svetoprozrachnye konstrukcii s samoochishchayushchimisya steklami*]. Translucent structures. 2017. No. 3(113). Pp. 13–26. (rus)
3. Sokolova E.V., Zakrevskaya L.V., Gavrilenko A.A., Lubin P.A. New facade material, capable of self-purification [*Novyj fasadnyj kompozicionnyj material, sposobnyj k samoochishcheniyu*]. Sbornik dokladov mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferentsii «Naukoemkie tekhnologii i innovatsii» (oktyabr' 2016 g.). Belgorod. BSTU named after V.G. Shukhov, 2016, pp. 380–384. (rus)
4. Nanda D., Varshney P., Satapathy M., Mohapatra S.S., Kumar A. Self-assembled monolayer of functionalized silica microparticles for self-cleaning applications. Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects. 2017. Vol. 529. Pp. 231–238.
5. Kisch Horst, Orth-Gerber Jurgen, Sakthivel Shanmugasundaram. Titanium dioxide based carbonaceous photocatalyst, method of preparing said photocatalyst and use. Patent RU, no. 2380318, 2010. (rus)
6. Peter Grochal. Coating material Patent RU, no. 2377267, 2009. (rus)
7. Wilhelm Barthlott, Christoph Neinhuis. Method for the preparation of self-cleaning removable surfaces. Patent RU, no. 2246514, 2005. (rus)
8. Savinkina E.V., Obolenskaya L.N., Kuzmicheva G.M., Dorokhov A.V. Photocatalyst based on nanosized η -modification of titanium dioxide. Patent RU, no. 2469788, 2012. (rus)
9. Gallyamov M.O., Khokhlov A.R., Buznik V.M., Nikitin L.N., Nikolaev A.Y. Water repellent element and method of hydrophobic coating producing. Patent RU, no. 2331532, 2006. (rus)
10. Vinogradov A.V., Agafonov A.V. Sol-gel synthesis of titanium dioxide based films possessing highly ordered channel structure. Abstract. Intern. Conf. «Sol-Gel 2009» (23–27 august. 2009). Recife, Brazil, 2009, 118 p.
11. Zhang CY, Cai HG, Chen B, Dong W., Mu Z., Zhang X. Synthesis of superhydrophobic surface of polyethylene via in situ ziegler-natta polymerization. Chin J Catal. 2008. Vol. 29. Iss. 1. Pp. 1–3.
12. Chang K.C., Chen Y.K., Chen H. Fabrication of highly transparent and superhydrophobic silica-based surface by TEOS/PPG hybrid with adjustment of the pH value. 2008. Vol. 202. Iss. 16. Pp. 3822–3831.
13. Kiselev M. G., Savich V.V., Pavich T.P. Defining the wetting angle on flat surfaces [*Opre-delenie kraevogo ugla smachivaniya na ploskih poverhnostyah*]. Bulletin of BNTU. 2006. No. 1. Pp. 38–41. (rus)
14. Richard Wright, Mark Blitshteyn. Method and apparatus for measuring contact angles of liquid droplets on substrate surfaces. Patent US5268733A, 1993.
15. Catherine A. Demoulin, Dominique Ausserre, Francis Rondelez. Method and apparatus for determining the contact angle of a drop of liquid placed on a solid or liquid horizontal substrate. Patent US4688938A, 1987.
16. Efremov A.M., Svetstov V.I., Rybkin V.V. Vacuum-plasma processes and technologies [*Vakuumno-plazmennye processy i tekhnologii*]. Ivanovo: ISUCT, 2006. 260 p. (rus)

17. Vyacheslavov A.S., Pomeranceva E.A. The Measurement of the surface area and porosity by the method of capillary nitrogen condensation. Methodical development [*Izmerenie ploshchadi poverhnosti i poristosti metodom kapillyarnoj kondensacii azo-*

ta]. M.: MGU im. M. V. Lomonosov, 2006. 55 p. (rus)

18. Aligizaki Kalliopi K. Pore Structure of Cement-Based Materials: Testing Interpretation and Requirements (Modern Concrete Technology). Taylor & Francis, 2005. 432 p.

Information about the authors

Zorin, Dmitriy A. PhD, Senior lecturer. E-mail: dim-z@yandex.ru. Moscow State University of Civil Engineering (National Research University). Russia, 129337, Moscow, Yaroslavskoye shosse, 26.

Ivashenko, Natalia V. Bachelor student. E-mail: ivashenko.nata@mail.ru. Moscow State University of Civil Engineering (national research university). Russia, 129337, Moscow, Yaroslavskoye shosse, 26.

Dobrina, Kristina E. Bachelor student. E-mail: ivashenko.nata@mail.ru. Moscow State University of Civil Engineering (National Research University). Russia, 129337, Moscow, Yaroslavskoye shosse, 26.

Received in January 2019

Для цитирования:

Зорин Д.А., Ивашенко Н.В., Добрина К.Е. Эффективные комплексные гидрофобизаторы для самоочищающихся фасадных материалов // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2019. № 4. С. 16–23. DOI: 10.34031/article_5cb1e6595c5ba2.05324270

For citation:

Zorin D.A., Ivashenko N.V., Dobrina K.E. Effective integrated water repellents for self-cleaning of facade materials. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2019. No. 4. Pp. 16–23. DOI: 10.34031/article_5cb1e6595c5ba2.05324270

DOI: 10.34031/article_5cb1e6606f9c29.67138287

^{1,*}Сарсенбаев Н.Б., ²Аласханов А.Х., ¹Айменов А.Ж., ¹Сарсенбаев Б.К., ¹Айменов Ж.Т.,
¹Сауганова Г.Р., ¹Алдияров Ж.А

¹Южно-Казахстанский государственный университет им. М. Ауэзова
Казахстан, 160013, г. Шымкент, пр. Тауке хана 5

²Грозненский государственный нефтяной технический университет им. акад. М.Д. Миллионщикова
Россия, 364051, г. Грозный, пр. им. Х.А. Исаева, 100

*E-mail: Stroitelstvo_ukgu@mail.ru

ВЛИЯНИЕ ДОБАВОК ОТХОДОВ КАРБОНАТНО-БАРИЕВЫХ ХВОСТОВ НА СВОЙСТВА КОМПОЗИЦИОННЫХ ВЯЖУЩИХ И БЕТОНОВ

Аннотация. В статье приведены результаты анализа и обобщения исследований ученых России и Казахстана по проблеме использования техногенных отходов промышленности для производства композиционных шлакощелочных вяжущих и бетонов на их основе.

Утилизация, ликвидация промышленных техногенных отходов и их использование в производстве композиционных шлакощелочных вяжущих является вопросами глобального и общегосударственного значения. Поэтому в промышленно развитых странах мира этому вопросу уделяется большое внимание. Изучено влияние отходов производства обогащения полиметаллических руд – карбонатно-бариевых хвостов на эксплуатационные свойства (прочность, водопоглощение, плотность и др.) композиционных шлакощелочных вяжущих и бетонов на их основе. Исследованы различные способы введения модифицирующих добавок «отходов карбонатно-бариевых хвостов» в состав композиционных шлакощелочных вяжущих и бетонов на их основе. Определено оптимальное количество введения в состав композиционных шлакощелочных вяжущих модифицирующих добавок – отходов карбонатно-бариевых хвостов – 10 % от массы вяжущего и показатель эффективности по влиянию на активность бетона, в зависимости от вида щелочного компонента и условий твердения. Приведены методики испытаний проведения экспериментальных работ по определению эксплуатационных свойств шлакощелочных вяжущих и бетонов на их основе.

Ключевые слова: отходы карбонатно-бариевых хвостов, композиционные шлакощелочные вяжущие, модифицирующие добавки, прочность, водопоглощения, плотность.

Введение. В реализации госпрограммы «Индустрия 4.0» в части перехода к экспортно-ориентированной индустриализации Республики Казахстана в условиях непрерывного роста масштабов промышленных производств и потребления природного минерального сырья проблема эффективного использования техногенных промышленных отходов имеет важное значение. На данном этапе недостаточность и невосполнимость месторождений природных сырьевых материалов, усложнение горно-геологических условий залегания рудных тел и удорожание стоимости их добычи, негативное влияние на окружающую среду накапливаемых техногенных отходов является актуальной проблемой. Применение промышленных техногенных отходов в производстве композиционных материалов является вопросами важнейших исследований ученых на сегодняшний день.

В промышленно развитых регионах Казахстана объемы накопленных промышленных отходов производства значительны, поэтому применение их для производства композиционных шлакощелочных вяжущих и бетонов на их основе считаем целесообразным, что требует проведения незамедлительного учета их наравне с

природными минеральными ресурсами. Разработка композиционных шлакощелочных вяжущих и бетонов на их основе из промышленных техногенных отходов будет способствовать планомерному и более интенсивному вовлечению в производственный процесс различных видов техногенных минеральных образований.

В настоящее время не более 6–7 % промышленных техногенных отходов Казахстана используются в производстве строительных материалов. Повсеместное применения промышленных отходов производства в производственном обороте позволит повысить энерго- и ресурсосбережение в больших масштабах за счет экономии эксплуатационных и капитальных затрат на разведку, добычу и переработку минерального сырья.

Применение накопленного техногенного сырья промышленности (отходы горнодобывающих предприятий, золы ТЭЦ, фосфорные, металлургические, сталеплавильные шлаки, шлаки цветной металлургии, щелочесодержащие отходы промышленности и т.д.) в качестве компонента цемента является основным направлением современного развития цементной промышленности Казахстана.

На современном этапе учеными мира строительной наукой и практикой накоплен огромный положительный опыт в области применения отходов промышленности в производстве строительных и силикатных материалов, но многие разработки не получили должного. В цементной промышленности к этому направлению относится разработка и исследование шлакощелочных вяжущих и бетонов. В последние годы получены новые их разновидности учеными стран СНГ [1–12]. Научно-исследовательские работы по получению и исследованию композиционных шлакощелочных вяжущих (КШЩВ) с местными минеральными добавками и бетонов на их основе в последние годы ведутся в НИИ «Строительных материалов, строительств и архитектуры» при ЮКГУ им. М. Ауэзова [13–19].

Методика. Приготовление и испытание композиционных шлакощелочных вяжущих проводилось в соответствии с техническим условием ТУ 67-1020-89 "Вяжущее шлакощелочное. Технические условия".

Изготовленные образцы-балочки хранили в течение 3 суток в формах с прикрытой верхней поверхностью в воздушно-сухих условиях, затем распалубливали и хранили в нормально-влажностных условиях до испытания. Испытание образцов-балочек вяжущего производили по ускоренной методике: образцы-балочки изготавливали в соответствии с требованиями ГОСТ 310.4-81 «Методы определения предела прочности на сжатие и изгиб» с учетом приведенных выше изменений, не ранее 4 ч и не позднее 12 ч после изготовления. После изготовления образцы подвергались тепловлажностной обработке (ТВО) в формах по режиму 3+6+3 ч при температуре изотермического прогрева 95 ± 5 °С. Образцы подвергались испытанию через одни сутки с момента изготовления.

Определение строительно-технических характеристик бетонов на основе КШЩВ проводилось по ГОСТ 10180-90 «Методы определения прочности по контрольным образцам», ГОСТ 12730.0-78 – ГОСТ 12730.4-78 для определения плотности бетона, ГОСТ 12730.3 для определения водопоглощения и характеристик пористости бетона.

Измельчение различных составов КШЩВ и шлака осуществлялось с помощью мельницы: Мл - 1, Активатор – 4м и СВМ-3.

Основная часть. Учеными Казахстана исследованы вопросы использования электротермофосфорных шлаков для получения солей шлаковых вяжущих. К ним относятся вяжущие на основе электротермофосфорных шлаков и природных солей (сульфатов, хлоридов, нитритов щелочно- и щелочно-земельных металлов), по-

лучаемые путем автоклавной обработки композиций [13–15].

Присутствие ионов Cl^- и SO_4^{4-} в составе солей шлаковых вяжущих ограничивает их применение для изготовления железобетонных конструкций, о чем свидетельствуют полученные [16] результаты исследований коррозии стали в бетонах. В этих опытах показано, что без специальной защиты стальной арматуры солей шлаковых бетонов автоклавного твердения, приготовленные на солях сульфата натрия, карналлите, хлорида магния, можно применять только при относительной влажности среды до 60 %. С целью снижения коррозии стальной арматуры этими же и другими авторами [11–13] предложено вводить в состав таких бетонов дефицитные и дорогостоящие добавки двухзамещенного ортофосфата натрия и бихромата калия, что не решает вопрос их широкого практического применения.

В настоящее время для производства КШЩВ в Казахстане ощущается дефицит кондиционных щелочных компонентов. Поэтому для производства композиционных шлакощелочных вяжущих и бетонов используются различные щелочесодержащие отходы технологических процессов и производств (например, металлургической и химической промышленности). В частности, весьма перспективным многокомпонентным щелочесодержащим отходом для производства шлакощелочных бетонов, особенно в районе Средней Азии, является содо-сульфатная смесь – отход производства капролаутама Чирчикского ПО «Электрохимпром» (ежегодный выпуск составляет 14 млн. т). Отход представляет собой сложный продукт химического состава: сульфат натрия – 30...35 %; карбонат натрия – 50...55 % и хлорид натрия 10...15 %. Исследованию возможности использования этого отхода в производстве шлакощелочных бетонов до настоящего времени посвящено незначительное количество работ. Авторами работ [17–18] показана возможность получения шлакощелочных вяжущих марок 300, 400 на основе смесей солей натрия, слабых и сильных кислот. На основе разработанных вяжущих автором был получен шлакощелочной керамзитобетон марок 250, 400 средней плотностью соответственно 1400, 1800 кг/м. Изучение морозостойкости и длительности сохранения арматуры в шлакощелочных керамзитобетонах показало, что на исследуемые характеристики таких бетонов наибольшее влияние оказывает вид щелочного компонента и плотность его раствора [16].

Коррозия арматуры в шлакощелочном керамзитобетоне обусловлена проникновением ионов-стимуляторов Cl^- и SO_4^{4-} . У образцов

наблюдались пятна ржавчины и степень коррозии арматуры в бетоне оценивалась в 3 балла. Авторы [16] рекомендуют введение ингибито-

ров коррозии NaNO_2 или понижение плотности раствора сульфокarbonата натрия до 1050 кг/м^3 .

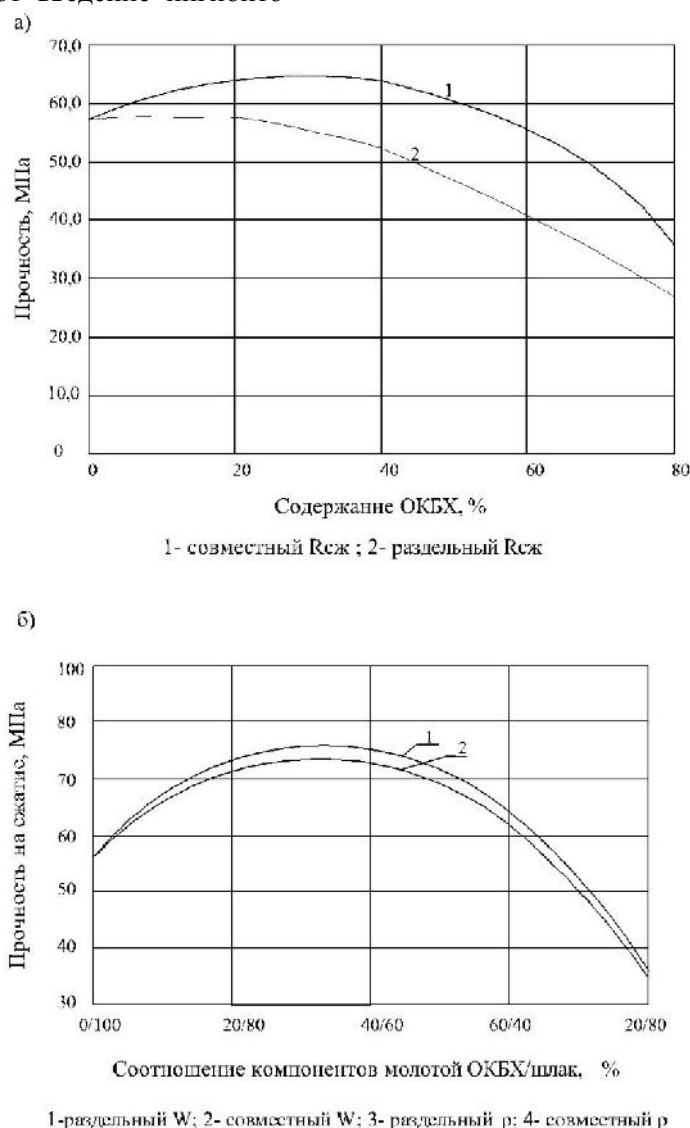


Рис. 1. Зависимости прочности (а), плотности и водопоглощения (б) камня КШЩВ от содержания отходов карбонатно-бариевых хвостов и способа введения добавки

Несмотря на то, что в [19] отмечено влияние вида и плотности щелочного компонента на физико-механические свойства бетона, но при этом нет систематизированных данных по оптимизации структуры бетона на содосульфатной смеси, а также отсутствуют сведения о некоторых строительно-технических характеристиках тяжелого шлакощелочного бетона применительно к различным видам строительства.

Исследовано влияние различного способа введения добавки отходов карбонатно-бариевых хвостов (ОКБХ) на эксплуатационные свойства цементного камня шлакощелочных вяжущих. Исследования проводились с использованием портландцементного клинкера, фосфорного шлака, модифицирующей добавки отходов – карбонатно-бариевых хвостов и водного раство-

ра содосульфатной смеси. Фосфорный шлак и добавка отходов – карбонатно-бариевых хвостов подвергались раздельному и совместному помолу до остатка на сите 008 – 10 % ($300 \text{ м}^2/\text{кг}$ по ПСХ-12). Полученные результаты приведены на рисунке 1.

Совместный помол оказался более эффективным. Замена модифицирующей добавкой отходов карбонатно-бариевых хвостов привела к увеличению на 1,7 % плотность и уменьшению на 9,8 % водопоглощения по сравнению с бездобавочными образцами. При раздельном измельчении компонентов (количество портландцементного клинкера принято – 5 % Const) диапазон замены фосфорного шлака модифицирующей добавкой отходов карбонатно-бариевых хвостов, в котором состав на шлакощелочных

вяжущих не уступают бездобавочным, составляет 4–6 %. При совместном измельчении составляющих шлакощелочных вяжущих эта область увеличивается до 10 % и можно получить вяжущее с повышенными активностями по сравнению с контрольными составами. Установлено, что, в зависимости от вида твердения и щелочного компонента составы шлакощелочных вяжущих на фосфорном шлаке имеют активность 60,0–70,0 МПа.

Введение модифицирующей добавки отходов карбонатно-бариевых хвостов при совместном помоле с фосфорным шлаком дает хороший эффект, это объясняется лучшей размалываемостью портландцементного клинкера. Нельзя исключать и возможности возникновения взаимодействия отходов и активизации поверхности при помоле.

Исследовано влияние различного способа введения добавки отходов карбонатно-бариевых хвостов.

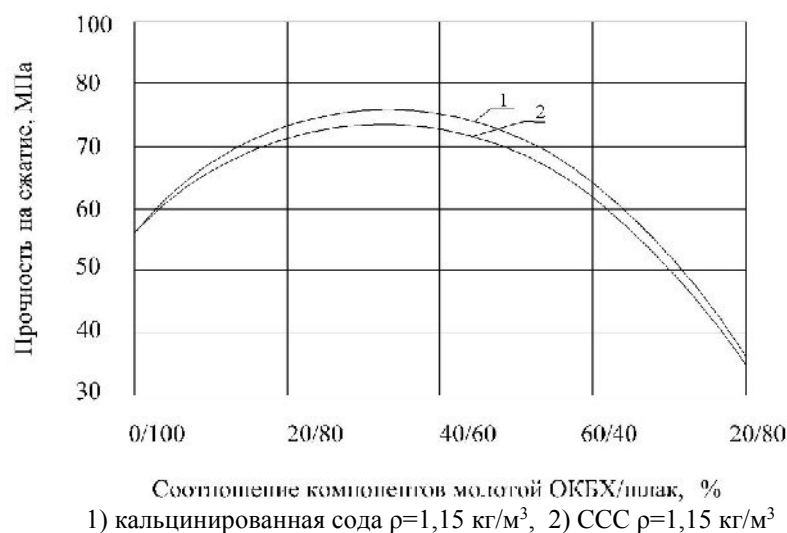


Рис. 2. Влияние вида и содержания молотого ОКБХ на прочность образцов камня ШЩВ после ТВО, изготовленных на водных растворах. %

При использовании кальцинированной соды повышение прочности составило 22,1–26,1 %, содосульфатных смесей – 19,2–20,4 %. В КШЩВ увеличение содержания модифицирующей добавки отходов карбонатно-бариевых хвостов до 15 % снижает активность образцов цементного камня. При оптимальном содержании модифицирующей добавки отходов карбонатно-бариевых хвостов – 10 % показатель эффективности по влиянию на прочность камня, полученного совместным помолом до 600 м²/к в зависимости от вида щелочного компонента и условий твердения находится в пределах 1,2–1,41.

Выводы. Установлено, что оптимизация содержания модифицирующей добавки отходов карбонатно-бариевых хвостов в композиционном вяжущем составляет 10 % независимо от природы щелочного компонента.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Лесовик В.С. Новая парадигма создания композитов для стройиндустрии // В сборнике: Современные строительные материалы, технологии и конструкции Материалы Международной научно-практической конференции, посвященной 95-летию ФГБОУ

ВПО "ГГНТУ им. акад. М.Д. Миллионщикова". Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Грозненский государственный нефтяной технический университет имени академика М.Д. Миллионщикова» (ФГБОУ ВПО «ГГНТУ»), г. Грозный. 2015. С. 17–24.

2. Лесовик В.С., Чулкова И.Л., Загороднюк Л.Х. Практическая реализация закона сродства структур при реставрации исторических объектов // В сборнике: Научные технологии и инновации Юбилейная Международная научно-практическая конференция, посвященная 60-летию БГТУ им. В.Г. Шухова (XXI научные чтения). 2014. С. 242–246.

3. Загороднюк Л.Х., Лесовик В.С., Попов Д.Ю., Глаголев Е.С. Практика использования закона сродства структур для проектирования эффективных композитов // В сборнике: Научные технологии и инновации Юбилейная Международная научно-практическая конференция, посвященная 60-летию БГТУ им. В.Г. Шухова (XXI научные чтения). 2014. С. 156–163.

4. Лесовик В.С., Чернышева Н.В., Глаголев Е.С., Дребезгова М.Ю., Ермолаева А.Э. 3D-

Аддитивные технологии в сфере строительства // В сборнике: Интеллектуальные строительные композиты для зеленого строительства Международная научно-практическая конференция, посвященная 70-летию заслуженного деятеля науки РФ, члена-корреспондента РААСН, доктора технических наук, профессора Валерия Станиславовича Лесовика. 2016. С. 157–167.

5. Lesovik V.S., Volodchenko A.A., Svinarev A.V., Kalashnikov N.V., Rjapuhin N.V. Reducing energy intensity of production of non autoclave wall materials // World Applied Sciences Journal. 2014. T. 31. № 9. С. 1601–1606

6. Урханова Л.А., Балханова Е.Д. Получение композиционных алюмосиликатных вяжущих на основе вулканических пород // Строительные материалы. 2006. №5. С. 51–53.

7. Калашников В.И. Нестеров В.Ю., Хвастунов В.Л. и др. Глиношлаковые строительные материалы. Под общ. ред. В.И. Калашникова. Пенза: ПГАСА, 2000. 207с.

8. Рахимов Р.З., Магдеев У.Х. Ярмаковский В.Н. Экология, научные достижения и инновации в производстве строительных материалов на основе и с применением техногенного сырья // М-лы межд. конгресса «Наука и инновации в строительстве SIB-2008», Современные проблемы строительного материаловедения и технологии. 2008. С. 441–448.

9. Рахимова Н.Р. Композиционные шлакощелочные вяжущие, растворы и бетоны на их основе // Научный вестник ВГАСУ. Строительство и архитектура. 2008. №4(12). С. 110–118.

10. Hargreaves D. The assessment of current global situation in cement industry // Report of Cemtech. Conference. 2000. P. 32–36.

11. Рахимова Н.Р. Влияние добавок на марку композиционного вяжущего и свойства бетона на его основе // Промышленное и гражданское строительство. 2008. №5. С. 43–44.

12. Рахимов Р.З., Хабибуллина Н.Р., Рахимов М.М., Соколов А.А., Гатауллин Р.Ф. Бетоны на основе композиционных шлакощелочных вяжущих // Строительные материалы. 2005. №8. С. 16–17.

13. Сарсенбаев Б.К., Естемесов З.А., Айменов Ж.Т., Сарсенбаев Н.Б., Айменов А.Ж. Шлакощелочные вяжущие и бетоны. Шымкент: Изд-во ЮКГУ им. М. Ауэзова, 2016. 360с.

14. Bischembaew W., Sarsenbaew B., Altaewa S., Imanaliew K. Strukturbildung von Alkalischlacken – Bindemitteln auf Basis von Djambulischer Schlacken // 16. internationale Baustofftagung. ibausil, (20–23 September 2006 Bauhaus – Universität Weimar. BRD). Weimar 2006. Tagungsbericht-Band 1. S.1–1153–1155.

15. Сарсенбаев Б.К. Технология производства шлакощелочных вяжущих, бетонов и изделий // Новости науки Казахстана. Алматы. 2004. №1. С. 95–99.

16. Сарсенбаев Б.К., Естемесов З.А. Коррозия арматуры в растворах активизирующих компонентов шлакощелочных вяжущих // Труды Межд. научно-практ. конф. проблемы химической технологии неорганических, органических, силикатных и строительных материалов и подготовки инженерных кадров. Шымкент, 2002. Т.2. С. 79–82.

17. Сарсенбаев Б.К. Влияние технологических факторов производства на свойства шлакощелочного бетона // Комплексное использование минерального сырья. Алматы, 2004. №1. С. 90–93.

18. Сарсенбаев Б.К. Прочность шлакощелочных бетонов в агрессивных средах // Промышленность Казахстана. Алматы, 2003. №5 (20). 64 с.

19. Krivenko P.V., Gelevera A.G., Kavalerova E.S. Comparative study of alkali-aggregate reaction in the OPC and alkaline OPC concrete // 16. International Bausofftagung, Tagungsbericht (Weimar). 2006. P.2-0389-0398.

Поступила в январе 2019 г.

© Сарсенбаев Н.Б., Аласханов А.Х., Айменов А.Ж., Сарсенбаев Б.К., Айменов Ж.Т., Сауганова Г.Р., Алдияров Ж.А., 2019

Информация об авторах

Сарсенбаев Нурали Бакытжанович, доктор PhD, старший научный сотрудник НИИ «Строительных материалов, строительства и архитектуры. E-mail: sarsenbaev-87 @list.ru. Южно-Казахстанский государственный университет им. М. Ауэзова. Казахстан, 160013, г. Шымкент, пр. Тауке хана 5.

Аласханов Арби Хамидович, кандидат технических наук, доцент кафедры «Технология строительного производства». E-mail: saidumov_m@mail.ru. Грозненский государственный нефтяной технический университет им. акад. М.Д. Миллионщикова. Россия, 364051, г. Грозный, пр. им. Х.А. Исаева, 100.

Айменов Аскар Жамбулович, доктор PhD, младший научный сотрудник НИИ «Строительных материалов, строительства и архитектуры». E-mail: askar.aimenov@mail.ru. Южно-Казахстанский государственный университет им. М. Ауэзова. Казахстан, 160013, г. Шымкент, пр. Тауке хана 5.

Сарсенбаев Бакытжанович Кудайбергенович, доктор технических наук, профессор, директор НИИ «Строительных материалов, строительства и архитектуры». E-mail: Stroitelstvo_ukgu@mail.ru. Южно-Казахстанский государственный университет им. М. Ауэзова. Казахстан, 160013, г. Шымкент, пр. Тауке хана 5.

Айменов Жамбул Талхаевич, доктор технических наук, профессор, зам. директор НИИ «Строительных материалов, строительства и архитектуры». E-mail: zhambul_ukgu@mail.ru. Южно-Казахстанский государственный университет им. М. Ауэзова. Казахстан, 160013, г. Шымкент, пр. Тауке хана 5.

Алдияров Жумадила, кандидат технических наук, доцент кафедры «Промышленное гражданское и дорожное строительство». E-mail: aldiyar63_ukgu@mail.ru. Южно-Казахстанский государственный университет им. М. Ауэзова. Казахстан, 160013, г. Шымкент, пр. Тауке хана 5.

Сауганова Гаухар Рамзеевна, магистр естественных наук, младший научный сотрудник НИИ «Строительных материалов, строительства и архитектуры». Южно-Казахстанский государственный университет им. М. Ауэзова. Казахстан, 160013, г. Шымкент, пр. Тауке хана 5.

¹Sarsenbayev N.B., ²Alaskhanov A.H., Aimenov A.Z., ¹Sarsenbayev B.K., ¹Aimenov Z.T.,
¹Aldiyarov Z., ¹Sauganova G.R.

¹M. Auezov South Kazakhstan State University
Kazakhstan, 160013, Shymkent, Tauke khan avenue

²Grozny State Oil Technical University. Acad. Md Millionshchikov
Russia, 364051, Grozny, etc. them. HA. Isaeva, 100

*E-mail: sarsenbaev-87@list.ru

INFLUENCE OF ADDITIVES OF BARIUM-CARBONATE TAILING WASTES ON THE PROPERTIES OF COMPOSITIONAL BINDERS AND CONCRETES

Abstract. The article presents the outcomes of analysis and synthesis of Russian and Kazakh researches on the issue of the use of industrial waste industry for the production of composite slag base binders and concretes. Utilization, liquidation of industrial wastes and their use in the production of composite alkali-activated slag are the issues of global and national importance. Therefore, industrial and developed countries pay great attention to this issue. The influence of the production wastes of the enrichment of polymetallic ores – carbonate-barium tailings on the performance properties (strength, water absorption, density, etc.) of composite alkali-activated slag and concretes is studied. The ways of introducing modifying additives “waste of carbonate-barium tailings” into the composition of alkali-activated slag and concretes are investigated. The optimal amount of introduction the waste of carbonate-barium tailings into the composition of alkali-activated slag of modifying additives is determined. It is 10% of the binder mass and an indicator of effectiveness in influencing the activity of concrete, depending on the type of alkaline component and the hardening conditions. The methods of testing the experimental work to determine the operational properties of alkali-activated slag and concretes based on them are presented.

Keywords: waste of carbonate-barium tails, alkali-activated slag, modifying additives, strength, water absorption, density.

REFERENCES

1. Lesovik V.S. A new paradigm for creating composites for the construction industry [Novaya paradigma sozdaniya kompozitov dlya strojindustrii]. V sbornike: Sovremennye stroitel'nye materialy, tekhnologii i konstrukcii Materialy Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii, posvyashchennoj 95-letiyu FGBOU VPO "GGNTU im. akad. M.D. Millionshchikova". Federal'noe gosudarstvennoe byudzhethoe obrazovatel'noe uchrezhdenie vysshego professional'nogo obra-

zovaniya «Groznskiy gosudarstvennyy neftyanoy tekhnicheskij universitet imeni akademika M.D. Millionshchikova» (FGBOU VPO «GGNTU»), Grozny. 2015. Pp. 17–24. (rus)

2. Lesovik V.S., Chulkova I.L., Zagorodnyuk L.Kh. Practical implementation of the law of affinity of structures during the restoration of historical objects [Prakticheskaya realizaciya zakona srodstva struktur pri restavracii istoricheskikh ob"ektov]. V sbornike: Naukoemkie tekhnologii i innovacii YU-bilejnaya Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferenciya, posvyashchennaya

60-letiyu BGТУ im. V.G. Shuhova (XXI nauchnye chteniya) 2014. Pp. 242–246. (rus)

3. Zagorodnyuk L.Kh., Lesovik V.S., Popov D.Yu., Glagolev E.S. Practice of using the law of affinity of structures for designing effective composites [*Praktika ispol'zovaniya zakona srodstva struktur dlya proektirovaniya ehffektivnykh kompozitov*]. V sbornike: Naukoemkie tekhnologii i innovatsii YUbilejnaya Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferenciya, posvyashchennaya 60-letiyu BGТУ im. V.G. Shuhova (XXI nauchnye chteniya). 2014. Pp. 156–163. (rus)

4. Lesovik V.S., Chernysheva N.V., Glagolev E.S., Drebezgova M.Yu., Ermolaeva A.E. 3D-Additive Technologies in the Field of Construction [*3D-Additivnye tekhnologii v sfere stroitel'stve*]. V sbornike: Intellekтуal'nye stroitel'nye kompozity dlya zelenogo stroitel'stva Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferenciya, posvyashchennaya 70-letiyu zaslužennogo deyatelya nauki RF, chlena-korrespondenta RAASN, doktora tekhnicheskikh nauk, professora Valeriya Stanislavovicha Lesovika. 2016. Pp. 157–167. (rus)

5. Lesovik V.S., Volodchenko A.A., Svinarev A.V., Kalashnikov N.V., Rjapuhin N.V. Reducing energy of autoclave wall materials. World Applied Sciences Journal. 2014. Vol. 31. No. 9. Pp. 1601–1606.

6. Urkhanova L.A., Balkhanova E.D. Production of composite aluminosilicate binders based on volcanic rocks [*Poluchenie kompozitsionnykh al'yumosilikatnykh vyazhushchih na osnove vulkanicheskikh porod*]. Construction materials. 2006. No. 5. Pp. 51–53. (rus)

7. Kalashnikov V.I., Nesterov V.Yu., Khvastunov V.L. and others. Gloux slag building materials [*Glinoshlakovye stroitel'nye materialy*]. Under total. ed. IN AND. Kalashnikov. Penza: PGASA, 2000. 207 p. (rus)

8. Rakhimov R.Z., Magdeev U.Kh. Yarmakovsky V.N. Ecology, scientific achievements and innovations in the production of building materials on the basis of and with the use of technogenic raw materials [*Ekologiya, nauchnye dostizheniya i innovatsii v proizvodstve stroitel'nykh materialov na osnove i s primeneniem tekhnogennogo syr'ya*]. M-ly mezhd. kongrecca «Nauka i innovatsii v stroitel'stve SIB-2008», Sovremennye problemy stroitel'nogo materialovedeniya i tekhnologii. 2008. Pp. 441–448. (rus)

9. Rakhimova N.P. Composite slakkalochnye binders, mortars and concretes based on them [*Kompozitsionnye shlkoshchelochnye vyazhushchie, rastvory i betony na ih osnove*]. Scientific Bulletin VGASU. Construction and architecture. 2008. No. 4 (12). Pp. 110–118. (rus)

10. Hargreaves D. The assessment of the current global situation in the cement industry. Report of Cemtech. Conference. 2000. Pp. 32–36.

11. Rakhimova N.P. The influence of additives on the brand of composite binder and the properties of concrete based on it [*Vliyanie dobavok na marku kompozitsionnogo vyazhushchego i svojstva betona na ego osnove*]. Industrial and Civil Engineering. 2008. No. 5. Pp. 43–44. (rus)

12. Rakhimov R.Z., Khabibullina N.R., Rakhimov M.M., Sokolov A.A., Gataullin R.F. Concretes based on composite slag-alkaline binders [*Betony na osnove kompozitsionnykh shlakoshchelochnykh vyazhushchih*]. Construction materials. 2005. No. 8. Pp. 16–17. (rus)

13. Sarsenbayev B.K., Estemesov Z.A., Aimenov Z.T., Sarsenbayev N.B., Aimenov A.Zh. Slag alkaline and concrete [*Shlakoshchelochnye vyazhushchie i betony*]. Shymkent: Publishing House SKSU them. M. Auezova, 2016. 360 p. (rus)

14. Bischembaew W., Sarsenbaew B., Altaewa S., Imanaliew K. Strukturbildung von Alkalischlacken - Bindemitteln auf Basis von Djambulischer Schlacken. 16. internationale Baustofftagung. ibausil, (20-23 September 2006 Bauhaus - Universität Weimar. BRD). Weimar 2006. Tagungsbericht-Band 1. S.1-1153–1155.

15. Sarsenbayev B.K. Technology of production of slag alkaline binders, concrete and products [*Tekhnologiya proizvodstva shlakoshchelochnykh vyazhushchih, betonov i izdelij*]. Science News of Kazakhstan. Almaty 2004. №1. Pp. 95–99. (rus)

16. Sarsenbayev B.K., Estemesov Z.A. Corrosion of reinforcement in solutions of activating components of slag-alkaline binders [*Korroziya armatury v rastvorah aktiviziruyushchih komponentov shlakoshchelochnykh vyazhushchih*]. Trudy Mezhd. nauchno-prakt. konf. problemy himicheskoy tekhnologii neorganicheskikh, organicheskikh, silikatnykh i stroitel'nykh materialov i podgotovki inzhenernykh kadrov. Shymkent, 2002. Vol. 2. Pp. 79–82. (rus)

17. Sarsenbayev B.K. The influence of technological factors of production on the properties of slag alkaline concrete [*Vliyanie tekhnologicheskikh faktorov proizvodstva na svojstva shlakoshchelochnogo betona*]. Complex use of mineral raw materials. Almaty. 2004. No. 1. Pp. 90–93.

18. Sarsenbayev B.K. The strength of slag concrete in aggressive media [*Prochnost' shlakoshchelochnykh betonov v agressivnykh sredah*]. Industry of Kazakhstan. Almaty, 2003. No. 5 (20). 64 p.

19. Krivenko P.V., Gelevera A.G., Kavaleroва E.S. Comparative study of the alkali-aggregate reaction in the OPC and alkaline OPC concrete. 16. International Bausrofftagung, Tagungsbericht (Weimar). 2006. P.2-0389-0398.

Information about the authors

Sarsenbayev, Nurali B. PhD, Senior researcher. E-mail: sarsenbaev-87 @list.ru. M. Auezov South Kazakhstan State University. Kazakhstan, 160013, Shymkent, Tauke khan avenue.

Alaskhanov, Arbi H. PhD. E-mail: saidumov_m@mail.ru. Grozny State Oil Technical University. Acad. Md Million-shchikov. Russia, 364051, Grozny, etc. them. HA. Isaeva, 100.

Aimenov, Askar Z. PhD, Junior researcher. E-mail: askar.aimenov @mail.ru. M. Auezov South Kazakhstan State University. Kazakhstan, 160013, Shymkent, Tauke khan avenue,

Sarsenbayev, Bakytzhan K. DSc, Professor. M. Auezov South Kazakhstan State University. Kazakhstan, 160013, Shymkent, Tauke khan avenue, E-mail: Stroitelstvo_ukgu@mail.ru

Aimenov, Zhambul T. DSc, Professor. E-mail: zhambul_ukgu @mail.ru. M. Auezov South Kazakhstan State University. Kazakhstan, 160013, Shymkent, Tauke khan avenue.

Aldiyarov, Zhumadila PhD, associate professor. E-mail: aldiyar63 ukgu @mail.ru. M. Auezov South Kazakhstan State University. Kazakhstan, 160013, Shymkent, Tauke khan avenue,

Sauganova, Gaukhar R. Master of natural sciences. E-mail: Saughanova @mail.ru M. Auezov South Kazakhstan State University. Kazakhstan, 160013, Shymkent, Tauke khan avenue,

Received in January 2019

Для цитирования:

Сарсенбаев Н.Б., Аласханов А.Х., Айменов А.Ж., Сарсенбаев Б.К., Айменов Ж.Т., Сауганова Г.Р., Алдияров Ж.А. Влияние добавок отходов карбонатно-бариевых хвостов на свойства композиционных вяжущих и бетонов // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2019. №2. С. 24–31. DOI: 10.34031/article_5cb1e6606f9c29.67138287

For citation:

Sarsenbayev N.B., Alaskhanov A.H., Aimenov A.Z., Sarsenbayev B.K., Aimenov Z.T., Aldiyarov Z., Sauganova G.R. Influence of additives of barium-carbonate tailing wastes on the properties of compositional binders and concretes. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2019. No. 4. Pp. 6–12. DOI: 10.34031/article_5cb1e6606f9c29.67138287

DOI: 10.34031/article_5cb1e65fe51130.63177531

¹Шорстов Р.А., ¹*Сулейманова Л.А., ¹Кара К.А.¹Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

Россия, 308012, г. Белгород, ул. Костюкова, 46

*E-mail: ludmilasuleimanova@yandex.ru

ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ МНОГОСЛОЙНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ВАРИАТРОПНОЙ СТРУКТУРЫ

Аннотация. В статье рассмотрено современное состояние рынка производства газобетона в РФ и его перспективы. Установлено, что с каждым годом объемы производства ячеистого бетона постоянно увеличиваются, в том числе и за счет строительства новых заводов, осуществляющих производство по самым передовым технологиям и с применением модернизированного технологического оборудования. Однако, имеются вопросы как в технологическом, так и в рецептурно-сырьевом плане. Поэтому разработка новых технологий получения ячеистобетонных изделий за счет усовершенствования, модернизации и разработки принципиально новых технологических приемов является весьма актуальной. Рассмотрены технологии получения многослойных ячеистобетонных конструкций с вариатропной структурой, позволяющие получать изделия с высокими эксплуатационными характеристиками, удовлетворяющие современным требованиям по энергоэффективности и долговечности. Для создания однослойной конструкции из ячеистого бетона с переменной плотностью по сечению предложен способ послойной заливки ячеистобетонной смеси в форму со съёмными перегородками по интегральному принципу от мелких на периферии к крупным в середине блока с учетом реологических характеристик ячеистобетонных смесей и времени вспучивания, которые обеспечивают возможность получения конструкции с плавным переходом конструкционно-теплоизоляционного слоя в теплоизоляционный без швов, воздушных прослоек и других возможных дефектов, возникающих при формировании трехслойных конструкций из неоднородных материалов.

Ключевые слова: газобетон, рынок производства газобетона, способы получения, вариатропная структура.

Введение. С распадом Советского Союза в России, как и в других республиках бывшего СССР, произошел общий спад в производстве газобетона. В связи с резким сокращением объемов строительства в начале 1990-х наблюдалось значительное падение спроса на строительные материалы. Новый этап в развитии газобетона связан с появлением в России в 1994–1997 гг. зарубежных технологических линий, позволяющих выпускать газобетон «нового поколения», отличающийся от прежнего точными геометрическими размерами и лучшими физико-механическими свойствами. Заводы на зарубежном оборудовании обеспечили появление на российском рынке более 0,5 млн. м³ газобетонных блоков плотностью 500...600 кг/м³. Газобетонные изделия «нового поколения» быстро нашли свое место на рынке стеновых материалов, постепенно вытесняя керамзитобетон, создавая конкуренцию керамическому и силикатному кирпичу [1].

В условиях нестабильной экономической ситуации в мире и роста цен на энергоресурсы перед строительным комплексом России стоит ряд задач по снижению энергозатрат при производстве строительных материалов и конструкций, а также при эксплуатации зданий. В связи с принятием закона ФЗ № 261 «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффек-

тивности» [2] перед стройиндустрией поставлена задача по обеспечению высокого уровня теплозащиты зданий. Поставленная задача может быть решена за счет разработки и применения долговечных и надежных ограждающих конструкций с применением материалов, имеющих высокое сопротивление теплопередаче. В связи с изменениями приоритетов в строительном комплексе и сокращением строительства крупнопанельных зданий и сооружений сформировалась тенденция по увеличению объемов монолитного и каркасно-монолитного строительства. Количество монолитных зданий возросло в 2 раза. Применение ячеистых бетонов в ограждающих конструкциях возросло в 5 раз. Это потребовало от науки и строительного комплекса решения ряда задач по разработке новых малоэнергоемких технологий производства и выпуску высокоэффективных конструкций с применением легких бетонов. Одним из таких высокоэффективных материалов является газобетон [3–13].

С каждым годом спрос на рынке малоэтажного и каркасно-монолитного строительства постоянно увеличивается. По мнению Ассоциации строителей России [14] применение изделий и конструкций из ячеистого бетона позволит существенным образом уменьшить стоимость строительства, сократить его трудоемкость и

энергоёмкость при одновременном повышении долговечности, качества и комфортности жилья, возводимого из экологически чистого материала.

Общий выпуск автоклавного газобетона в 2017 г. составил 11 590 тыс. м³, армированных изделий из автоклавного газобетона – 57 000 м³ при диапазоне плотностей 200...800 кг/м³. Наиболее массовой маркой остается D500, на долю которой приходится 67,7 % от общего выпуска. В 2018 г. годовой выпуск газобетона превысил 12,3 млн. м³.

Объем рынка штучных материалов за 15 лет вырос примерно в 2,2 раза, а объем рынка ячеистого бетона – в 11 раз (рис. 1). При этом производство газобетона в 2017 г. составило 8,5 млрд. усл. кирпича, что на 4,3 % ниже, чем в 2016 г., однако снижение темпов производства силикатного кирпича за этот же период составило 6,9 %, керамического кирпича – 6,4 %, поэтому ячеистый бетон все равно остается приоритетным стеновым материалом на строительном рынке РФ [15].

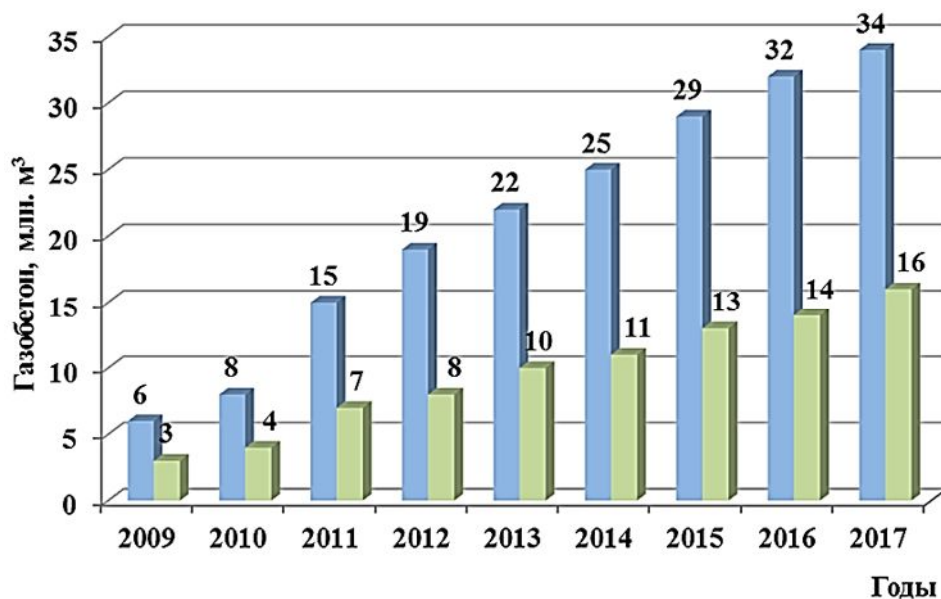


Рис. 1. Динамика объемов спроса на газобетон, млн. м³:

■ - малоэтажное строительство ■ - каркасно-монолитное строительство

В 2017 г. доля блоков из ячеистого бетона на рынке мелкоштучных стеновых материалов для каменной кладки составляет 46 %, доля керамических стеновых материалов – 36 %, силикатных – 12 %, прочих – 5 %, при этом только доля блоков из ячеистого бетона по сравнению с 2016 г. имеет положительную динамику, в то время как динамика керамических и силикатных стеновых материалов – отрицательная. Доля газобетона от общего объема строительных материалов составляет 8...10 %, в то время как в развитых европейских странах этот показатель достигает 30...40 %. Из близлежащих стран особенно активно газобетон используется в Беларуси с объемом производства более 30 000 тыс. м³ в год, где около 97 % нового малоэтажного жилья построено из газобетона, при этом еще в 2007 г. только 40 % жилья строилось с применением газобетона.

Несмотря на достаточно простую технологию производства газобетона, сегодня довольно большой дефицит на качественный материал, которым является газобетон, актуальность и ос-

новные преимущества которого, заключаются в высоком уровне теплоизоляционных и звукоизоляционных свойств, высокой паропроницаемости, прочности, морозостойкости, огнестойкости, экологичности, легкости обработки режущими инструментами и повышенной устойчивости к неблагоприятному воздействию живых организмов (плесени, ржавчине, воздействию грызунов).

Основная часть. Одним из перспективных способов повышения физико-механических характеристик строительных материалов является производство ограждающих конструкций с вариатропной структурой, получаемой в период формирования на производственных линиях, за счет различных технологических приемов (рис. 2) [16].

Создание вариатропных ячеистых структур – структур переменной плотности в рабочем сечении изделий, является научным направлением, позволяющим без повышения материалоемкости и технологических затрат,

значительно повысить эксплуатационные свойства теплоизоляционных изделий.

В современном строительстве многослойные конструкции давно нашли широкое применение, поскольку это позволило значительно снизить массу ограждающих конструкций, а также повысить их эффективность по теплозащите [17]. Однако в качестве теплоизоляционного слоя в таких системах используются пенопласт, пенополистерол, пенополиуретан и др., что приводит к повышению трудоемкости процесса. Вопросы воздухововлечения, водопогло-

щения, огнестойкости и долговечности в таких системах остаются проблематичными.

Преимуществом однослойной стены является определенность в отношении ее долговечности. При комбинации основного материала стены с эффективным утеплителем, который располагается внутри стены в виде вкладышей или слоя, такой определенности нет. Долговечность многослойной стены будет лимитироваться долговечностью утеплителя [18].

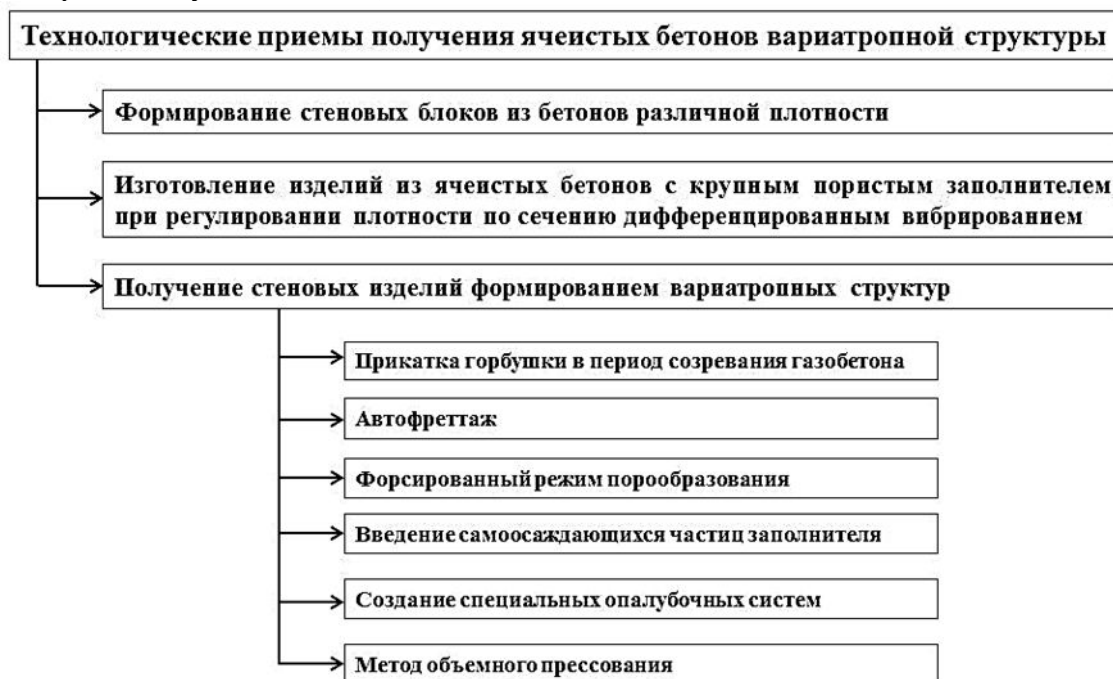


Рис. 2. Технологические приемы получения ячеистых бетонов вариатропной структуры

Равноценными по термическому сопротивлению многослойным конструкциям являются однослойные ячеистобетонные конструкции вариатропной структуры, которые принципиально отличаются от многослойных конструкций плавным изменением средней плотности материала по рабочему сечению изделия, отсутствием резкой границы между слоями и отсутствием нарушения сплошности изделия, а перераспределение средней плотности по сечению массива повышает сопротивление теплопередаче. Во избежание отслоения менее плотной части при нагружении целесообразно создание вариатропной структуры с плавным изменением плотности при коэффициенте вариатропности 0,2...0,5 [19].

Ячеистобетонные изделия с уплотненным поверхностным слоем характеризуются плавным изменением свойств материала, например, средней плотности, вдоль выбранных координатных осей. К ним относятся ограждающие конструкции (стеновые панели, плиты перекрытий) переменной плотности, у которых средняя

плотность ячеистого бетона изменяется по толщине от максимальной в поверхностных слоях до минимальной в центральных зонах, а, следовательно, и прочность, что позволяет существенно уменьшить их материалоемкость, повысить термическое сопротивление и другие эксплуатационные характеристики.

Такое строение изделий обеспечивает повышенную эффективность использования материала, поскольку наибольшие разрушающие напряжения практически при любых видах внешних нагрузок и воздействиях окружающей среды возникают в поверхностных слоях изделия и плавно убывают с глубиной [20].

Технология изготовления вариатропных изделий переменной плотности состоит из следующих технологических операций: в подготовленную форму заливают газобетонную смесь, выдерживают до вспучивания и схватывания, после чего выступающую над бортами формы "горбушку" уплотняют жестким валом, который без проскальзывания прокатывают по бортам формы, в результате чего в бетоне возникают

сжимающие напряжения, которые имеют максимальное значение под прокатывающим валом, а с глубиной резко снижаются. Среднюю плотность по глубине можно регулировать за счет изменения толщины горбушки, подвергающейся прокатке, и времени выдержки изделия перед прокаткой. Средняя плотность газобетона в поверхностном слое может достигать 1100...1300 кг/м³ и плавно убывать до необходимой (300...400 кг/м³) на расстоянии 2...5 см от прокатанной поверхности, при этом прочность при сжатии может достигать 20...25 МПа, что позволяет использовать уплотненный слой вариатропного изделия в качестве элемента, воспринимающего нормальные напряжения в сжатой зоне сечения изгибаемого изделия [20].

Нижнюю поверхность горизонтально формируемых изделий также можно уплотнять с помощью пассиваторов коррозии алюминия. В качестве пассиваторов можно использовать бихромат калия или натрия, перманганат калия, нитрит натрия и др., растворами которых обрабатывают гигроскопичный материал или щебень, укладываемый монослоем на дно формы. Пассиватор также может быть одним из компонентов смазки для форм, при этом расход пассиватора не превышает 0,12...0,15 кг/м³. После заливки газобетонной смеси пассиватор начинает диффундировать в глубь изделия и тормозить процесс газообразования, создавая на поверхности частиц алюминиевой пасты защитную оксидную пленку, препятствующую взаимодействию пудры с жидкой фазой бетона и выделению водорода, поризующего бетон. Количество проникшего в газобетонную смесь пассиватора уменьшается по мере удаления от дна формы, чем обеспечивается плавное изменение средней плотности бетона по толщине придонного слоя [20].

При создании вариатропной поровой структуры с высоким термосопротивлением установлено, что для создания слоев из газобетона различной плотности необходимо регулировать рецептурно-технологические факторы на стадии формирования поровой структуры изделия, создать специальную опалубочную систему, обеспечивающую возможность послойного формирования изделия, а также применить режимы изготовления конструкций, обеспечивающие слитную структуру и однородный по высоте бетон с вариатропной поровой структурой по толщине изделия.

Предложена трехслойная конструкция, где каждый слой выполняет свои функции: защитную, теплоизоляционную и несущую [21]. Рекомендовано использовать различные типы бето-

нов с разной средней плотностью (1000...2400 кг/м³ и 400...600 кг/м³) для создания вариатропной поровой структуры двухслойной конструкции со средней плотностью 500...1100 кг/м³, прочностью при сжатии 1,3...8,7 МПа, теплопроводностью 0,12...0,31 Вт/(м·°C) и маркой по морозостойкости F25...35. Каждый тип бетона, имея свою среднюю плотность, плавно переходит в другой тип бетона, тем самым достигается максимальная адгезионная прочность между слоями (0,65...0,84 МПа) и создается различная пористость по сечению, обеспечивая благоприятный влажностный режим и термическое сопротивление. Сцепление слоев различной плотности зависит от технологических приемов формирования и от плавности перехода бетонов в контактной зоне [22].

Также для создания вариатропной структуры используется метод объемного прессования за один технологический прием, при котором получены монолитно-слоистые изделия с плавной переходной зоной между слоями путем электропрогрева самоуплотняющихся масс в замкнутом перфорированном объеме и за счет отжима свободной воды [23].

Разработан бетон с вариатропно-каркасной структурой за счет введения пропиточной композиции и свинцовой дроби с диаметром зерен 8 мм, которая служит заполнителем. В качестве вяжущего использованы сера, наполнители – барит, ферроборовый шлак, ангидрит, кварцевый песок, сажа [24].

Для создания однослойной конструкции из ячеистого бетона с переменной плотностью по сечению предложен способ послойной заливки ячеистобетонной смеси в форму со съемными перегородками по интегральному принципу от мелких на периферии к крупным в середине блока с учетом реологических характеристик ячеистобетонных смесей и времени вспучивания, которые обеспечивают возможность получения конструкции с плавным переходом конструкционно-теплоизоляционного слоя в теплоизоляционный без швов, воздушных прослоек и других возможных дефектов, возникающих при формировании трехслойных конструкций из неоднородных материалов (рис. 3).

Выводы. Многообразие существующих технологий получения многослойных конструкций с вариатропной структурой подтверждает актуальность данной технологии получения такого типа конструкций и дает возможности для дальнейшего развития этого направления за счет разработки новых рецептурно-технологических приемов создания ячеистобетонных изделий.

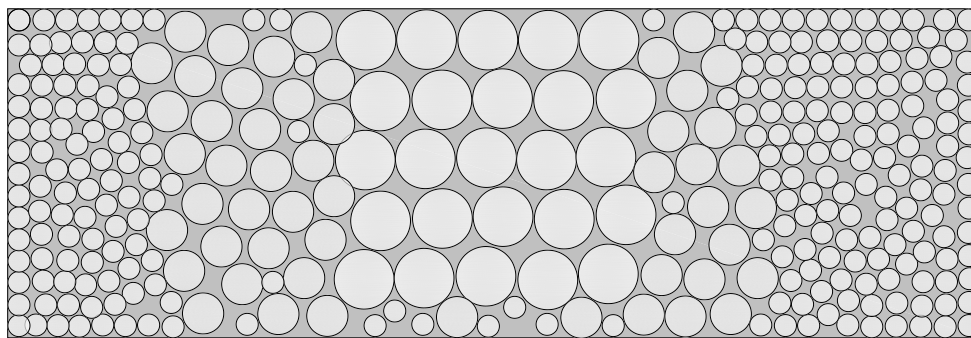


Рис. 3. Схема однослойной конструкции из ячеистого бетона с переменной плотностью по сечению

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Вишневский А.А., Гринфельд Г.И., Смирнова А.С. Производство автоклавного газобетона в России // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. 2015. № 5-6. С. 44-46.
2. Федеральный закон от 23 ноября 2009 г. № 261-ФЗ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации».
3. Крылов Б.А., Кириченко В.В. Энергоэффективная технология производства пенобетонных изделий // Технологии бетонов. 2013. №12 (89). С. 47-49.
4. Сулейманова Л.А. Высококачественные энергосберегающие и конкурентоспособные строительные материалы, изделия и конструкции // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2017. № 1. С. 9-16.
5. Сулейманова Л.А., Погорелова И.А., Сулейманов К.А. Обобщенный анализ характера поровой структуры газобетонов неавтоклавного твердения на композиционных вяжущих // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2016. № 3. С. 75-79.
6. Сулейманова Л.А. Газобетон неавтоклавного твердения на композиционных вяжущих: автореф. дис. ... д-ра техн. наук. Белгород, 2013. 39 с.
7. Сулейманова Л.А., Кара К.А., Коломацкая С.А., Сулейманов К.А. Энергоэффективные технологии газобетона для зеленого строительства // В сб.: Современные строительные материалы, технологии и конструкции: Мат-лы Междунар. науч.-практ. конф., посвященной 95-летию ФГБОУ ВПО «ГГНТУ им. акад. М.Д. Миллионщикова». Грозный, 2015. С. 142-148.
8. Сулейманова Л.А., Коломацкая С.А., Кондрашев К.Р., Шорстов Р.А. Энергоэффективные пористые композиты для зеленого строительства // В сб.: Научные технологии и инновации: Юбилейная Междунар. науч.-практ. конф., посвященная 60-летию БГТУ им. В.Г. Шухова (XXI научные чтения). 2014. С. 354-359.
9. Сулейманова Л.А., Коломацкая С.А., Кара К.А. Энергоэффективный газобетон // В сб.: Научные и инженерные проблемы строительно-технологической утилизации техногенных отходов. Белгород, 2014. С. 218-220.
10. Гридчин А.М., Лесовик В.С., Гладков Д.И., Сулейманова Л.А. Новые технологии высокопоризованных бетонов // В сб.: Поробетон - 2005 Международная научно-практическая конференция. Сборник докладов. 2005. С. 6-16.
11. Suleymanova L.A., Lesovik V.S., Kondrashev K.R., Suleymanov K.A., Lukutsova N.P. Energy efficient technologies of production and use non-autoclaved aerated concrete // International Journal of Applied Engineering Research. 2015. Т. 10. № 5. С. 12399-12406.
12. Сулейманова Л.А., Погорелова И.А., Кондрашев К.Р., Сулейманов К.А., Пириев Ю.С. Энергосберегающие газобетоны на композиционных вяжущих // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2016. № 4. С. 73-83.
13. Сулейманова Л.А., Лесовик В.С. Газобетон неавтоклавного твердения на композиционных вяжущих. Белгород, 2013. 304 с.
14. <http://www.gras-group.ru>
15. Гринфельд Г.И., Вишневский А.А., Смирнова А.С. Производство автоклавного газобетона в России в 2017 году // Строительные материалы. 2018. №3. С. 62-64.
16. Завадский В.Ф. Перспективные технологические направления производства стеновых изделий из ячеистых бетонов // Повышения качества материалов дорожного и строительного назначения. Сб. научных трудов. Омск, СибАДИ, 2001. С. 12-15.
17. Завадский В.Ф. Варианты стеновых конструкций с применением эффективных утеплителей. Новосибирск: НГАСУ, 2001. 52 с.
18. Данилов Б.П., Богданов А.Л. Ограждающие конструкции из ячеистого бетона переменной. М: Стройиздат, 1973. 102 с.
19. Чернов А.Н., Кожевникова Л.П., Хмелев С.В., Царьков В.В., Данилюк М.А., Моисеев Е.И., Степанова З.А. Технология ячеистобетонных изделий с уплотненным поверхностным

слоем // Строительные материалы. 1983. №8. С. 12–13.

20. Селаенков Е.С. Напрасно отвернулись от однослойных стен // Строительные материалы. 1999. №9. С. 38–39.

21. Булавин В.А. Газобетон для монолитных ограждающих конструкций с вариатропной поровой структурой: дис. ... канд. тех. наук. Ростов-на-Дону, 2003. 145 с.

22. Корнев Е.С. Двухслойные стеновые изделия из бетонов различной плотности: дис. ... канд. тех. наук. Новосибирск, 2009. 142 с.

23. Бегляров А.Э. Эффективные стеновые монолитно-слоистые изделия объемного прессования: дис. ... канд. тех. наук. М., 2011. 134 с.

24. Королева О.В. Структура и свойства радиационно-защитных серых бетонов вариатропно-каркасной структуры: дис. ... канд. тех. наук. Пенза, 2007. 256 с.

Информация об авторах

Шорстов Роман Александрович, аспирант. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, г. Белгород, ул. Костюкова, 46.

Сулейманова Людмила Александровна, доктор технических наук, профессор, заведующая кафедрой «Строительство и городское хозяйство». E-mail: ludmilasuleimanova@yandex.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, г. Белгород, ул. Костюкова, 46.

Кара Карина Александровна, кандидат технических наук. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, г. Белгород, ул. Костюкова, 46.

Поступила в февраль 2019 г.

© Шорстов Р.А., Сулейманова Л.А., Кара К.А., 2019

¹*Shorstov R.A., ^{1,*}Suleymanova L.A., ¹Kara K.A.*

¹*Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhova
Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46*

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

TECHNOLOGY OF OBTAINING MULTILAYER STRUCTURES VARIATIONAL STRUCTURE

Abstract. The current state of the market for the production of aerated concrete in the Russian Federation and its prospects are considered. Every year, the production of cellular concrete is constantly increasing due to the construction of new plants that produce the most advanced technologies with the use of modernized equipment. However, there are technological and prescription raw materials issues. Therefore, the development of new technologies for the production of cellular concrete products due to the improvement, modernization and development of fundamentally new technological methods is highly important. The technologies for producing multilayer cellular concrete designs with a variational structure are considered. This allows to get products with high performance that meets modern requirements for energy efficiency and durability. The method of layered pouring of a cellular concrete mixture into a form with removable partitions is proposed for creating a single-layer construction of cellular concrete with variable density over the section. The integral principle is shown from small ones at the periphery, to large ones in the middle of the block, taking into account the rheological characteristics of cellular concrete mixtures and the foaming time. They provide the possibility of obtaining a design with a smooth transition of the structural heat-insulating layer to the layer without seams, air gaps and other possible defects arising during the molding of three-layer structures from non-uniform materials.

Keywords: concrete, production of concrete, methods of preparation, variational structure.

REFERENCES

1. Vishnevsky A.A., Greenfield G.I., Smirnova A.S. Production of autoclaved aerated concrete in Russia [*Proizvodstvo avtoklavnogo gazobetona v Rossii*]. Building materials, equipment, technologies of the XXI century. 2015. No. 5-6. Pp. 44–46. (rus)

2. Federal law of 23 November 2009 № 261-FZ "On energy saving and energy efficiency and on

amendments to certain legislative acts of the Russian Federation". (rus)

3. Krylov B.A., Kirichenko V.V. Energy-efficient production technology of foam concrete products [*Energoeffektivnaya tekhnologiya proizvodstva penobetonnykh izdelij*]. Concrete technolog. 2013. No. 12 (89). Pp. 47–49. (rus)

4. Suleymanova L.A. High-quality energy-saving and competitive building materials, products and constructions [*Vysokokachestvennyye ehnergos-*

beregayushchie i konkurentosposobnye stroitel'nye materialy, izdeliya i konstrukcii]. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2017. No. 1. Pp. 9–16. (rus)

5. Suleymanova L.A., Pogorelova I.A., Suleymanov K.A. Generalized analysis of the character of the pore structure of aerated concrete of non-autoclaved hardening on composite binders [*Obobshchennyj analiz haraktera porovoj struktury gazobetonov neavtoklavnogo tverdeniya na kompozicionnyh vyazhushchih*]. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2016. No. 3. Pp. 75–79. (rus)

6. Suleymanova L.A. Aerated concrete of non-autoclaved hardening on composite binders: abstract thesis doctor of technical sciences [*Gazobeton neavtoklavnogo tverdeniya na kompozicionnyh vyazhushchih*]. Belgorod, 2013. 39 p. (rus)

7. Suleymanova L.A., Kara K.A., Kolomatskay S.A., Suleymanov K.A. Energy-efficient technologies of aerated concrete for green building [*Energoeffektivnye tekhnologii gazobetona dlya zelenogo stroitel'stva*] V sb.: *Sovremennye stroitel'nye materialy, tekhnologii i konstrukcii: Matly Mezhdunar. nauch.-prakt. konf., posvyashchennoj 95-letiyu FGBOU VPO «GGNTU im. akad. M.D. Millionshchikova»*. Grozny, 2015. Pp. 142–148. (rus)

8. Suleymanova L.A., Kolomatskay S.A., Kondrashov K.R., Shorstov R.A. Energy efficient porous composites for green building. [*Energoeffektivnye poristye kompozity dlya zelenogo stroitel'stva*]. Naukoemkie tekhnologii i innovacii: Yubilejnaya Mezhdunar. nauch.-prakt. konf., posvyashchennaya 60-letiyu BGTU im. V.G. Shukhova (XXI nauchnye chteniya). Pp. 354–359. (rus)

9. Suleymanova L.A., Kolomatskay S.A., Kara K.A. Energy-efficient concrete [*Energoeffektivnyj gazobeton*]. Nauchnye i inzhenernye problemy stroitel'no-tekhnologicheskoy utilizacii tekhnogennyh othodov. Belgorod, 2014. Pp. 218–220. (rus)

10. Gridchin A.M., Lesovik V.S., Gladkov D.I., Suleymanova L.A. Innovative technologies of highly porous concretes. [*Novye tekhnologii vysokoporizovannyh betonov*]. Porobeton-2005 Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferenciya. Sbornik dokladov. 2005. Pp. 6–16. (rus)

11. Suleymanova L.A., Lesovik V.S., Kondrashev K.R., Suleymanov K.A., Lukutsova N.P. Energy efficient technologies of production and use non-autoclaved aerated concrete. International Journal of Applied Engineering Research. 2015. Vol. 10. No. 5. Pp. 12399–12406.

12. Suleymanova L.A., Pogorelova I.A., Kondrashov K.R., Suleimanov K.A., Piriyeve Y.S. Energy-saving aerated concrete on composite binding [*Energoberegayushchie gazobetony na*

kompozicionnyh vyazhushchih]. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2016. No. 4. Pp. 73–83. (rus)

13. Suleymanova L.A., Lesovik V.S. Aerated concrete of non-autoclaved hardening on composite binders [*Gazobeton neavtoklavnogo tverdeniya na kompozicionnyh vyazhushchih*]. Belgorod, 2013. 304 p. (rus)

14. <http://www.gras-group.ru>

15. Greenfeld G.I., Vishnevsky A.A., Smirnova A.S. Production of autoclaved aerated concrete in Russia in 2017 [*Proizvodstvo avtoklavnogo gazobetona v Rossii v 2017 godu*]. Building materials. 2018. No. 3. Pp. 62–64. (rus)

16. Zavadsky V.F. Promising technological directions of production of wall products from cellular concrete. Improving the quality of materials for road and construction purposes [*Perspektivnye tekhnologicheskie napravleniya proizvodstva stenovykh izdelij iz yacheistyh betonov*]. Povysheniya kachestva materialov dorozhnogo i stroitel'nogo naznacheniya. Sb. nauchnykh trudov. 2001. Pp. 12–15. (rus)

17. Zavadsky V.F. Variants of wall structures with the use of effective insulation [*Varianty stenovykh konstrukcij s primeneniem effektivnyh uteplitelej*]. Novosibirsk: Novosibirsk State University of architecture and civil engineering, 2001. 52 p. (rus)

18. Danilov B.P., Bogdanov A.L. Enclosing structures of variable cellular concrete [*Ograzhdayushchie konstrukcii iz yacheistogo betona peremennoj*]. M: Construction publishing house, 1973. 102 p. (rus)

19. Chernov A.N., Kozhevnikova L.P., Khmelev C.V., Tsarkov V.V., Danyluk, M.A., Moiseev E.I., Stepanova Z.A. Technology of cellular concrete products with compacted surface layer [*Tekhnologiya yacheistobetonnykh izdelij s uplotnennym poverhnostnym sloem*]. Building materials. 1983. No. 8. Pp. 12–13. (rus)

20. Selaenkov E.S. Needlessly turned away from a single-layer walls [*Naprasno otvernulis' ot odnoslojnykh sten*]. Construction materials. 1999. No. 9. Pp. 38–39. (rus)

21. Bulavin V.A. Concrete for monolithic frame structures with variational pore structure [*Gazobeton dlya monolitnykh ograzhdayushchih konstrukcij s variatropnoj porovoj strukturoj*]: thesis of candidate of technical sciences. Rostov-on-Don. 2003. 145 p. (rus)

22. Kornev E.S. Two-layer wall products from concrete of different density: thesis of candidate of technical sciences [*Dvuhслоjnye stenovye izdeliya iz betonov razlichnoj plotnosti*]. Novosibirsk, 2009. 142 p. (rus)

23. Beglyarov A.E. Effective wall integrally-layered products bulk molding [*Effektivnye stenovye monolitno-sloistye izdeliya ob"emnogo*

pressovaniya]: thesis of candidate of technical sciences M., 2011. 134 p. (rus)

24. Koroleva O.V. Structure and properties of radiation-protective of sulphur concrete variation-

frame structure [*Struktura i svojstva radiacionno-zashchitnyh sernyh betonov variatropno-karkasnoj struktury*]: thesis of candidate of technical sciences. Penza, 2007. 256 p. (rus)

Information about the author

Shorstov, Roman A. Postgraduate student. Belgorod State Technological University named after V. G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Suleymanova, Lyudmila A. DSc, Professor. E-mail: ludmilasuleimanova@yandex.ru. Belgorod State Technological University named after V. G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Kara, Karina A. PhD. Belgorod State Technological University named after V. G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Received in February 2019

Для цитирования:

Шорстов Р.А., Сулейманова Л.А., Кара К.А. Технологии получения многослойных конструкций вариатропной структуры // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2019. № 4. С. 32–39. DOI: 10.34031/article_5cb1e65fe51130.63177531

For citation:

Shorstov R.A., Suleymanova L.A., Kara K.A. Technology of obtaining multilayer structures variational structure. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2019. No. 4. Pp. 32–39. DOI: 10.34031/article_5cb1e65fe51130.63177531

DOI: 10.34031/article_5cb1e65debc933.57283217

^{1,2}*Пугин К.Г.¹Пермский национальный исследовательский политехнический университет
Россия, 614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29²Пермский государственный аграрно-технологический университет
имени академика Д.Н. Прянишникова

Россия, 614990, г. Пермь, ул. Петropавловская, д. 23

*E-mail: 123zzz@rambler.ru

СТРОИТЕЛЬНАЯ СМЕСЬ С БАКТЕРИЦИДНЫМИ СВОЙСТВАМИ

Аннотация. Строительные технологии позволяют получать новые материалы, обладающие повышенными потребительскими свойствами. Одним из таких свойств является способность создавать условия, препятствующие развитию бактериальной микрофлоры на строительных конструкциях. В статье представлены распространенные методы защиты строительных материалов и конструкций от воздействия бактериальных культур. Предложено для формирования бактерицидного свойства у строительной смеси использовать шлак, образующийся при производстве ферросплавов. Представлены результаты исследования по определению бактериальных и основных физико-механических свойств предлагаемой строительной смеси. В качестве исходной смеси была использована «Штукатурка Ротгипс» выпускаемая без бактерицидных свойств. Оценка бактериальных свойств предлагаемого состава строительной смеси была проведена в соотношениях 1:1 и 5:1 (штукатурка/шлак). Исследования показали, что смесь не стимулирует рост и размножение бактериальной микрофлоры. Получена новая строительная смесь, с выраженным бактерицидным свойством. Исследования трещиностойкости и физико-механических свойств получаемой смеси разного состава показали, что соотношение штукатурки и шлака 5:1 позволяет достичь основных потребительских показателей. Прочность образцов разработанной строительной смеси при испытании на сжатие была не менее 2 МПа. Трещиностойкость была оценена по методике, разработанной в Национальном исследовательском Московском государственном строительном университете.

Ключевые слова: штукатурка, строительные материалы, бактерицид, шлак.

Введение. Качество и долговечность современных зданий и сооружений определяется не только прочностью используемых материалов, а также и интенсивностью воздействия внешних неблагоприятных факторов. Одним из таких факторов является воздействие, оказываемое бактериальными культурами поселяющиеся на поверхности строительной конструкции или внутри строительного материала. Негативное воздействие при этом может быть оказано не только на конструкцию, а также и на человека, находящегося внутри такого помещения. Бактериальные культуры, а также грибы при благоприятных условиях среды имеют возможность активно развиваться внутри и снаружи строительных конструкций. Положительная температура в интервале 10–25 градусов, повышенная влажность и отсутствие вентиляции позволяют этим культурам долгосрочно размещаться на поверхности многих строительных материалах, таких как растворы и бетоны на основе цемента, композиционные материалы, древесина, а также природный камень. Негативному воздействию бактериальных культур подвергаются не только поверхностные слои материалов, а также строительные элементы зданий и сооружений в целом, такие как, фундаменты, несущие стены, междуэтажные перекрытия и др. [1].

Бактериальные поражения могут появляться как в старых, так и в новых строительных сооружениях. Одними из распространенных видов бактерий организующие колонии на строительных растворах являются спорообразующая – *Bacillus subtilis* и неспорообразующая – *Pseudomonas fluorescens*. Для изделий из бетона, природного камня, мрамора наиболее опасными являются мицелиальные грибы и дрожжи *Aspergillus*, *Penicillium* так же, бактерии: *Pseudomonas*, *Arthrobacter*, нитрифицирующие, тионовые, цианобактерии. Микроорганизмы постоянно видоизменяются и в настоящее время изучено более 100 тыс. разновидностей бактериальных культур, однако предполагают, что их в несколько раз больше, около 250 тыс. видов [1–5].

Проведенные разными авторами исследования показывают, что микроорганизмы во время своей жизнедеятельности образуют продукты обмена веществ, которые могут создавать повышенную коррозионную активность среды. Доказано, что ряд бактериальных культур образуют кислоты, щелочи, и др. [6–8].

Ряд авторов указывают, что микроорганизмы могут оказывать и физическое воздействие на элементы строительных конструкций. Сообщества микроорганизмов, поселившись в тре-

щинах строительных конструкций, приобретая со временем большую биомассу, дополнительно могут оказывать и расклинивающее воздействие. Это способствует отслаиванию и шелушению отделочных материалов, а также механическому повреждению конструкций.

В этой связи вопросы по защите строительных конструкций и материалов от негативного воздействия бактериальной микрофлоры являются актуальными.

В настоящее время существует несколько методов борьбы с микроорганизмами, поселяющимися на поверхности строительных конструкций, которые по воздействию условно можно разделить на три группы: биологические, физические и химические методы.

Методы биологические предполагают антагонизм (создание среды, подавляющей рост микроорганизмов другими микроорганизмами) или конкуренцию микроорганизмов.

К основным физическим методам можно отнести: применение различных излучений, к примеру, ультрафиолетового, ультразвукового, лазерного и др. Особенностью методики является кратковременность воздействия на поверхность строительных конструкций и необходимость периодического повторения. [9, 10].

Химические методы основаны на создании среды на поверхности строительной конструкции или в самом строительном материале, которая угнетает жизненные способности микроорганизмов или создает среду не пригодной для их проживания. Такое воздействие обеспечивается за счет использования химических соединений. По своему воздействию на микроорганизмы они подразделяются на биоциды и биостатики [11–13]. Для химического метода используют большое количество химических соединений, в том числе неорганические соединения металлов; органические соединения на основе хлора, фенола, органических кислот; комплексные соединения различных металлов; гидроксид кальция (известь).

Химический метод защиты строительных конструкций от биоповреждений является наиболее предпочтительным так как обеспечивает длительное время защитного действия, возможность распределение по всей поверхности конструкции и материала, стоимость, технологичность (возможность применения для большинства строительных материалов) [14, 15].

Недостатками таких бактерицидных материалов являются: высокая стоимость, разложение под действием внешних факторов и взаимодействия с компонентами строительного материала, с образованием загрязняющих и опасных соединений способных мигрировать в окружа-

ющую среду. Большинство используемых компонентов, входящих в состав биоцидов применяемых в строительстве являются токсичными соединениями со сложной технологией их получения. В этой связи поиск альтернативных материалов способных создавать условия подавления развития бактериальной микрофлоры, устойчивых к воздействию окружающей среды и имеющих низкую стоимость является актуальным. Особенно это относится к штукатурным смесям, которые используются внутри помещения. Они должны обладать бактерицидными свойствами, но при этом не формировать опасный для человека микроклимат.

Проведенные аналитические исследования химических средств защиты позволили установить, что вместо товарных бактерицидов, возможно, использовать мелкодисперсные промышленные отходы, содержащие в своем составе такие активные элементы как оксид кальция, который при реакции с водой обладает бактерицидными свойствами. Разработкой технологий по использованию отходов различных производств в качестве сырья для получения строительных материалов в настоящее время ведется многими исследователями. Научные публикации в ведущих изданиях показывают, что при этом достигается не только экономическая выгода, а также достигаются экологические эффекты в виде утилизации отходов промышленного производства и снижения негативной техногенной нагрузки на объекты окружающей среды. Технологическое развитие промышленных производств в настоящее время достигло такого уровня, что техногенные отходы воспринимаются как качественное сырье, на основе которого можно получать строительные материалы, удовлетворяющие нормативным требованиям [16–18].

Методы и материалы. В качестве объекта исследования был выбран шлака, образующегося при производстве феррованадия на одном из металлургических предприятий расположенным на территории Пермского края. Конечный шлак, образующийся при производстве феррованадия алюмоносиликотермическим способом, представляет собой мелкодисперсный порошок с общим содержанием оксидов кальция и магния более 60 %. Магний и марганец наравне с оксидом кальция так же формируют среду угнетающую развитие микроорганизмов. Химический состав шлака представлен в основной своей части оксидами кальция до 53 %, кремния до 32 %, магния до 9 %, алюминия до 5%. В состав входят так же оксиды ванадия, фосфор и сера в различных соединениях общим составом до 0,3 % [19].

Эколого-токсикологическая экспертиза свойств шлака, проведенная в лаборатории, показала, что шлак относится к четвертому классу опасности для окружающей среды и обладает характеристиками, позволяющими рассматривать шлак в качестве сырья для производства строительных материалов [19, 20].

В качестве исследуемых образцов использовались образцы, полученные из строительной смеси «Штукатурка Ротгипс», выпускаемой по ТУ 5745-003-48420415-2015, и шлака в соотношении 1:1 и 5:1 по массе. Перед приготовлением исследуемых образцов из шлака была удалена фракция крупнее 0,5 мм. Смешивание штукатурки и шлака произведено в гравитационном смесителе. Исследования физико-механических свойств получаемой смеси проводили согласно ГОСТ 31377-2008. Для подтверждения бактерицидных свойств исследуемых образцов штукатурного раствора с добавлением шлака была использована методика, представленная в МУ 2.1.674-97.

Основная часть.

Для оценки бактериальных свойств образцов строительной смеси, в составе которой был использован шлак производства феррованадия, были использованы по 12 образцов штукатурки

с содержанием шлака 1:1, 5:1. Согласно МУ 2.1.674-97 была подготовлена бактериальная взвесь *Escherichia coli*. Подготовили несколько десятикратных разведений от 1:10 до 1:10000 и произвели посев в чашках Петри со средой Эндо. Выдержку образцов проводили, согласно методики в течении 24 часов при температуре 37 °С.

В ходе проведения эксперимента было установлено, что образцы строительной смеси, в составе которой был использован шлак производства феррованадия, подавляют размножение и рост микрофлоры. Согласно методики материал признается бактерицидным, если на его поверхности не обнаруживается кишечная палочка после посева.

Для изучения физико-механических свойств предлагаемой штукатурной смеси были подготовлены два состава. Состав 1 содержал пять весовых частей исходной штукатурной смеси и одну часть шлака. Состав 2 содержал пять весовых частей исходной штукатурной смеси и пять частей шлака. Полученные значения показателей основных физико-механических свойств гипсовой штукатурки с наполнителем из шлака представлены в табл. 1.

Таблица 1

Физико-механические свойства гипсовой штукатурки с добавлением шлака

Параметр	Ед. измерения	Состав 1	Состав 2
Содержание зерен 1,250 мм	% масс.	0,5	0,35
Содержание зерен 0,200 мм	% масс.	9,7	7,3
Содержание зерен 0,125 мм	% масс.	11,8	12,7
Влажность сухой смеси	% масс.	0,2	0,2
Время начала схватывания	мин	105,0	80,0
Прочность при сжатии	МПа	2,0	1,6

Проведенные исследования физико-механических свойств получаемой штукатурной смеси разного состава показали, что соотношение исходной штукатурной смеси и шлака пять к одному позволяют достичь основных показателей согласно ГОСТ 31377-2008. При большем содержании шлака в составе штукатурной смеси ее прочность снижается меньше требований ГОСТ. В этой связи рекомендовано использовать шлак в качестве бактерицидной добавки в гипсовую штукатурную смесь не более 18 % по массе. При таком использовании шлака обеспечиваются прочностные и бактерицидные свойства штукатурной смеси.

Трещиностойкость полученной смеси была оценена по методике, разработанной в Национальном исследовательском *Московском госу-*

дарственном строительном университете. Сущность метода состоит в визуальном контроле трещинообразования гипсовой штукатурки, нанесенной толщиной 5 мм и 10 мм на негрунтованный газосиликатный блок, через 24 часа после ее твердения.

Для оценки трещиностойкости приготовленный раствор (состав 1) был нанесен на сухой и очищенный от пыли газосиликатный блок двумя равными полосами шириной и длиной 150 мм и толщиной 5 мм и 10 мм. После выдержки 24 часа была произведена визуальную оценку поверхности образцов рисунок 1. Исследуемая смесь набрала 3 балла, что согласно методике соответствует средней стойкости к образованию трещин.

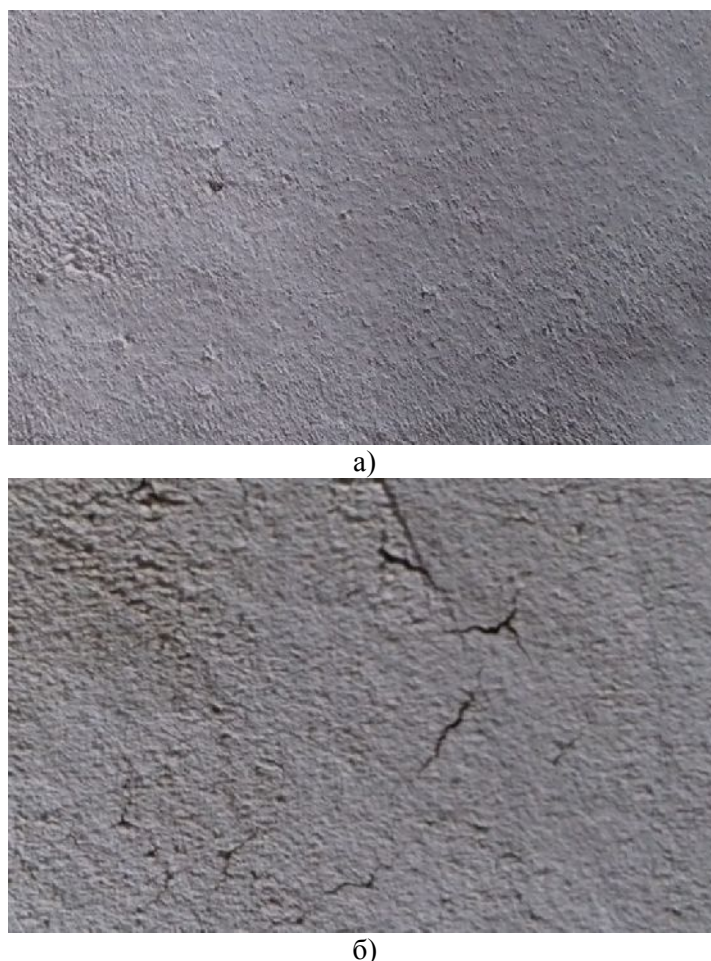


Рис. 1. Оценка трещиностойкости гипсовой штукатурки с наполнителем из шлака производства феррованадия (5:1). а) толщина слоя 5 мм, б) толщина слоя 10 мм

В настоящее время шлак не находит крупнотоннажного использования и складывается в шлакоотвал. Накоплено примерно более 1,8 млн. тонн. Такой объем шлака позволяет его рассматривать как полноценное техногенное сырье, с возможностью организации технологической линии по выпуску строительных материалов, имеющих бактерицидные свойства.

Выводы. Проведенные исследования бактерицидных свойств предложенной строительной смеси, в состав которой добавлен шлак, образующийся при производстве феррованадия в количестве 18 % показали, что предложенная смесь не стимулирует рост и размножение бактериальной микрофлоры. Исследования физико-механических свойств, полученных образцов штукатурной смеси, показали, что добавка шлака в пределах 18 % по массе позволяет достичь нормативных показателей предъявляемые к штукатурным смесям. Шлак можно рекомендовать в качестве материала, формирующего у строительных смесей бактерицидное свойство. Разработанная технология обладает высокой рентабельностью и низкими экономическими затратами. Дополнительно необходимо отметить, что использование отходов производства

феррованадия позволяет снизить техногенную нагрузку на объекты окружающей среды и вовлечь в ресурсный цикл производства строительных материалов ресурсный потенциал отходов металлургического производства.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Матозимов Б.С. Основные проблемы архитектурно-строительной физики в сейсмостойком строительстве // Вестник КГУСТА. 2012. № 3. С. 71–76.
2. Sanne Johansson, Lars Wadsö, Kenneth Sandin Estimation of mould growth levels on rendered façades based on surface relative humidity and surface temperature measurements // Building and Environment. 2010. Vol. 45, Iss. 5. Pp. 1153–1160.
<https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2009.10.022>
3. Dales R.E., Miller D., White J. Testing the association between residential fungus and health using ergosterol measures and cough recordings // Mycopathologia. 1999. Vol. 147 P. 21–27.
4. Загинайлова М.Н. Экономический ущерб от биоповреждений строительных бетонов // Экономика. Общество. Человек Межвузовский сборник научных статей. 2015. С. 170–172.

5. Pekhtasheva E.I., Neverov A.N., Kubica S., Zaikov G. Material Biodamages Classification, Evaluation and Protection Methods // Journal of Characterization and Development of Novel Materials. Nova Science Publishers Inc. 2014. Vol. 6. No. 3. Pp. 147–170.
6. Zarzuela Rafael, Moreno-Garrido Ignacio, Blasco Julian, Gil M.L. Almoraima, Mosquera María J. Evaluation of the effectiveness of CuONPs/SiO₂-based treatments for building stones against the growth of phototrophic microorganisms // Construction and Building Materials. 2018. Vol. 187. Pp. 501–509.
7. Svirinovsky Asya, Perelshtein Ilana, Natan Michal, Banin Ehud, Gedanken Aharon. Imparting superhydrophobic and biocidal functionalities to a polymeric substrate by the sonochemical method // Ultrasonics Sonochemistry. 2018. Vol. 44. Pp. 398–403.
8. Clarke J.A., Johnstone C.M., Kelly N.J., McLean R.C. A technique for the prediction of the conditions leading to mould growth in buildings // Building and Environment. 1999. Vol. 34. Iss. 4. Pp. 515–521.
9. Wangler T.P., Zuleeg S., Vonbank R., Bester K., Burkhardt M. Laboratory scale studies of biocide leaching from façade coatings // Building and Environment. 2012. Vol. 54. Pp. 168–173 <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2012.02.021>
10. Огарков Б.Н., Буковская Н.Е., Огаркова Г.Р., Самусенок Л.В. Экологические и микробиологические исследования биоповрежденных гражданских объектов и памятников архитектуры // Baikal Research Journal. 2010. № 4. С. 334–338.
11. Старцев С.А. Проблемы обследования строительных конструкций, имеющих признаки биоповреждения // Инженерно-строительный журнал. 2010. № 7. С. 41–46.
12. Гусев Б.В., Ерофеев В.Т., Хуторской С.В., Петряков Д.Н. Исследования биологического сопротивления известковых композитов с помощью методов математического планирования эксперимента // Промышленное и гражданское строительство. 2014. № 12. С. 41–44.
13. Пехташева Е.Л., Неверов А.Н., Заиков Г.Е., Шевцова С.А., Темникова Н.Е. Способы защиты материалов от биоповреждений // Вестник Казанского технологического университета. 2012. Т. 15. № 8. С. 167–172.
14. Erofeev V., Kalashnikov V., Karpushin S., Rodin A., Smirnov V., Smirnova O., Moroz M., Rimshin V., Tretiakov I., Matvievskiy A. Physical and mechanical properties of the cement stone based on biocidal Portland cement with active mineral additive // Solid State Phenomena. 2016. Vol. 871. Pp. 28–32.
15. Ерофеев В.Т., Калашников В.И., Смирнов В.Ф., Карпушин С.Н., Родин А.И., Красноглазов А.М., Челмакин А.Ю. Стойкость цементных композитов на биоцидном портландцементе с активной минеральной добавкой в условиях воздействия модельной среды бактерий // Промышленное и гражданское строительство. 2016. № 1. С. 11–17.
16. Лесовик В.С., Загороднюк Л.Х., Чулкова И.Л., Толстой А.Д., Володченко А.А. Сродство структур как теоретическая основа проектирования композитов будущего // Строительные материалы. 2015. № 9. С. 18–22.
17. Толстой А.Д., Лесовик В.С., Ковалева И.А. Композитные вяжущие для порошковых бетонов с промышленными отходами // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2016. № 1. С. 6–9.
18. Толстой А.Д., Лесовик В.С., Новиков К.Ю. Высокопрочные бетоны на композиционных вяжущих с применением техногенного сырья // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2017. № 2. С. 174.
19. Пугин К.Г., Вайсман Я.И., Рудакова Л.В., Фукалова Н.И. Бактерицидный материал. Пат. 2538711 РФ. МПК A61L 2/16 A61K 35/00 C04B 2/02 C04B 5/00 C02F 1/00. /Опубл. 10.01.2015. Бюл. № 1. 5 с.
20. Пугин К.Г. Научные основы минимизации негативных воздействий на геосферу при использовании отходов производства в строительстве: дис. ... доктора техн. наук: 25.00.36. Пермь, 2016. 261 с.

Поступила в январе 2019 г.

© Пугин К.Г., 2019

Информация об авторах

Пугин Константин Георгиевич, доктор технических наук, профессор кафедры автомобиля и технологические машины. E-mail: 123zzz@rambler.ru. Пермский национальный исследовательский политехнический университет. Россия, 614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29; профессор кафедры технического сервиса и ремонта машин. Пермский государственный аграрно-технологический университет имени академика Д.Н. Прянишникова. Россия, 614990, г. Пермь, ул. Петропавловская, д. 23.

^{1,2}*Pugin K.G.¹Perm National Research Polytechnic University
Russia, 614990, Perm, Komsomolsky prospect, 29;²Perm State Agro-Technological University named after Academician D.N. Pryanishnikov
Russia, 614990, Perm, Petropavlovskaya, 23

*E-mail: 123zzz@rambler.ru

BUILDING MIXTURE WITH BACTERICIDAL PROPERTIES

Abstract. Building technologies allow obtaining new materials with enhanced consumer properties. The ability to create conditions that prevent the development of bacterial microflora on building structures is one of such properties. The article presents common methods of protecting building materials and structures from the effects of bacterial cultures. Slag of ferroalloys production is proposed for the formation of bactericidal properties of the building mixture. The results of the study to determine the bacterial and basic physico-mechanical properties of the proposed mortar are presented. The Plaster of Rotgips produced without bactericidal properties is used as the initial mixture. Evaluation of bacterial properties is carried out in ratios of 1: 1 and 5: 1 (plaster / slag). Studies show that the mixture does not stimulate growth and reproduction of bacterial microflora. A new mortar with a bactericidal property is obtained. Studies of crack resistance, physical and mechanical properties of the mixture with different composition present that the ratio of plaster and slag of 5: 1 allow achieving the main consumer indicators. The strength of the developed mortar during the compression test is not less than 2 MPa. The crack resistance is evaluated according to the method developed at the National Research Moscow State University of Civil Engineering.

Keywords: plaster, building materials, bactericide, slag.

REFERENCES

1. Matozimov B.S. The main problems of architectural and construction physics in earthquake-proof construction [*Osnovnye problemy arhitekturno-stroitel'noj fiziki v sejsmostojkom stroitel'stve*]. Vestnik KSUTA. 2012. No. 3. Pp. 71–76. (rus)
2. Sanne Johansson, Lars Wadsö, Kenneth Sandin Estimation of mould growth levels on rendered façades based on surface relative humidity and surface temperature measurements. Building and Environment. 2010. Vol. 45, Iss. 5. Pp. 1153–1160.
<https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2009.10.022>
3. Dales R.E., Miller D., White J. Testing the association between residential fungus and health using ergosterol measures and cough recordings. Mycopathologia. 1999. Vol. 147. Pp. 21–27.
4. Zaginaylova M.N. Economic damage from biodeterioration of concrete concretes [*Ekonomicheskij ushcherb ot biopovrezhdenij stroitel'nyh betonov*]. Economy. Society. Man Interuniversity collection of scientific articles, 2015, pp. 170–172. (rus)
5. Pekhtasheva E.I., Neverov A.N., Kubica S., Zaikov G. Material Biodamages Classification, Evaluation and Protection Methods. Journal of Characterization and Development of Novel Materials, Nova Science Publishers Inc. 2014. Vol. 6. No. 3. Pp. 147–170.
6. Zarzuela Rafael, Moreno-Garrido Ignacio, Blasco Julian, Almoraima Gil M.L., Mosquera María J. Evaluation of the effectiveness of CuONPs/SiO₂-based treatments for building stones against the growth of phototrophic microorganisms. 2018. Vol. 187. Pp. 501–509
7. Svirinovsky Asya, Perelshtein Ilana, Natan Michal, Banin Ehud, Aharon Gedanken Imparting superhydrophobic and biocidal functionalities to a polymeric substrate by the sonochemical method. Ultrasonics Sonochemistry. 2018. Vol. 44. Pp. 398–403.
8. Clarke J.A., Johnstone C.M., Kelly N.J., McLean R.C. A technique for the prediction of the conditions leading to mould growth in buildings. Building and Environment. 1999. Vol. 34. Iss. 4. Pp. 515–521.
9. Wangler T.P., Zuleeg S., Vonbank R., Bester K., Burkhardt M. Laboratory scale studies of biocide leaching from façade coatings. Building and Environment. 2012. Vol. 54. Pp. 168–173
<https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2012.02.021>
10. Ogarkov B.N., Bukovskaya N.E., Ogarkova G.R., Samusenok L.V. Ecological and microbiological studies of biological damage to civilian objects and architectural monuments [*Ekologicheskie i mikrobiologicheskie issledovaniya biopovrezhdeniy grazhdanskikh ob"ektov i pamyatnikov arhitektury*]. Baikal Research Journal. 2010. No. 4. Pp. 334–338. (rus)
11. Startsev S.A. Problems of inspection of building structures with signs of biodeterioration [*Problemy obsledovaniya stroitel'nyh konstrukcij, imeyushchih priznaki biopovrezhdeniya*]. Engineering and Construction Journal. 2010. No. 7. Pp. 41–46. (rus)

12. Gusev B.V., Erofeev V.T., Khutorskoy S.V., Petryakov D.N. Studies of biological resistance of lime composites using the methods of mathematical planning of an experiment [*Issledovaniya biologicheskogo soprotivleniya izvestkovykh kompozitov s pomoshch'yu metodov matematicheskogo planirovaniya eksperimenta*]. Industrial and Civil Engineering. 2014. No. 12. Pp. 41–44. (rus)
13. Pehtasheva EL, Neverov A.N., Zaikov G.E., Shevtsova S.A., Temnikova N.E. Ways to protect materials from bio-damage [*Sposoby zashchity materialov ot biopovrezhdenij*]. Bulletin of Kazan Technological University. 2012. Vol. 15. No. 8. Pp. 167–172. (rus)
14. Erofeev V., Kalashnikov V., Karpushin S., Rodin A., Smirnov V., Smirnova O., Moroz M., Rimshin V., Tretiakov I., Matvievskiy A. Physical and mechanical properties of the cement stone based on biocidal Portland cement with active mineral additive. Solid State Phenomena. 2016. Vol. 871. Pp. 28–32.
15. Erofeev V.T., Kalashnikov V.I., Smirnov V.F., Karpushin S.N., Rodin A.I., Krasnoglazov A.M., Chelmakin A.Yu. Resistance of cement composites on biocidal Portland cement with active mineral additive under the influence of the model environment of bacteria [*Stojkost' cementnykh kompozitov na biocidnom portlandcemente s aktivnoj mineral'noj dobavkoj v usloviyah vozdeystviya model'noj sredy bakterij*]. Industrial and Civil Engineering. 2016. No. 1. Pp. 11–17. (rus)
16. Lesovik V.S., Zagorodnyuk L.Kh., Chulkova I.L., Tolstoy A.D., Volodchenko A.A. Affinity of structures as a theoretical basis for designing composites of the future [*Srodstvo struktur kak teoreticheskaya osnova proektirovaniya kompozitov budushchego*]. Stroitel'nye Materialy [Construction Materials]. 2015. No. 9. Pp. 18–22. (rus)
17. Tolstoy A.D., Lesovik V.S., Kovaleva I.A. Composite binders for powder concretes with industrial waste [*Kompozitnye vyazhushchie dlya poroshkovykh betonov s promyshlennymi othodami*]. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2016. No. 1. Pp. 6–9. (rus)
18. Tolstoy A.D., Lesovik V.S., Novikov K.Yu. High-strength concretes on composite binders using technogenic raw materials [*Vysokopropornye betony na kompozicionnykh vyazhushchih s primeneniem tekhnogennogo syr'ya*]. Izvestiya Vuzov. Investments. Building. The property. 2017. No. 2. Pp. 174. (rus)
19. Pugin K.G., Vaisman Ya.I., Rudakova L.V., Fukalova N.I. Bactericidal material. Patent RF no. 2538711. (rus).
20. Pugin K.G. Scientific basis for minimizing the negative impacts on the geosphere when using industrial waste in construction [*Nauchnye osnovy minimizatsii negativnykh vozdeystvij na geosferu pri ispol'zovanii othodov proizvodstva v stroitel'stve*]: dis. ... doctor tech. Sciences: 25.00.36. Perm, 2016. 261 p. (rus)

Information about the authors

Pugin, Konstantin G. DSc, Professor. E-mail: 123zzz@rambler.ru. Perm National Research Polytechnic University. Russia, 614990, Perm, Komsomolsky prospect, 29. Perm State Agro-Technological University named after Academician D.N. Pryanishnikov. Russia, 614990, Perm, Petropavlovskaya, 23.

*Received in January 2019***Для цитирования:**

Пугин К.Г. Строительная смесь с бактерицидными свойствами // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2019. №4. С. 40–46. DOI: 10.34031/article_5cb1e65debc933.57283217

For citation:

Pugin K.G. Building mixture with bactericidal properties. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2019. No. 4. Pp. 40–46. DOI: 10.34031/article_5cb1e65debc933.57283217

DOI: 10.34031/article_5cb1e65f6791b0.52319300

^{1,*}Кочерженко А.В.¹Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46

*E-mail: Ksinon3@yandex.ru

ПОЛУЧЕНИЕ НАПОЛНЕННОГО ПЕНОПОЛИУРЕТАНА С УЛУЧШЕННЫМИ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫМИ СВОЙСТВАМИ

Аннотация. Одним из наиболее важных достоинств пенополиуретанов является способность одностадийного получения изделий. Вспенивание и отверждение данного утеплителя не требует подвода тепла в силу экзотермической реакции синтеза, протекающей при смешении двух и более жидких компонентов, с одновременным сцеплением пенополиуретана к различным поверхностям в связи с хорошей адгезией практически к любым материалам. При этом, обладая малой плотностью, данный пенополимер способен выдерживать достаточно большие нагрузки. При тщательном подборе гранулометрического и химического составов, сырьевых компонентов можно получать теплоизоляционный материал с улучшенными эксплуатационными свойствами. В данной работе производится краткий обзор вспенивания и формообразования пенополиуретана, исследуется структура разработанного композитного утеплителя, а также устанавливается зависимость коэффициента вспенивания пенополиуретана от гранулометрического состава наполнителей, в том числе и техногенного (отходы горнорудной промышленности Стойленского ГОКа). Результаты проведенных исследований показывают, что в процессе образования наполненных пенополиуретанов химических реакций между компонентами пенополиуретана и элементами наполнителей не происходит, то есть процесс вспенивания зависит в основном от гранулометрии наполнителя и его процентного содержания в общей массе пенополиуретана.

Ключевые слова: пенополиуретан, наполнитель, физико-механические свойства, отходы горнорудной промышленности, гранулометрический состав, коэффициент вспенивания.

Введение. Пенополиуретаны являются одними из лучших теплоизоляционных материалов благодаря своей ячеистой структуре. В связи с низким коэффициентом диффузии, исходная теплопроводность не меняется длительный период времени [1–5].

Образование пенополиуретанов происходит в результате полиприсоединения, основанного на взаимодействии изоцианатов, имеющих более одной реакционных групп ($-N=C=O$), с полиолами, содержащими не менее двух активных функциональных гидроксильных групп в молекуле [6–11].

Методология. В процессе вспенивания и отверждения полимера происходит образование пузырьков газа в полимеризующейся жидкости, их рост и стабилизация. Поэтому, несмотря на различие пен коллоидных систем газ-жидкость с пенами полиуретана, явления, происходящие в подвижной системе, вполне поддаются законам коллоидной химии [12, 13].

Так, например, образовавшиеся в уретановой пеносистеме пузырьки ведут себя подобно пузырькам в системе «вода-мыло». При этом очевидно, что в связи с быстрым нарастанием вязкости и эластичности полимерной фазы, такую аналогию нельзя провести в отношении длительности существования пузырька в пене [14].

Таким образом, формирование ячеек происходит следующим образом. Только что образовавшийся пузырек газа, окруженный достаточно толстым слоем жидкости, имеет сферическую форму. Но по мере того, как образуются новые пузырьки, газ может диффундировать в соседний пузырек, тем самым увеличив его в размере. Постепенно объем пены растет за счет увеличения количества пузырьков и их размеров, а слой жидкости становится все тоньше. И как следствие меняется форма пузырьков из шаровидной в ограниченную несколькими плоскостями (пленками полимера), т.е. в полиэдрическую [14–17].

На рис. 1. представлена закономерность образования полиуретановой пены, отражающая общую тенденцию образования полимерных пен, ее можно рассматривать как классическую диаграмму, характеризующую соотношение между концентрацией газа в системе, образованием газовых пузырьков и ростом ячеек пены [17].

Согласно рис. 1, на первом этапе (зона I) происходит быстрое выделение газа за счет реакции между полиизоцианатом и водой или за счет повышения упругости пара низкокипящего растворителя при повышении температуры в системе. По достижении критического насыщения реакционной массы газом (зона I) происходит самозарождение пузырьков с одновремен-

ным быстрым образованием пены. Интервал времени зоны I примерно соответствует времени активации полиуретановой пены и составляет около 10...15 с.

Самообразование пузырьков пены происходит до тех пор (зона II), пока концентрация газа в системе превышает равновесную концентрацию насыщения. Интервал времени, соответствующий зоне II (рис. 1), может быть меньше

требуемого для достижения максимального объема пены, и для большинства систем составляет не более 2 мин. После прекращения выделения газа (зона III) устанавливается равновесная концентрация насыщения системы газом. Начиная с этого момента, пузырьки могут расти только за счет диффузии газа, из меньших в большие, за счет слипания пузырьков и расширения газа при возрастании температуры.

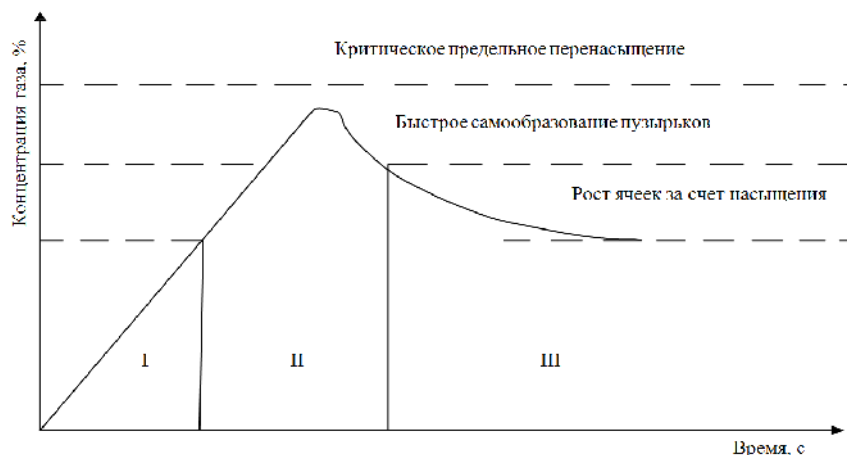


Рис. 1. Зависимость концентрации газа от времени в процессе

Интервал времени зоны III можно приближенно ограничить окончанием подъема пены, когда пузырьки газа теряют свободу перемещения, превращаясь преимущественно в полиэдрические ячейки, разграниченные тонкими пленками отверждающегося полимера [14, 17].

Элементарная ячейка пенополиуретана представлена на рис. 2. По правилам Плато,

наиболее вероятной формой газоструктурных элементов являются двенадцатигранные пентогональные додекаэдры. В каждом ребре такого многогранника сходятся три пленки, углы между которыми равны 120° . Ребра многогранника характеризуются утолщениями (каналы Плато-Гиббса), их форма в поперечном сечении – сферический треугольник [16].

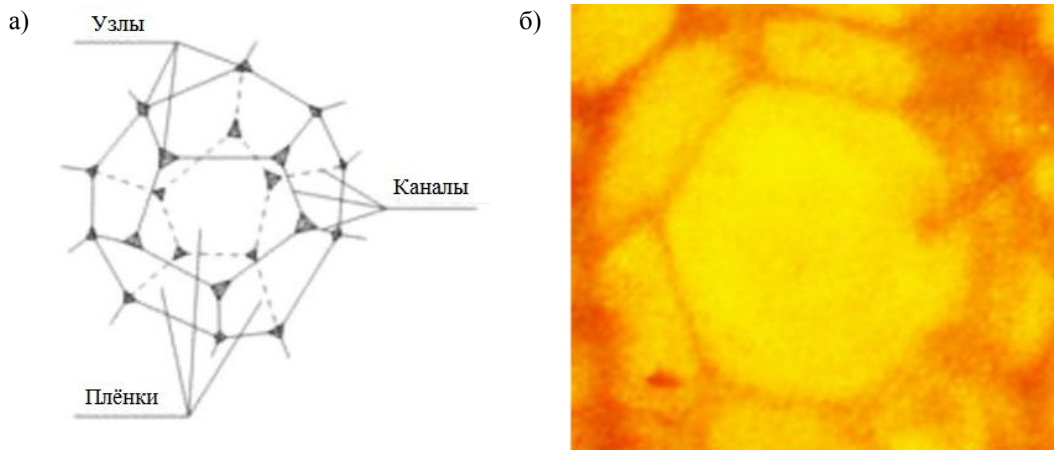


Рис. 2. Элементарная ячейка пенополиуретана:

а) схема; б) микрофотография (увеличение $\times 300$)

Для дальнейшего исследования были выбраны наиболее распространенные в Белгородской области и экономически целесообразные природные материалы – глина, суглинок, супесь, песок и мел, а также техногенный материал из хвостохранилищ Стойленского ГОКа. Химические составы использованных материалов представлены в табл. 1.

Материалы измельчались до размера 0,25 мм. Хвосты, песок и супесь предварительно не измельчались т.к. их исходный гранулометрический состав близок к требуемой фракции (0,25 мм). Использовались компоненты пенополиуретанов А (полиизоцианат) и В (полиол) марки 40 (соответствует плотности конечного продукта 40 кг/м³). Смешивание компонентов

проводилось в равных долях (пропорция 1 : 1 : 1). Вспенивание компонентов в лабораторных условиях производилось воздушно-механическим способом, который предусматривал интенсивное перемешивание составов с по-

мощью электролебедки с насадкой в виде пропеллера при оборотах от 600 до 1000 об/мин

Зависимость кратности вспенивания от вида использованного наполнителя представлена на рис. 3.

Таблица 1

Химический состав использованных в качестве наполнителя природных материалов

Химический состав, %	Вид наполнителя				
	Хвосты	Песок	Супесь	Суглинок	Глина
SiO ₂	70,6	93,6	72,6	62,5	56,7
Al ₂ O ₃	1,7	1,3	14,3	15,3	12,9
Fe ₂ O ₃	13,3	0,5	3,6	4,7	6,2
MgO	3,2	0,3	2,6	3,2	3,7
CaO	3,5	0,4	2,0	8,3	7,6
Прочие	7,7	3,9	4,9	6,0	12,9

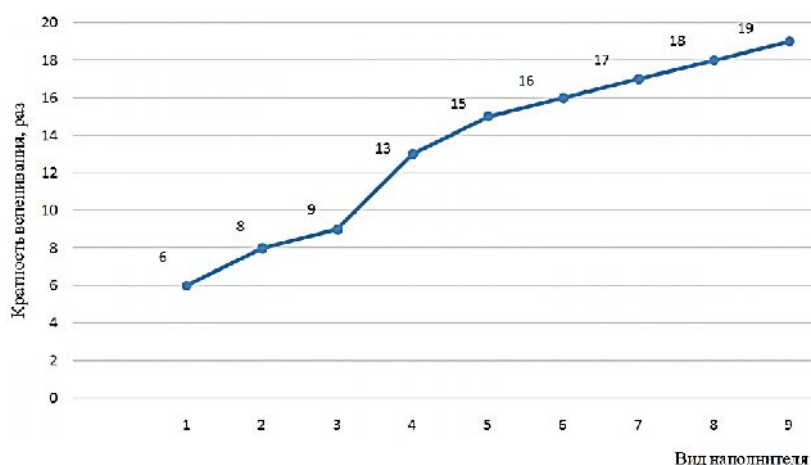


Рис. 3. Зависимость кратности вспенивания от вида использованного наполнителя: 1 – для мела; 2 – для графита; 3 – для цемента; 4 – для супеси; 5 – для суглинка; 6 – для глины; 7 – для песка; 8 – для хвостов; 9 – для чистого пенополиуретана

Кратность вспенивания – это отношение суммарного объема всех компонентов перед

началом вспенивания к объему материала, полученного после завершения реакции.

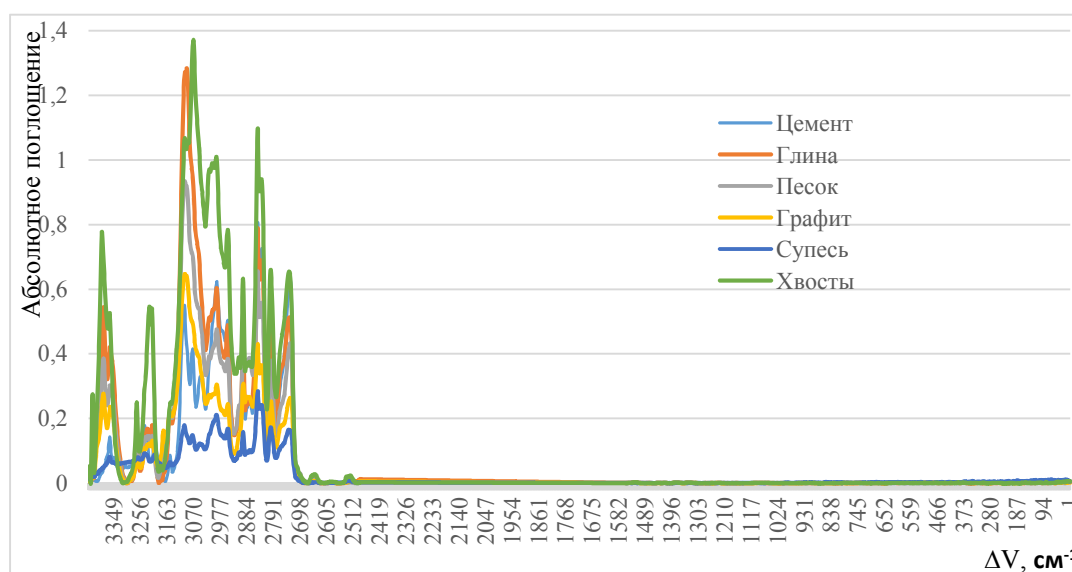


Рис. 4. Спектрограмма образцов пенополиуретана с различными наполнителями

После проведенных опытов полученные образцы были исследованы с помощью спектрографа VertexX-70. Исследование показало, что в

процессе образования наполненных пенополиуретанов химических реакций между компонентами пенополиуретана и элементами наполните-

лей не происходит. То есть процесс вспенивания зависит в основном от гранулометрического состава наполнителя и процента его содержания в общей массе пенополиуретана (рис. 4).

Как показали исследование, проведенные с применением микроскопа TESCANMIRAS, частицы наполнителя распределяются в полимерной матрице, располагаясь в узлах и каналах Плато-Гиббса (см. рис. 5).

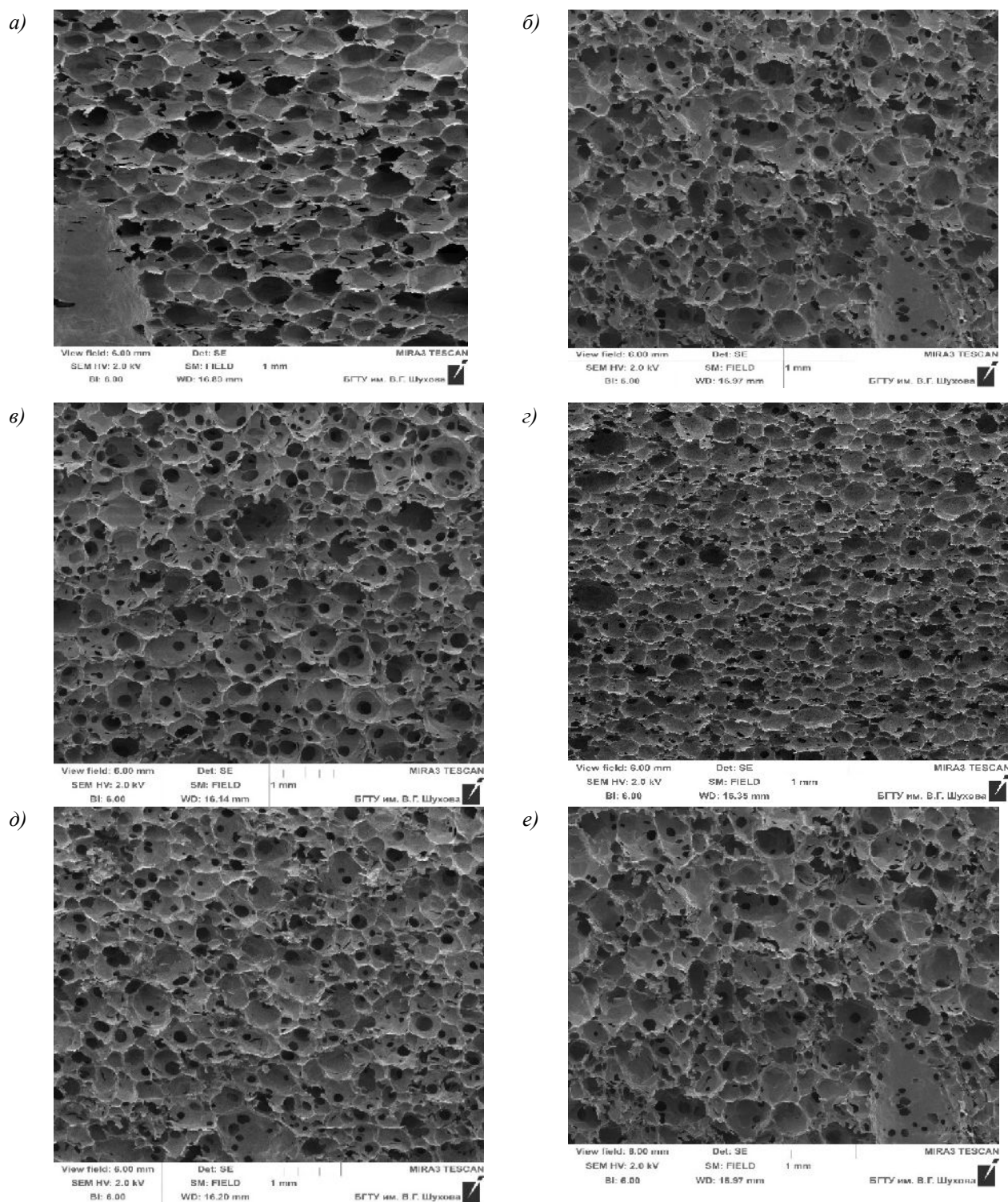


Рис. 5. Пенополиуретан: а) без наполнителя; с наполнителями: б) глина; в) суглинок; г) цемент; д) графит; е) хвосты

Выводы. В данной статье впервые исследована структура вновь полученного композитного утеплителя. Отходы горнорудной промышленности (хвосты) встраиваются в полиуретановую матрицу и являются внутрискруктурными.

А также впервые экспериментально установлена зависимость коэффициента вспенивания пенополиуретана от гранулометрического состава наполнителя из отходов горнорудной промышленности Стойленского ГОКа.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Лазутин М., Оттенс А., Келлер П. Тепло-вая изоляция из жесткого пенополиуретана: основные свойства и применение в строительстве // Строительные материалы. 2004. № 1(10). С. 16–19.
2. Баженов Ю.М., Шубенкин П.Ф. Строи-тельные материалы. М., 1971. 436 с.
3. Воробьев В.А. Основы технологии строи-тельных материалов из пластических масс. М.: Высшая школа, 1975. 280 с.
4. Воробьев В.А. Производство и примене-ние пластмасс в строительстве. М.: Стройиздат, 1965. 236 с.
5. Шейкин А.Е. Строительные материалы Учебник для вузов. М.: Стройиздат, 1978. 432 с.
6. Берлин А.А. Основы производства газо-наполненных пластмасс и эластомеров. М.: Госхимиздат, 1954. 189 с.
7. Берлин А.А., Шутов Ф.А. Пенополимеры на основе реакционноспособных олигомеров. М.: Химия, 1978. 296 с.
8. Домброу Б.А. Полиуретаны. Пер. с англ. М.: Гос. научн.-техн. изд-во хим. лит., 1961. 137 с.
9. Кафенгауз А.П. Синтетические пенопла-сты и поропласты. Владимир: Владимирское книжное издательство, 1959. 528 с.
10. Кацнельсон М.Ю., Балаев Г.А. Пласти-ческие массы. М.: Химия, 1968. 444 с.
11. Sparrow, D.J., Thorpe D. Polyols for Poly-urethane Production. Boca Roton, Florida. 1989. pp 203.
12. Тараканов О.Г., Шамов И.В., Альперн В.Д. Наполненные пенопласты. М.: Химия, 1989. 216 с.
13. Тараканов О.Г., Мурашов Ю.С. Пено-пласты. М.: Знание, 1975. 64 с.
14. Saunders J.H., Frisch K.C., Polyurethanes – Chemistry and Technology, Interscience Publish-ers, New York-London, 1962. 470 с.
15. Сулейманова Л.А., Кочерженко А.В., Марушко М.В. Теплоизоляционный композит на основе местных неорганических наполнителей // В сборнике докладов Международной научно-практической конференции «Наукоемкие техно-логии и инновации». Белгород, 2016. С. 185–189.
16. Сулейманова Л.А., Кочерженко А.В. Исследование влияния природных наполнителей на кратность вспенивания утеплителей на осно-ве пенополиуретана // В сборнике докладов Международной научно-практической конфе-ренции «Наука и инновации в строительстве» (к 45-летию кафедры строительства и городского хозяйства). Белгород, 2017. С. 185–190.
17. Чухланов В.Ю., Панов Ю.Т., Синявин А.В., Ермолаева Е.В. Газонаполненные пласт-массы. Владимир: Изд-во Владим. гос. ун-та, 2008. 152 с.
18. Волков В.А. Коллоидная химия. М. МГТУ им. Косыгина, 2001, 640 с.

Поступила в январе 2019 г.

© Кочерженко А.В., 2019

Информация об авторах

Кочерженко Андрей Владимирович, аспирант кафедры строительства и городского хозяйства. E-mail: Ksinon3@yandex.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, г. Белгород, ул. Костюкова, 46.

^{1,*}**Kocherzhenko A.V.**

¹Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov
Russia, 308012, Belgorod, st.Kostyukova, 46

*E-mail: Ksinon3@yandex.ru

OBTAINING FILLED POLYURETHANE FOAM WITH IMPROVED OPERATIONAL PROPERTIES

Abstract. One of the most important advantages of polyurethane foam is the ability of single-stage pro-duction. Foaming and curing of this heat insulation does not require the supply of heat in connection with the exothermic fusion reaction that occurs when two or more liquid components are mixed, with simultane-ous adhering of polyurethane foam to various surfaces due to good adhesion to almost any material. At the same time, this foam polymer has a low density and is able to withstand quite large loads.

Thermal insulation material with improved performance properties can be obtained with a careful se-lection of the granulometric and chemical composition of raw materials. This paper presents a brief over-view of the foaming and shaping of polyurethane, examines the structure of developed composite insulation, and establishes the dependence of the foaming ratio of polyurethane foam on the granulometric composition of fillers, including man-made (waste mining industry Stoylensky GOK). The research results show that in the process of forming filled polyurethane foams, chemical reactions between the components of the polyure-

thane foam and the elements of the fillers do not occur. The foaming process depends mainly on the granulometry of the filler and its percentage in the total mass of polyurethane foam.

Keywords: polyurethane foam, filling, physical and mechanical properties, mining waste, granulometric composition, foaming ratio.

REFERENCES

1. Lazutin M., Ottens A., Keller P. Thermal insulation from rigid polyurethane foam: basic properties and use in construction [*Teplovaya izolyaciya iz zhestkogo penopoliiureta: osnovnye svoystva i primeneniye v stroitel'stve*]. Construction materials. 2004. No. 1 (10). Pp. 16–19. (rus)
2. Bazhenov Yu.M., Shubenkin P.F. Building Materials [*Stroitel'nye materialy*]. M.: 1971, 436 p. (rus)
3. Vorobiev V.A. Fundamentals of technology of building materials from plastics [*Osnovy tekhnologii stroitel'nykh materialov iz plasticheskikh mass*]. M.: Higher School. 1975, 280 p. (rus)
4. Vorobiev V.A. Production and use of plastics in construction [*Proizvodstvo i primeneniye plastmass v stroitel'stve*]. M.: Stroizdat. 1965, 236 p. (rus)
5. Sheikin A.E. Construction materials Textbook for universities [*Stroitel'nye materialy*]. Moscow: Stroyizdat. 1978, 432 p. (rus)
6. Berlin A.A. Basics of the production of gas-filled plastics and elastomers [*Osnovy proizvodstva gazonaplnennykh plastmass i elastomerov*]. M.: Goskhimizdat, 1954. 189 p. (rus)
7. Berlin A.A., Shutov F.A. Foam polymers based on reactive oligomers [*Penopolimery na osnove reakcionnosposobnykh oligomerov*]. M.: Chemistry. 1978, 296 p. (rus)
8. Dombrow B.A. Polyurethanes [*Poliuretany*]. Per. from English. M.: State. scientific-tech. publishing house chem. Lit.. 1961, 137 p. (rus)
9. Kafengauz A.P. Syntheticeno plasticsorplast [*Sinteticheskie penoplasty i poroplasty*]. Vladimir: Vladimir book publishing house. 1959, 528 p. (rus)
10. Katsnelson M.Yu., Balaev G.A. Plastics [*Plasticheskie massy*]. M.: Chemistry. 1968, 444 p. (rus)
11. Sparrow D.J., Thorpe D. Polyols for Polyurethane Production Boca Roton, Florida. 1989. 203 p.
12. Tarakanov O.G., Shamov I.V., Alpern V.D. Filled foams [*Naplnennyye penoplasty*]. M.: Chemistry, 1989. 216 p. (rus)
13. Tarakanov O.G., Murashov Yu.S. Foam plastics [*Penoplasty*]. M.: Knowledge, 1975. 64 p. (rus)
14. Saunders J.H., Frisch K.C., Polyurethanes – Chemistry and Technology, Interscience Publishers, New York-London, 1962. 470 p.
15. Suleimanova L.A., Kocherzhenko A.V., Marushko M.V. Thermal insulation composite based on local inorganic fillers [*Teploizolyatsionnyy kompozit na osnove mestnykh neorganicheskikh naplniteley*]. Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferencii «Naukoemkie tekhnologii i innovacii». Belgorod, 2016, pp. 185–189. (rus)
16. Suleymanova L.A., Kocherzhenko A.V. Study of the influence of natural fillers on the multiplicity of foaming of insulators based on polyurethane foam [*Issledovanie vliyaniya prirodnykh naplniteley na kratnost' vspenivaniya utepliteley na osnove penopoliiureta*]. Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferencii «Nauka i innovacii v stroitel'stve» (k 45-letiyu kafedry stroitel'stva i gorodskogo hozyajstva). Belgorod, 2017, pp. 185–190. (rus)
17. Chukhlanov V.Yu., Panov Yu.T., Sinyavin A.V., Ermolaeva E.V. Gas-filled plastics [*Gazonaplnennyye plastmassy*]. Vladimir: Publishing House Vladim. state University, 2008. 152 p. (rus)
18. Volkov V.A. Colloid chemistry [*Kolloidnaya himiya*]. M.: MSTU. Kosygin, 2001, 640 p. (rus)

Information about the authors

Kocherzhenko, Adrey V. Postgraduate student. E-mail: Ksinon3@yandex.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Received in January 2019

Для цитирования:

Кочерженко А.В. Получение наполненного пенополиуретана с улучшенными эксплуатационными свойствами // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2019. №4. С. 47–52. DOI: 10.34031/article_5cb1e65f6791b0.52319300

For citation:

Kocherzhenko A.V. Obtaining filled polyurethane foam with improved operational properties. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2019. No. 4. Pp. 47–52. DOI: 10.34031/article_5cb1e65f6791b0.52319300

DOI: 10.34031/article_5cb1e659ad3ed1.97635101

^{1,*}Василькин А.А., ¹Сафронов С.С., ¹Еремин К.Е.¹Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет
Россия, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, 26.

*E-mail: vasilkinaa@mgsu.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ ОБЛАСТИ ЭФФЕКТИВНОГО ПРИМЕНЕНИЯ СТАЛЬНЫХ КОЛОНН

Аннотация. В статье поставлена задача определения области эффективного применения сплошных и сквозных колонн постоянного по высоте сечения. В качестве метода исследования принят метод параметрической оптимизации. Принятый критерий оптимальности включает в себя стоимость стали, стоимость изготовления колонны и стоимость нанесения коррозионной защиты. Основными параметрами, влияющими на металлоемкость и стоимость колонны являются нагрузка, расчетная длина и радиус инерции сечения. В выполненном исследовании тип сечения колонны принят неизменяемым, в виде двутавра (является ограничением), нагрузка и длина колонны приняты в виде изменяемых параметров. Расчетная схема конструкции – центрально сжатая колонна с шарнирным закреплением базы и оголовка. По нормативным условиям устойчивости и предельной гибкости определена требуемая площадь поперечного сечения для каждого значения изменяемого параметра. Составлены диаграммы с выделенными областями оптимального применения по которым инженер-проектировщик может принять решение в выборе сплошного либо сквозного сечения колонны в зависимости от действующей нагрузки и длины колонны.

Ключевые слова: Область эффективного применения, параметрическая оптимизация, критерий оптимальности, несущая способность, площадь сечения колонны.

Введение. Как известно, проектируемые стальные конструкции должны удовлетворять ряду требований, основными из которых являются требования прочности, надежности, а также экономической эффективности проектного решения [1–3].

Удовлетворение этих противоречивых требований достигается путем использования рациональных или эффективных проектных решений [4]. Чаще всего получение эффективных проектных решений достигают путем решения задачи оптимизации [5–7], либо выполнения вариантного проектирования [8–10], которое отличается от задачи оптимизации менее строгой математической постановкой.

Альтернативные проектные варианты могут отличаться между собой рядом параметров, а также расчетной, конструктивной или объемно-планировочной схемой [11–13]. При исследовании работы ответственных и уникальных конструкций может выполняться сравнение результатов расчета, полученных в различных вычислительных комплексах [14].

Анализ метода проектирования стальных конструкций показывает, что расчетная схема является одним из факторов, оказывающих наибольшее влияние на эффективность и надежность строительных конструкций [15, 16], при выборе которой необходимо выполнить оценку многочисленных факторов и параметров [17]. Поэтому, для снижения трудоемкости вариантного проектирования, целесообразно пред-

варительно знать область эффективного применения различных типов конструкции.

Одним из основных несущих элементов каркаса любого сооружения является колонна – вертикальный элемент, воспринимающий вышележащие нагрузки и передающий их на фундамент. Конструктивно колонны могут иметь сплошное и сквозное сечение, открытое или замкнутое, постоянное и переменное по высоте [1, 18] (рис.1).

Эффективность выбранного сечения колонны определяется условием равноустойчивости

$$\lambda_x = \lambda_y \quad (2)$$

т.е. сечение будет эффективным, с максимальным использованием несущей способности при условии одинаковой возможности потери устойчивости относительно двух главных осей.

В случае со сплошными колонными условию равноустойчивости удовлетворяют симметричные замкнутые сечения – труба, ЗГСП и составные сечения, а поскольку при одинаковой высоте сечения h , трубы имеют наибольший радиус инерции (рис. 2), то с точки зрения условия равноустойчивости, они являются наиболее эффективным типом сечений для сплошных центральносжатых колонн.

Для случая сквозных колонн условие равноустойчивости выполняется за счет определения требуемого расстояния между ветвями – s , которые соединяются между собой с помощью накладок или раскосов (рис. 3).

При проектировании колонны инженер может применить как сплошное, так и сквозное сечение. Достаточно соблюсти требования норм по обеспечению устойчивости и предельной гибкости и можно будет подобрать требуемое

сечение для любого проектного случая. Если мощности прокатных сечений будет недостаточно, то komponуется составное сечение из листовой или профильной стали.

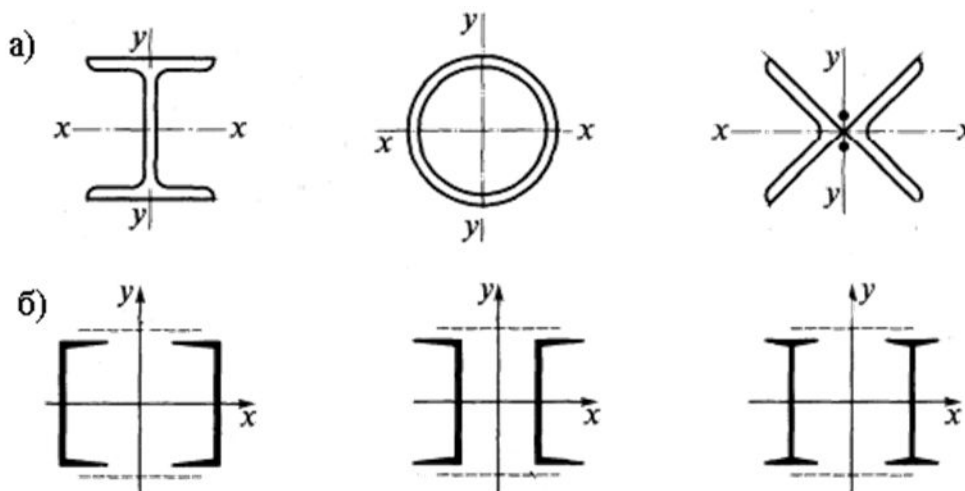


Рис. 1. Типы сечения колонн: а – сплошные, б – сквозные.

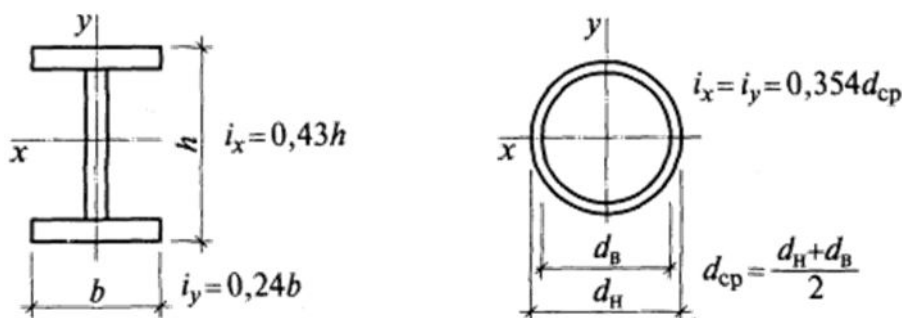


Рис. 2. Радиусы инерции сечений

При этом отсутствуют четкие указания, в каких случаях целесообразно применять сплошные, а в каких случаях сквозные колонны. Отечественная школа проектирования металлоконструкций на этот счет дает общие рекомендации, что сплошные колонны применяются при небольших высотах и значительных нагрузках, а сквозные сечения, соответственно, наоборот.

Таким образом, уточнение области эффективного применения сплошных и сквозных сечений колонн является достаточно актуальной задачей, возникающей на этапе вариантного проектирования.

Методология. При определении области эффективного применения колонн использован метод параметрической оптимизации [19].

Для решения задачи принимались переменные параметры объекта проектирования (табл. 1) и неизменяемые параметры – ограничения (табл. 2)

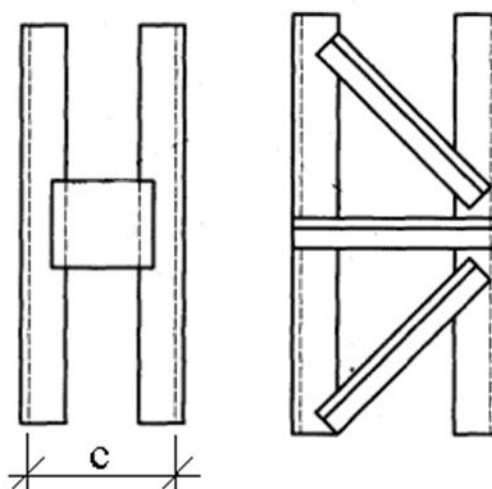


Рис. 3. Соединение ветвей сквозных колонн

Таблица 1

Варьируемые параметры	Значения
Длина колонны	От 5 до 11 метров с шагом 0,5 метра
Расчетная нагрузка	От 500 до 4000 кН с шагом 500 кН

Таблица 2

Неизменяемые параметры	Значения
Тип сечения сплошной колонны	Колонный двутавр по ГОСТ 26020-83
Тип сечения сквозной колонны	Двухветвевая колонна из колонных двутавров по ГОСТ 26020-83. Соединение ветвей на планках
Материал конструкции, класс стали	C245

Было принято шарнирное закрепление в оголовке и базе колонны в двух главных плоскостях. При работе колонн на центральное сжатие несущая способность колонны (замкнутого сечения) определяется условием устойчивости [1]

$$\sigma = \frac{N}{\varphi \cdot A} \leq R_y \gamma_c \quad (2)$$

Далее выбирались различные значения действующей нагрузки на колонну и длины колонны из табл. 1. и по известным нормативным условиям устойчивости и предельной гибкости, определялась требуемая площадь поперечного сечения для случая сплошной и сквозной колонны. Затем площадь сечения элемента умножалась на длину колонны, в результате чего определялась масса конструкции. Также, для каждого проектного случая, вычислялась площадь поверхности колонн для определения затрат на антикоррозионную обработку.

В настоящем исследовании в качестве основного типа сечения приняты колонные двутавры, у которых высота сечения практически совпадает с шириной полки. В это случае, устойчивость сквозной колонны относительно свободной оси всегда будет выше устойчивости относительно материальной оси. Поэтому расстояние между ветвями определялось не из условия равноустойчивости, недостижимого в данном случае, а по конструктивным соображениям – 100 мм в чистоте между ветвями для удобства нанесения антикоррозионного покрытия.

На втором этапе исследования определялась стоимость конструкции. Наиболее полным критерием оптимальности конструкции, является

«стоимость в деле» [20, 21], однако представляется, что в современных условиях стоимость изготовления, монтажа и эксплуатации имеет больше экономическое обоснование, зависящее от текущей рыночной ситуации, которое сложно принять в качестве основания для сравнения вариантов. В работе [22] предложена методика определения критерия оптимальности по минимуму приведенных затрат, однако сами авторы признают, что полный и точный расчет по этому критерию является достаточно сложной задачей с большим количеством допущений.

Поэтому в настоящем исследовании целевая функция принята из двух слагаемых: стоимости материала и стоимости изготовления

$$C = C_m + C_{и} = A \cdot l \cdot \rho \cdot C_{ед} + C_{и} \quad (3)$$

A – площадь сечения колонны; l – длина конструкции; ρ – плотность стали; $C_{ед}$ – рыночная стоимость тонны стали [21]; $C_{и}$ – стоимость изготовления [21].

В стоимость изготовления конструкции колонны входит приемка и заготовка металлопроката, сборки и сварка металлоконструкции, также была включена цена за эмаль и покраска ею конструкции, так как площадь поверхности элементов различается.

$$C_{и} = C_{пр} + C_3 + C_{сб} + C_c + C_{п} \quad (5)$$

где $C_{и}$ – стоимость изготовления колонны; $C_{пр}$ – стоимость приемки металла; C_3 – стоимость заготовки металла; $C_{сб}$ – стоимость сборки конструкции; C_c – стоимость сварки; $C_{п}$ – стоимость нанесения антикоррозионной защиты, включающей в себя подготовку поверхности, стоимость грунтовки, стоимость покраски [23].

Результаты. В результате последовательного определения массы конструкции для случая сплошной и сквозной колонны были построены графики изменения массы от варьируемых параметров. На рис. 4. показан пример изменения массы колонны длиной 8,5 м при различных значениях нагрузки. Из анализа графика следует, что при нагрузке до 1000 кН меньшую массу имеет сплошная колонна, а свыше 1000 кН – сквозная конструкция колонны.

На первом этапе в качестве критерия оптимальности принималась металлоёмкость. Соответственно сечение с минимальной массой принимается оптимальным для данных проектных характеристик. Точка пересечения графиков массы для сплошной и сквозной колонны (точка А на рис. 4) показывает такое значение нагрузки q и высоты колонны l , для которых оба проектных варианта будут одинаково эффективными. Назовем точку А точкой условного равновесия.

Далее, сравнивая массы колонн для остальных значений параметров конструкции (табл. 1), находим аналогичные равновесные точки. По найденным точкам строится график, который очерчивает области эффективного применения

сплошной и сквозной колонны по критерию оптимальности «металлоемкость» (см. рис. 5). Граница области является в определенной степени условной.

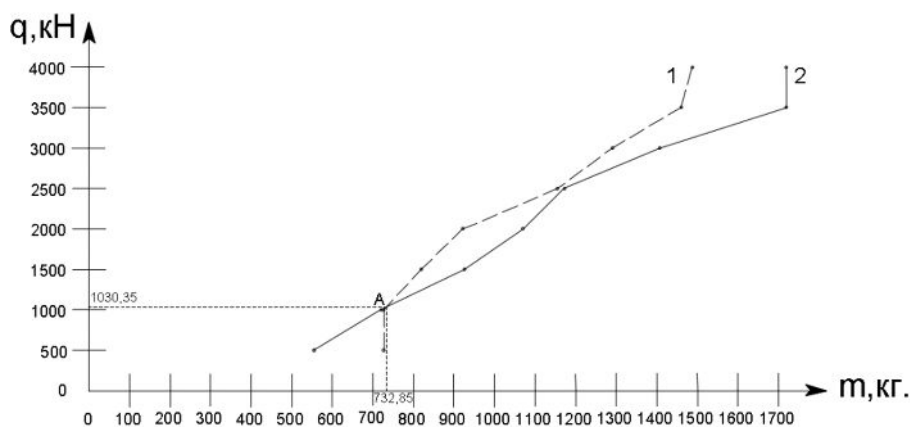


Рис. 4. График зависимости массы конструкции: 1 — сплошная колонна; 2 — сквозная колонна

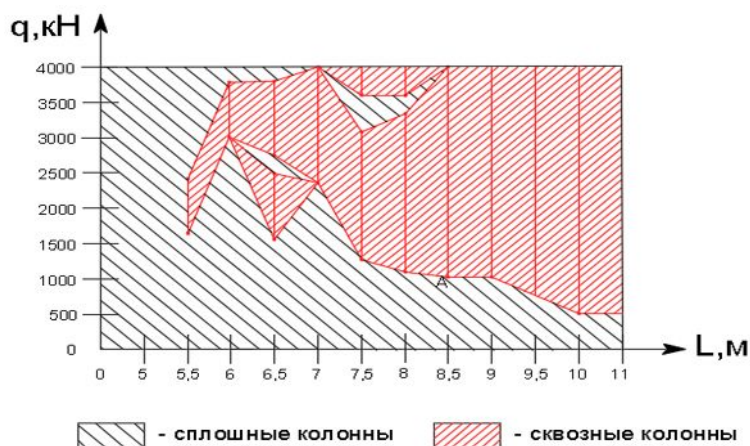


Рис. 5. Область оптимального применения для критерия оптимальности «металлоемкость»

На втором этапе исследования учитывалась стоимость материала и стоимость изготовления конструкции колонны. Аналогично этапу 1, по полученным результатам стоимости конструк-

ции были построены графики зависимости стоимости конструкции от приложенной нагрузки. На рис. 6 показан подобный график для колонны длиной 8,5 м.

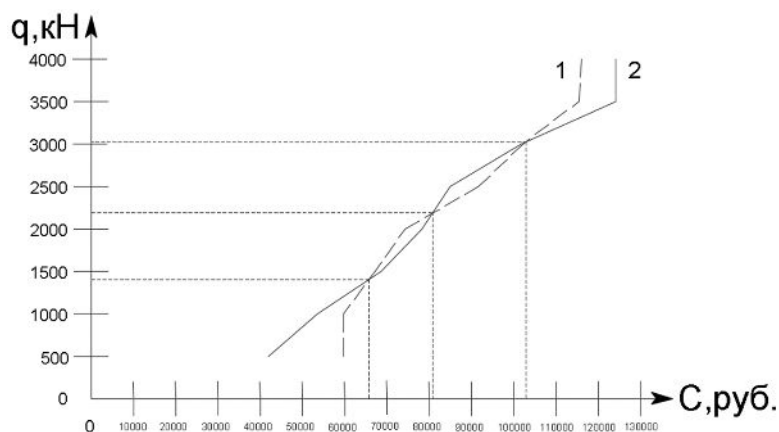


Рис. 6. График зависимости стоимости: 1 — сплошная колонна; 2 — сквозная колонна

Далее, по аналогичным графикам были найдены точки равновесной стоимости конструкции и построена область эффективного

применения сплошного и сквозного типов сечения колонн относительно расчетной нагрузки и длины колонны (см. рис. 7).

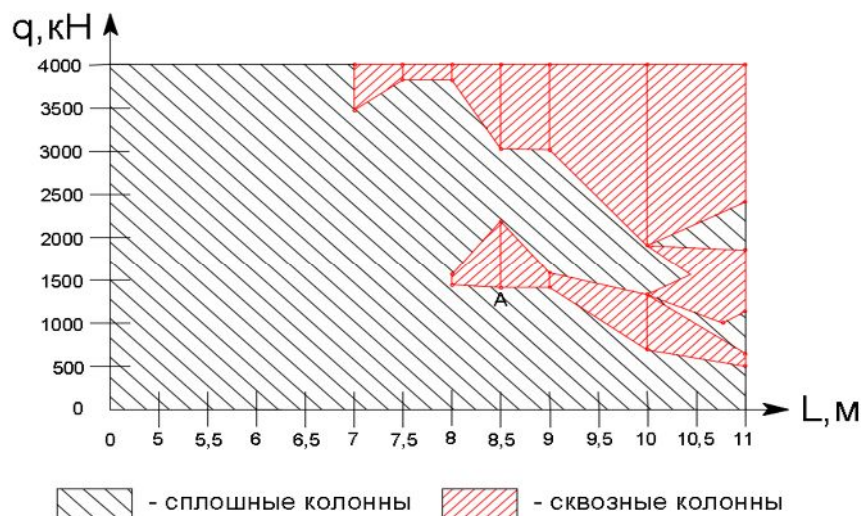


Рис. 7. Область оптимального применения для критерия оптимальности «стоимость»

Выводы. В результате проведенного исследования определены области эффективного применения сплошного и сквозного типа сечения центрально-сжатой колонны. Полученные диаграммы могут быть полезны при выполнении курсового проектирования по дисциплине «Металлические конструкции, включая сварку» студентами, обучающимися по направлению «Строительство», а также могут быть использованы в качестве рекомендаций при проектировании. Дальнейшим развитием данного исследования является учет дополнительных типов сечений, а также создание комплексной автоматизированной системы поиска области эффективного применения [24].

Источник финансирования. Грант Президента Российской Федерации для государственной поддержки ведущих научных школ Российской Федерации № НШ-3492.2018.8.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Парлашкевич В.С., Василькин А.А., Булатов О.Е. Проектирование и расчет металлических конструкций рабочих площадок. Москва, 2013. 152 с.
2. Гинзбург А.В., Василькин А.А. Постановка задачи оптимального проектирования стальных конструкций // Вестник МГСУ. 2014. № 6. С. 52–62.
3. Перельмутер А.В. Очерки по истории металлических конструкций. Москва, 2012. 191с.
4. Мирошникова И.М., Синенко С.А. Комплексная модель системы выбора рациональных решений по организации строительных процес-

сов при возведении многоэтажных зданий // Наука и бизнес: пути развития. 2018. № 6 (84). С. 71–75.

5. Vasilkin A.A. System engineering of optimal design of building constructions elements // Proceedings of the METNET seminar 2014 in Moscow. HAMK university of applied sciences. 2014. Pp. 123–130.

6. Grebenyuk Grigory, Veshkin Maxim, Maksak Vladislav, Nosireva Olga Stress-strain state analysis and optimization of rod system under periodic pulse load MATEC Web of Conferences 143, 01003 (2018) YSSIP-2017.

7. Xin-She Yang, G. Bekdaş Sinan M. Nigdeli. Review and Applications of Metaheuristic Algorithms in Civil Engineering. In: Metaheuristics and Optimization in Civil Engineering. Springer 2018. DOI 10.1007/978-3-319-26245-1.

8. Василькин А.А. Системотехника проектирования металлических конструкций // Приоритетные научные направления: от теории к практике. 2013. №8. С. 118–123.

9. Lysenko D., Chelyshkov P. The method of optimization of energy-efficient engineering solutions by varying criteria in cad. В сборнике: IOP Conference Series: Materials Science and Engineering 21, Construction - The Formation of Living Environment. 2018. P. 022027.

10. Козырева В.В., Волков А.А. Модель многоагентной системы для автоматизации вариантного проектирования стержневых конструкций // Вестник МГСУ. 2013. № 10. С. 301–308.

11. Кирсанов М.Н. К выбору решетки балочной фермы // Строительная механика инже-

нерных конструкций и сооружений. 2017. № 3. С. 23–27.

12. Jootoo A., Lattanzi D. Extraction of Structural System Designs from Topologies via Morphological Analysis and Artificial Intelligence. Designs 2018. 2. 8. doi:10.3390/designs2010008.

13. Ouhimmou S., Hani A.El, Ellaia R., Tkiouat M. Contribution to Development of Reliability and Optimization Methods Applied to Mechanical Structures. Applied Mathematics. 2013. 4. 19–24 <http://dx.doi.org/10.4236/am.2013.41005>.

14. Перельмутер А.В. Сопоставление конкурирующих результатов расчета // International Journal for Computational Civil and Structural Engineering. 2016. Т. 12. № 3. С. 104–113.

15. Колчунов В.И., Колчунов В.И., Федорова Н.В. Деформационные модели железобетона при особых воздействиях // Промышленное и гражданское строительство. 2018. № 8. С. 54–60.

16. Ковальчук О.А., Тамразян А.Г. К исследованию математической модели балок с трещинами. В книге: Развитие фундаментальных основ науки и образования в строительстве Сборник тезисов XIV Международной научно-практической конференции. 2017. С. 39–41.

17. Ключева Н.В., Горностаев С.И. К вопросу выбора расчетной модели для оценки жесткости железобетонных конструкций // Известия Юго-Западного государственного университета. 2016. № 1 (64). С. 71–74.

18. Белый Г.И. К расчету на устойчивость стержневых элементов стальных конструкций // Вестник гражданских инженеров. 2013. № 2 (37). С. 44–48.

19. Василькин А.А. Интеграция инструментов структурной и параметрической оптимизации на этапе поискового проектирования стальных конструкций // Научный журнал строительства и архитектуры. 2018. № 1 (49). С. 22–28.

20. Лихтарников Я.М. Вариантное проектирование и оптимизация стальных конструкций. М.: Стройиздат, 1979. 319 с.

21. Стрелецкий Н.С., Стрелецкий Д.Н. Проектирование и изготовление экономичных металлических конструкций. М.: Стройиздат, 1964. 358 с.

22. Левченко В.Н., Левченко Д.В., Брыжатый О.Э. Анализ эффективности строительных конструкций, выполненных из различных материалов // Вестник Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. 2017. № 6 (128). С. 86–91.

23. Завод металлоконструкций Аполло [Электронный ресурс]. URL: apollo-zmk.ru (дата обращения 24.10.2018).

24. Гинзбург А.В., Лобырева Я.А., Семернин Д.А. Системный подход при создании комплексных автоматизированных систем управления и проектирования в строительстве // Научное обозрение. 2015. № 16. С. 461–464.

Информация об авторах

Василькин Андрей Александрович, доцент, кандидат технических наук, доцент кафедры металлических и деревянных конструкций. E-mail: vasilkinaa@mgsu.ru. Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет. Россия, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, 26.

Сафронов Сергей Сергеевич, студент. E-mail: trew9045@mail.ru. Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет. Россия, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, 26.

Еремин Кирилл Евгеньевич, студент. E-mail: kirill.eremin.97@yandex.ru. Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет. Россия, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, 26.

Поступила в январе 2019 г.

© Василькин А.А., Сафронов С.С., Еремин К.Е., 2019

^{1,*}*Vasilkin A.A., ¹Safronov S.S., ¹Eremin K.E.*

¹*Moscow State University of Civil Engineering (National Research University)
Russia 129337, Moscow, Yaroslavskoye Shosse, 26.*

**E-mail: vasilkinaa@mgsu.ru*

RESEARCH ON EFFECTIVE USE OF STEEL COLUMNS

Abstract. The article sets the task of determining the area of effective application of solid and through columns. The parametric optimization method is used as a research method. The accepted optimality criterion includes the cost of steel, the cost of column manufacturing and the cost of applying corrosion protection. The main parameters affecting the intensity of metal and cost of the column are the load, the calculated length and the radius of inertia of the section. In the study, the type of cross-section of the column is adopted unchanged, in the form of an I-beam (is a limitation); the load and length of the column are taken as varia-

ble parameters. The design scheme of the structure is a centrally compressed column with hinged fastening of the base and the head. According to the regulatory conditions of stability and ultimate flexibility, the required cross-sectional area for each value of the variable parameter is determined. Charts with selected areas of optimal application are compiled; it helps the design engineer to choose between a solid or through section of the column, depending on its actual load and length.

Keywords: the area of effective application, parametric optimization, optimality criterion, bearing capacity, the cross-sectional area of the column.

REFERENCES

1. Parlashkevich V.S., Vasilkin A.A., Bulatov O.E. Design and calculation of metal structures of work sites [*Proektirovanie i raschet metallicheskih konstrukcij rabochih ploshchadok*]. Moscow, 2013. 152 p. (rus)
2. Ginzburg A.V., Vasilkin A.A., Statement of the problem of optimal design of steel structures [*Postanovka zadachi optimal'nogo proektirovaniya stal'nyh konstrukcij*]. Vestnik MGSU. 2014. No. 6. Pp. 52–62. (rus)
3. Perelmuter A.V. Essays on the history of metal structures [*Ocherki po istorii metallicheskih konstrukcij*]. Moscow, 2012. 191 p. (rus)
4. Miroshnikova I.M., Sinenko S.A. An integrated model of the system of choosing rational decisions on the organization of construction processes in the construction of multi-storey buildings [*Kompleksnaya model' sistemy vybora racional'nyh reshenij po organizacii stroitel'nyh processov pri vozvedenii mnogoetazhnyh zdaniy*]. Science and business: ways of development. 2018. No. 6 (84). Pp. 71–75. (rus)
5. Vasilkin A.A. System engineering of optimal design of building constructions elements. Proceedings of the METNET seminar 2014 in Moscow. HAMK university of applied sciences, 2014. Pp. 123–130.
6. Grebenyuk Grigory, Veshkin Maxim, Maksak Vladislav, Nosireva Olga Stress-strain state analysis and optimization of rod system under periodic pulse load MATEC Web of Conferences 143, 01003 (2018) YSSIP-2017.
7. Xin-She Yang, G. Bekdaş Sinan M. Nigdeli. Review and Applications of Metaheuristic Algorithms in Civil Engineering. In: Metaheuristics and Optimization in Civil Engineering, Springer 2018. DOI 10.1007/978-3-319-26245-1.
8. Vasilkin A.A. Systems engineering of design of metal structures [*Sistemotekhnika proektirovaniya metallicheskih konstrukcij*]. Priority scientific directions: from theory to practice. 2013. No. 8. 118–123 p. (rus)
9. Lysenko D., Chelyshkov P. The method of optimization of energy-efficient engineering solutions by varying criteria in cad. In the collection: IOP Conference Series: Materials Science and Engineering 21, Construction - The Formation of Living Environment, 2018. P. 022027.
10. Kozyrev V.V., Volkov A.A. The model of multiagent system for automatization of version design of frame structures [*Model' mnogoagentnoj sistemy dlya avtomatizacii variantnogo proektirovaniya sterzhnevnyh konstrukcij*]. Vestnik MGSU. 2013. No. 10. Pp. 301–308. (rus)
11. Kirsanov M.N. The choice of the lattice girder. Structural mechanics of engineering constructions and buildings [*K vyboru reshetki balochnoj fermy*]. 2017. No. 3. Pp. 23–27. (rus)
12. Jootoo A., Lattanzi D. Extraction of Structural System Designs from Topologies via Morphological Analysis and Artificial Intelligence. Designs 2018, 2, 8; doi:10.3390/designs2010008.
13. Ouhimmou S., Hani A.EI, Ellaia R., Tkiouat M. Contribution to Development of Reliability and Optimization Methods Applied to Mechanical Structures. Applied Mathematics. 2013. 4. 19–24 <http://dx.doi.org/10.4236/am.2013.41005>.
14. Perelmuter A.V. Comparison of competing calculation results [*Sopostavlenie konkuriruyushchih rezul'tatov rascheta*]. International Journal for Computational Civil and Structural Engineering. 2016, Vol. 12. No. 3. Pp. 104–113. (rus)
15. Kolchunov V.I., Fedorova N.V. Deformation models of reinforced concrete under special effects [*Deformacionnye modeli zhelezobetona pri osobyyh vozdeystviyah*]. Industrial and civil engineering. 2018. No. 8. Pp. 54–60. (rus)
16. Kovalchuk O.A., Tamrazyan A.G. To study the mathematical model of beams with cracks. [*K issledovaniyu matematicheskoy modeli balok s treshchinami*] V knige: Razvitie fundamental'nyh osnov nauki i obrazovaniya v stroitel'stve Sbornik tezisov XIV Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii. 2017. Pp. 39–41. (rus)
17. Klyueva N.V. Gornostaev S.I. On the choice of a computational model for assessing the stiffness of reinforced concrete structures [*K voprosu vybora raschetnoj modeli dlya ocenki zhestkosti zhelezobetonnyh konstrukcij*]. News of southwest state University. 2016. No. 1 (64). Pp. 71–74. (rus)
18. Belyi G.I. To the calculation of the stability of the rod elements of steel structures [*K raschetu na ustojchivost' sterzhnevnyh ehlementov stal'nyh konstrukcij*]. Bulletin of civil engineers. 2013, No. 2 (37). Pp. 44–48. (rus)
19. Vasilkin A.A. Integration of structural and parametric optimization tools at the stage of search

design of steel structures [*Integraciya instrumentov strukturnoj i parametricheskoj optimizacii na ehtape poiskovogo proektirovaniya stal'nyh konstrukcij*]. Scientific journal of civil engineering and architecture. 2018. No. 1 (49). Pp. 22–28. (rus)

20. Likhtarnikov Y.M. Variant design and optimization of steel structures [*Variantnoe proektirovanie i optimizaciya stal'nyh konstrukcij*]. M.: Stroyizdat, 1979. 319 p. (rus)

21. Streletskaya N.S. Streletsky D.N. Design and manufacture of economical metal structures [*Proektirovanie i izgotovlenie ehkonomichnyh metallicheskih konstrukcij*]. M.: Stroyizdat, 1964, 358 p. (rus)

22. Levchenko V.N., Levchenko V.D., Brigety O. E. Analysis of the effectiveness of build-

ing structures made of different materials [*Analiz ehffektivnosti stroitel'nyh konstrukcij, vypolnennyh iz razlichnyh materialov*]. Bulletin of the Donbass national Academy of construction and architecture. 2017. No. 6 (128). Pp. 86–91. (rus)

23. Metal construction plant “Apollo” [*Zavod metallokonstrukcij Apollo*]. URL:apollo-zmk.ru(date of appeal 24.10.2018). (rus)

24. Ginzburg A.V., Lobareva Y.A., Semernin D.A. System approach to creation of complex automated control and design systems in construction [*Sistemnyj podhod pri sozdanii kompleksnyh avtomatizirovannyh sistem upravleniya i proektirovaniya v stroitel'stve*]. Scientific review. 2015. No. 16. Pp. 461–464. (rus)

Information about the authors

Vasilkin, Andrey A. PhD, Assistant professor. E-mail: vasilkinaa@mgisu.ru. Moscow State University of Civil Engineering (National Research University). Russia, 129337, Moscow, Yaroslavskoye Shosse, 26.

Safronov, Sergey S. Bachelor student. E-mail: trew9045@mail.ru. Moscow State University of Civil Engineering (National Research University). Russia, 129337, Moscow, Yaroslavskoye Shosse, 26.

Eremin, Kirill E. Bachelor student. E-mail: kirill.eremin.97@yandex.ru. Moscow State University of Civil Engineering (National Research University). Russia, 129337, Moscow, Yaroslavskoye Shosse, 26.

Received in January 2019

Для цитирования:

Василькин А.А., Сафронов С.С., Еремин К.Е. Исследование области эффективного применения стальных колонн // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2019. № 4. С. 53–60. DOI: 10.34031/article_5cb1e659ad3ed1.97635101

For citation:

Vasilkin A.A., Safronov S.S., Eremin K.E. Research on effective use of steel columns. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2019. No. 4. Pp. 53–60. DOI: 10.34031/article_5cb1e659ad3ed1.97635101

DOI: 10.34031/article_5cb824d26344e7.45899508

^{1,*}Наумов А.Е., ¹Юдин Д.А., ¹Долженко А.В.¹Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

Россия, 308012, г. Белгород, ул. Костюкова, 46

*E-mail: naumov.ae@bstu.ru

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРОВЕДЕНИЯ СТРОИТЕЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКИХ ЭКСПЕРТИЗ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АППАРАТНО-ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ДЕФЕКТОСКОПИИ

Аннотация. В составе строительно-технических экспертиз зданий и сооружений большое значение и ответственность в построении окончательных выводов о техническом состоянии объекта исследований возлагается на процесс дефектоскопии, осуществляемый визуально и инструментально с трактовкой результатов субъективными экспертными методами. В текущем исполнительском стандарте строительно-техническая дефектоскопия обладает рядом фундаментальных недостатков: существенной схематичностью алгоритмов сбора, упрощением диагностики и огрублением анализа результатов полевых исследований для геометрически протяженных или конструктивно сложных объектов недвижимости, вызванными негативным влиянием на процесс дефектоскопии человеческого фактора, погодных условий, недоступности объекта для осмотра, низкой информационной культуры документирования и архивации результатов обследований. Все вышеперечисленное затрудняет динамический мониторинг объектов и характеризуется существенным ростом стоимости и сроков производства ремонтно-восстановительных работ в связи с несвоевременностью диагностики дефектов и выборочностью объема экспертных исследований.

Способствовать повышению достоверности, объективности, унификации подходов и информационных потоков, связанных с производством строительно-технических экспертиз зданий и сооружений призвана предлагаемая система. Она основана на фото и видеосъемке протяженных и труднодоступных поверхностей зданий и сооружений с помощью беспилотных летательных аппаратов с последующей автоматизированной обработкой полученного фото и видео материала, его интеллектуальном анализе, автоматизированном распознавании, классификации, количественной оценке устанавливаемых дефектов, а также инновационной технологии документирования и автоматизации принятия рациональных организационно-технологических решений в практике технической эксплуатации и мониторинга функциональной надежности обследуемой недвижимости.

Ключевые слова: дефектоскопия, аэрофотосъемка, строительно-техническая экспертиза, нейросети, распознавание, сегментация, дефект, глубокое обучение, полностью сверточная сеть.

Введение. В современном производстве и жилищно-коммунальном хозяйстве важно своевременно осуществлять обслуживание и ремонт кровли зданий и сооружений, которая со временем разрушается под воздействием окружающей среды. Залогом успешной и эффективной деятельности предприятий службы технической эксплуатации зданий и сооружений является периодический, масштабный мониторинг параметров технического состояния кровель, основанный в том числе на методиках автоматизированной дефектоскопии, возможной при реализации инновационных методик получения, документирования и анализа исследовательской информации. Обследование технического состояния кровель, в большинстве случаев, существенно осложняется протяженностью, недоступностью участков для визуального осмотра, погодными условиями производства работ, большим объемом инструментальных измерений, сложностью и трудоемкостью его докумен-

тирования, архивирования, оперативной обработки и динамического анализа. Реализация большого потенциала совершенствования методики и качества проводимой дефектоскопии возможна при использовании оперативной технической аэрофотосъемки с последующей потоковой нейросетевой обработкой информации, выявлением и визуальной количественной акцентуацией наиболее значимых результатов проведенных исследований. В настоящее время отсутствуют надежные, достоверные, общепринятые технологии аэрофотодефектоскопии и распознавания дефектов кровель зданий и сооружений по её результатам.

Строительная дефектоскопия в процессе эксплуатации зданий неавтоматизирована, в связи с чем занимает нерационально большое время, крайне сезонна, непериодична, несистемна, в большинстве случаев экономически малоцелесообразна, и, как следствие, проводится на недостаточном профессиональном уровне без

определенных целей и увязки с технологией эксплуатации здания. Это не позволяет ни целесообразно планировать, ни экономически эффективно реализовывать технические мероприятия по профилактике и упреждению истощения кровлями функциональности, недопущению критического снижения потребительских качеств, рационализации ресурсоемкости сохранения и восстановления надлежащего технического кровель.

Оперативный мониторинг состояния кровли может эффективно осуществляться с помощью применения малых беспилотных летательных аппаратов, оснащенных видеокамерами. Полученные с их помощью аэрофотоснимки (ортофотопланы) затем можно анализировать как вручную, так и методами компьютерного зрения.

В настоящее время существует большое разнообразие научных исследований, посвященных сегментации таких аэрофотоснимков для обнаружения крыш зданий, например, 1 и 2, или объектов на них расположенных 3. Однако основное назначение этих работ – вести мониторинг застройки территорий или имеющейся инфраструктуры. Анализ состояния кровли часто осуществляется с помощью распознавания инфракрасных изображений 4, полученных от тепловизионной камеры и позволяющих оценивать потери тепла и мероприятия по их снижению. Сегментация областей кровли с различным углом наклона подробно исследуется в работе 5, в ней отмечается общее ограничение методов компьютерного зрения – необходимость учета теней, изменений освещенности наблюдаемых объектов, что требует существенного усложнения применяемых алгоритмов распознавания изображений.

Следует отметить, что существующие исследования не затрагивают такую важную задачу как распознавание дефектов различного типа, возникающих с течением времени на кровле и которые могут быть выявлены на цветном изображении ортофотоплана.

Постановка задачи. Подход, используемый в ходе нейросетевого обучения системы распознавания направлен на выявление следующих дефектов кровли:

- впадины, вызывающие застаивание воды после дождя,
- вздутие,
- растрескивание,
- разрывы ковра,
- отслаивание ковра,
- заплатки,
- отсутствие ковра,
- грибок/мох.

Структура подхода схематично показана на рис. 1. Цветные аэрофотоснимки (ортофотопланы) получаются с помощью беспилотного летательного аппарата – квадрокоптера. Далее с помощью программы распознавания на них выявляются сегменты, содержащие дефекты. Для каждого из сегментов определяется площадь и периметр найденной области, которые сохраняются в xml-файлы, также в файл сохраняется и результат сегментации в виде полутонового изображения. Эти данные могут быть в дальнейшем использоваться для составления сметной документации для проведения требуемого ремонта кровли.

Для оценки качества работы алгоритмов сегментации применяется мера Dice, которая успешно использовалась в работах 6 и 7:

$$Dice = \frac{2 \cdot (Y_{GT}, Y_P) + \varepsilon}{(Y_{GT}, Y_{GT}) + (Y_P, Y_P) + \varepsilon} \quad (1)$$

В формуле (1) обозначение (Y_{GT}, Y_P) – скалярное произведение двух векторов – вектора Y_{GT} , содержащего «истинную» сегментацию изображения, представленного в виде одномерного массива, и вектора Y_P , содержащего результат сегментации с помощью применяемого алгоритма, представленный в виде одномерного массива. Каждый элемент массивов Y_{GT} , и Y_P принимает значения в диапазоне $[0, 1]$, где 0 соответствует пикселю, не относящемуся к искомой области (дефекту), 1 соответствует пикселю, попадающему в область изображения с дефектом кровли. Таким образом, величина (Y_{GT}, Y_P) эквивалентна площади пересечения двух областей, (Y_{GT}, Y_{GT}) – эквивалентна площади истинных областей, содержащих дефекты, (Y_P, Y_P) – эквивалентна площади областей с дефектами, найденных с помощью алгоритма, ε – величина, равная единице (одному пикселю), необходимая для учета случая, когда на изображении нет ни истинных, ни найденных областей с дефектами кровли.

Сегментация дефектов на изображениях с помощью глубоких сверточных нейронных сетей.

Глубокие сверточные нейронные сети позволяют автоматически выявлять текстурные особенности и другие признаки областей изображений [9], что может быть использовано для рассматриваемой задачи. Выбор архитектуры нейронной сети, способной распознавать области аэрофотоснимка, содержащие дефекты кровли, можно сделать на основе подходов, показавших свою эффективность на задаче сегментации изображений на обучающей выборке размеченных изображений PASCAL VOC 9, содер-

жащей 21 различных типов пикселей. Одним из таких подходов является обучение полностью сверточных нейронных сетей (Fully Convolutional Networks, FCN) 10. Для задачи сегментации биомедицинских изображений в работе 11 изучено применение сверточной нейронной сети, подобной автоэнкодеру, в которой введены дополнительные объединения

входных и выходных слоев. В основе этих архитектур лежат три разновидности операции свёртки 12:

1) обычная операция свертки с ядром (kernel) размера 3×3 с шагом (strides) 1×1 , в результате которой из изображения размером 4×4 получается карта признаков размером 2×2 ;

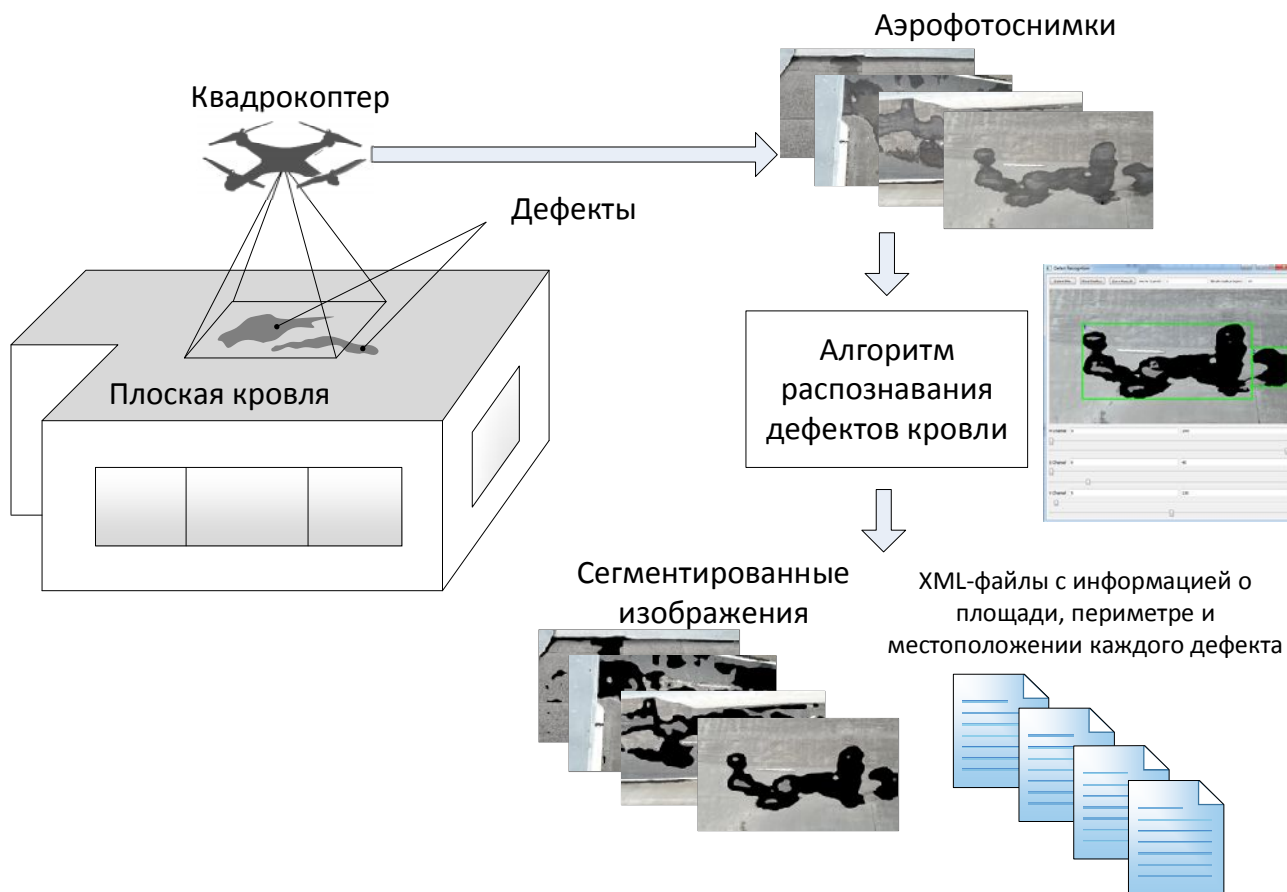


Рис. 1. Структура подхода нейросетевого обучения системы распознавания дефектов крыши

2) операция свертки с ядром размера 3×3 с шагом 1×1 , при которой исходное изображение дополнено нулевыми граничными пикселями (padding) 1×1 (по одному дополнительному пикселю с каждой стороны изображения), в результате которой из изображения размером 5×5 получается карта признаков того же размера 5×5 ;

3) операция обратной свертки, когда из изображения меньшего размера, например, 3×3 получается изображение размером 5×5 . При этом в исходное изображение добавляются нулевые строки и столбцы (так называемая операция upsampling с шагом 2×2), и граничные пиксели (например, padding = 1×1). Ядро и шаг свертки соответственно 3×3 и 1×1 .

В настоящей работе рассматривается две архитектуры глубоких полностью сверточных нейронных сетей, содержащих 13 и 17 сверточ-

ных слоев, соответственно FCN13, показанная на рис. 2, и FCN17, показанная на рис. 3.

Для обучения и проверки работоспособности сверточных нейронных сетей использовалось 35 изображений с размеченными на них дефектами крыши, из них к обучающей выборке отнесены 33 изображения, к валидационной — 2 изображения. Размер каждого изображения: 464×825 пикселей.

Для обучения и тестирования сверточной нейронной сети для задачи сегментации применяется описанная выше мера качества Dice (1). Функция потерь, минимум которой должна обеспечить глубокая нейронная сеть, имеет вид (2).

Таким образом в ходе процесса обучения осуществляется максимизация степени пересече-

чения найденных и истинных областей, содержащих дефекты кровли.

Процесс обучения сверточной нейронной сети проведен с помощью оптимизатора Adam с

коэффициентом скорости обучения, равным 0.00001.

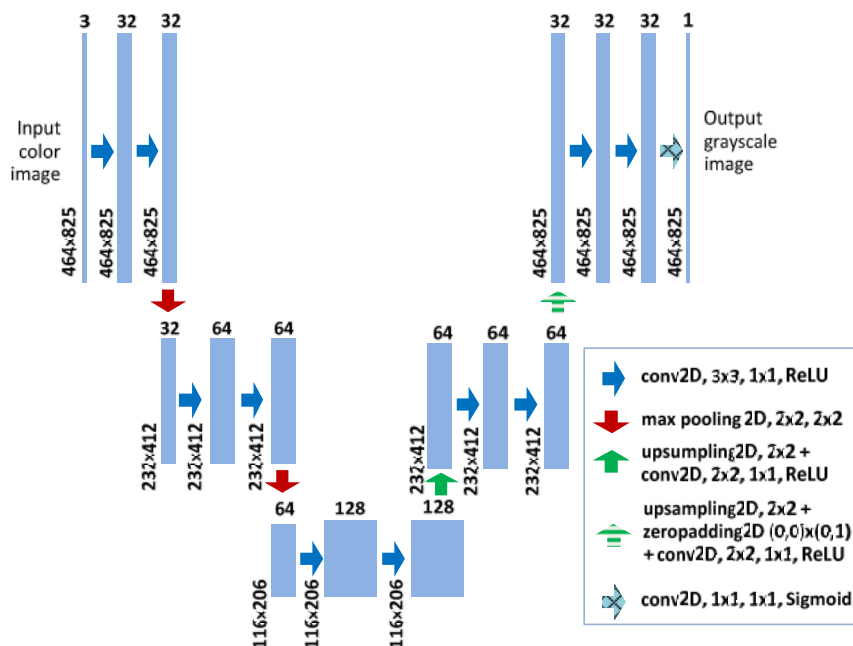


Рис. 2. Архитектура глубокой сверточной нейронной сети для сегментации изображений с 13 сверточными слоями (FCN13)

Результаты обучения выбранных архитектур полностью сверточных нейронных сетей на 80 эпохах показаны на рис. 4. Они показывают, что несмотря на относительно небольшой объем обучающей выборки нейронные сети обучаются до приемлемого

качества сегментации – мера Dice = $1 - \text{Loss}$ для FCN17 достигает около 0.78, для FCN13 – 0.76. Такие значения вполне позволяют применять полностью сверточную нейронную сеть в рассматриваемой задаче, что подтверждают примеры сегментации, показанные на рис. 5.

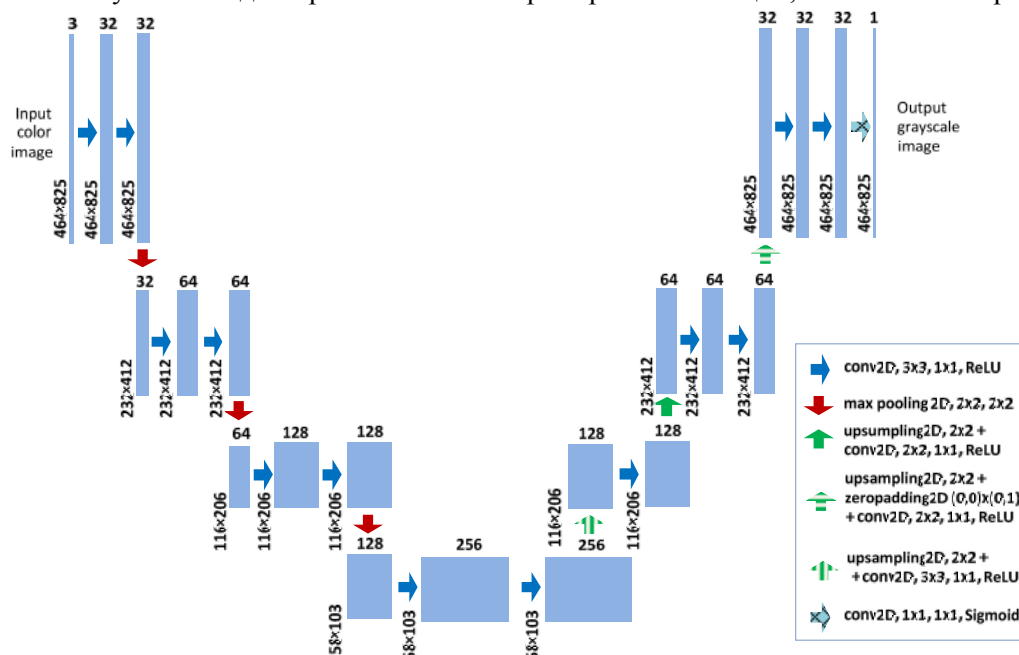


Рис. 3. Архитектура глубокой сверточной нейронной сети для сегментации изображений с 17 сверточными слоями (FCN17)

Для тестирования выбраны веса, получившиеся на 73 эпохе сети FCN17, функция потерь на обучающей выборке составляет 0,224, функция потерь на валидационной выборке равна 0,021.

Вычислительный эксперимент проведен с использованием технологии NVidia CUDA в 64-х битной операционной системе Windows 7, установленной на компьютер с центральным процессором Intel Core i-5-4570 (4 ядра) 3.2ГГц, оперативной памятью 8Гб и видеокартой NVidia GeForceGTX 960, имеющей графический процессор с частотой 1.253 ГГц и 1024 графических ядра (Shaders), а также 2 Гб встроенной памяти DDR5. Программная реализация глубокой пол-

ностью сверточной нейронной сети осуществлена с помощью библиотеки Keras 1.3 для интерпретатора python 3.5

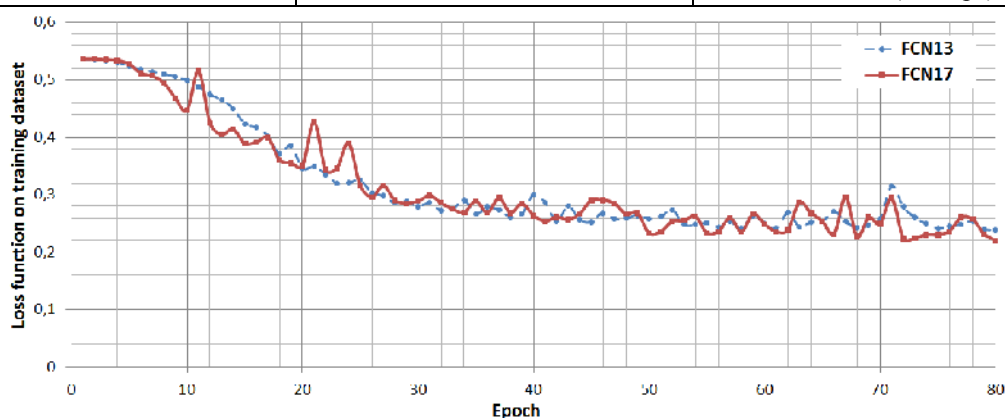
Общее время обучения сверточной нейронной сети на 80 эпохах составляет около 20 минут (см. табл. 1), что позволяет быстро вносить изменения в архитектуру и параметры настройки сети для достижения наиболее эффективных результатов сегментации.

Обученная сеть позволяет осуществлять обнаружение дефектов кровли на аэрофотоснимках со скоростью около 6 кадров в секунду, что приемлемо для применения в реальных приложениях.

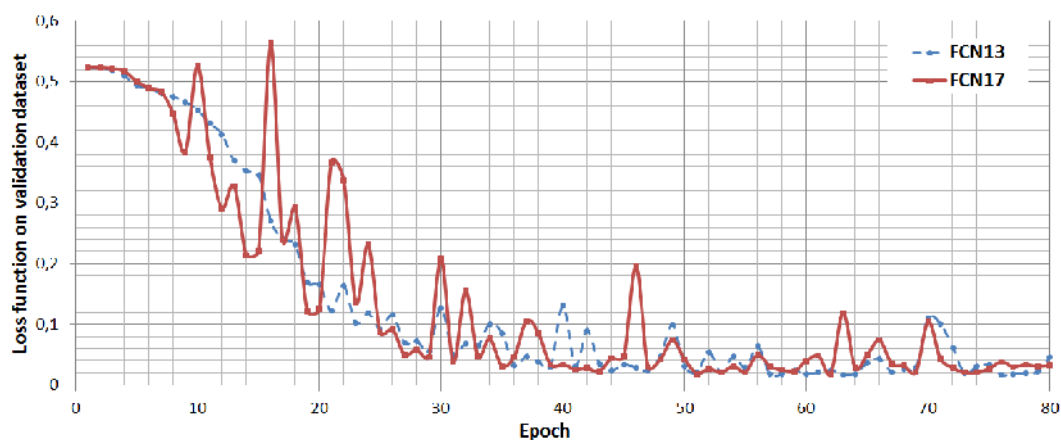
Таблица 1

Временные результаты работы глубоких сверточных нейронных сетей

Архитектура нейронной сети	Время обучения на 80 эпохах, с	Среднее время сегментации изображения в режиме тестирования, с
FCN17	1270.643	0,177 (5,65 fps)
FCN13	1072.485	0,151 (6,62 fps)



а)



б)

Рис. 4. Обучение глубокой сверточной нейронной сети в течение 80 эпох: а – функция потерь на обучающей выборке, б – функция потерь на тестовой выборке

Программная реализация предлагаемого подхода.

Программная реализация нейросетевого подхода обнаружения дефектов кровли на изображениях осуществлена с помощью кроссплатформенного языка программирования Python 3.5 и библиотек глубокого обучения keras и Tensorflow.

При работе программного комплекса основными этапами обнаружения дефектов кровли

на изображениях, полученных с беспилотного летательного аппарата являются:

- 1) Загрузка изображения;
- 2) Разметка изображения с помощью сверточной нейронной сети с выделением сегментов дефектов кровли;
- 3) Определение площади и периметра найденных дефектов каждого из типов и сохранение результатов.

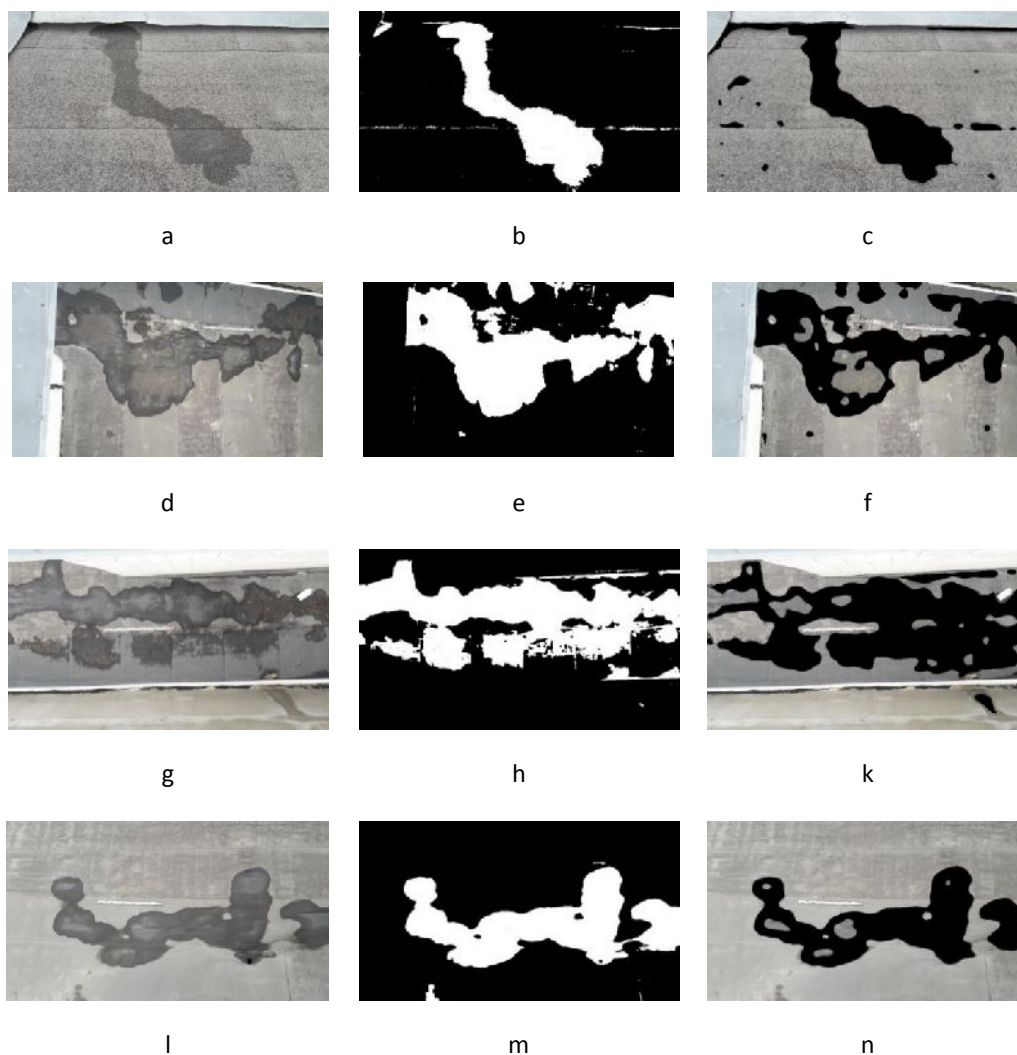


Рис. 5. Примеры распознавания дефектов с использованием глубокой полностью сверточной нейронной сети: a, d, g, l – исходные изображения, b, e, h, m – подготовленные бинарные маски, c, f, k, n – результаты работы нейронной сети архитектуры FCN

Результат определения площади и периметра для каждого из дефектов отображается как с помощью графического интерфейса, так и сохраняется в файл. Для корректного пересчета размеров из пикселей изображения в миллиметры применяется масштабный коэффициент, определяемый на основе характеристик съемки кровли с помощью беспилотного летательного аппарата (высоты полета летательного аппарата над кровлей, размера изображения, получаемого бортовой камерой). Возможно задание мас-

штабного коэффициента для пересчета площади и периметра найденного дефекта вручную.

Программа также позволяет осуществлять предварительную разметку дефектов на изображении или осуществлять корректировку результатов работы сверточной нейронной сети. Модуль автоматизированной разметки размещен авторами в свободном доступе на сервисе Github.

Выводы. Предлагаемый подход к нейросетевому обучению системы распознавания и диа-

гностики установленных дефектов строительных конструкций позволяют выделить области дефектов плоских рулонных кровель с приемлемым качеством. В качестве одного из алгоритмов выбран ранее не применявшийся к рассматриваемой задаче подход на основе глубоких полностью сверточных нейронных сетей, который позволяет повысить инвариантность алгоритма к теням и изменениям типа кровли. Разработанное программное обеспечение автоматизирует процесс обнаружения дефектов кровли на аэрофотоснимках, определения их площади и периметра. Оно протестировано на наборе дан-

ных, состоящем из фотографий кровли с дефектами и из подготовленных для них бинарных масок. Подход на основе FCN показал приемлемые результаты сегментации изображений из обучающей и тестовой выборки в смысле средней величины меры качества Dice. Программное обеспечение может использоваться для автоматизации мониторинга состояния кровли зданий в промышленности или жилищно-коммунальном хозяйстве, а также составления сметной документации на ремонт и обслуживание в задачах экспертизы состояния зданий и сооружений различного назначения.

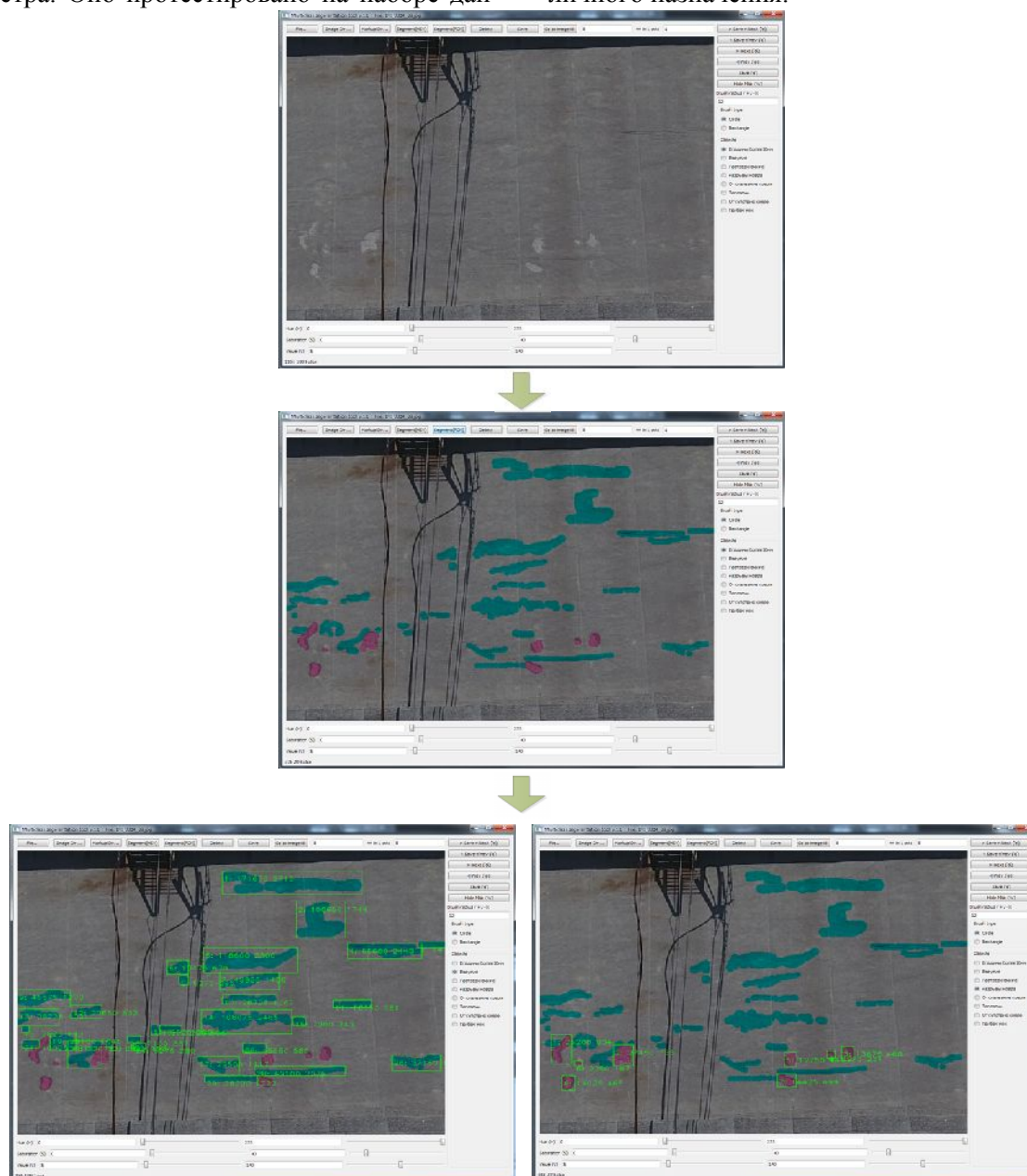


Рис. 6. Экраны, демонстрирующие этапы работы программы

Источник финансирования. Российский фонд фундаментальных исследований №18-47-310009 р_а «Научно-теоретические основы автоматизации аэрофотодефектоскопии в

строительно-технической экспертизе зданий и сооружений».

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Benedek C., Descombes X., Zerubia J. Building Extraction and Change Detection in Multitemporal Aerial and Satellite Images in a Joint Stochastic Approach, RR-7143, INRIA. 2009.
2. Gombos A.D. 2010 Detection of roof boundaries using lidar data and aerial photography, University of Kentucky Master's Theses
3. Puttemans S., Van Ranst W., Goedeme T. Detection of photovoltaic installations in rgb aerial imaging: a comparative study. 2015.
4. Stockton G.B. Using infrared thermography in flat and low-sloped roofing systems // Journal of the National Institute of building sciences. 2014. Pp. 16–19
5. Merabet Y.E., Meurie C., Ruichek Y., Sbihi A., Touahni R. Building Roof Segmentation from Aerial Images Using a Line-and Region-Based Watershed Segmentation Technique // Sensors (Basel). 2015. Vol. 15(2). Pp. 3172–3203
6. Yudin D.A., Magergut V.Z. Segmentation of sintering images using texture analysis based on self-organized maps // Information technologies. 2013. Vol. 5. Pp. 65–70
7. He Y. Deep Learning Tutorial for Kaggle Ultrasound Nerve Segmentation competition, using Keras. Xi'an Jiaotong University <https://github.com/yihui-he/u-net>
8. LeCun Y., Bengio Y., Hinton G. Deep learning // Nature. 2015. Vol. 52. Pp. 436–444
9. Everingham M., Van Gool L., Williams C.K.I., Winn J., Zisserman A. The PASCAL Visual Object Classes Challenge 2011 (VOC2011) Results. <http://www.pascal-network.org/challenges/VOC/voc2011/workshop/index.html>.
10. Shelhamer E., Long J., Darrell T. Fully Convolutional Networks for Semantic Segmentation PAMI. 2016. arXiv:1605.06211
11. Ronneberger O., Fischer P., Brox T. U-Net: Convolutional Networks for Biomedical Image Segmentation // Medical Image Computing and Computer-Assisted Intervention (MICCAI), Springer, LNCS. 2015. Vol. 9351 Pp. 234–241
12. Dumoulin V., Visin F. A guide to convolution arithmetic for deep learning. 2016. arXiv:1603.07285v1
13. Keras: Deep Learning library for Theano and TensorFlow <https://keras.io/>.

Информация об авторах

Наумов Андрей Евгеньевич, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой экспертизы и управления недвижимостью. E-mail: andrena@mail.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Поступила в феврале 2019 г.

© Наумов А.Е., Юдин Д.А., Долженко А.В., 2019

^{1,*}**Naumov A.E., ¹Yudin D.A., ¹Dolzhenko A.V.**

¹*Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhova*

Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46

**E-mail: naumov.ae@bstu.ru*

IMPROVING THE TECHNOLOGY OF CONDUCTING CONSTRUCTION AND TECHNICAL EXPERTISE USING A HARDWARE AND SOFTWARE COMPLEX OF AUTOMATED INSPECTION

Abstract. As part of the construction and technical expertise of buildings and structures, great importance and responsibility in constructing final conclusions about the technical condition of the object of research is assigned to the process of inspection, carried out visually and instrumentally with the interpretation of the results by subjective expert methods. In the current performance standard, the construction-technical inspection has a number of fundamental flaws: significant schematics of the collection algorithms, simplified diagnostics and coarsening of the analysis of field research results for geometrically extended or structurally complex real estate objects caused by the negative influence of the human factor on the inspection process, inaccessibility of the object for inspection, low information culture of documenting and archiving the results of inspection. All of the above makes it difficult to dynamically monitor objects and is characterized by a significant increase in the cost and timing of the repair work due to the late diagnosis of defects and the selectiveness of the volume of expert research.

To improve the reliability, objectivity, unification of approaches and information flows associated with the production of construction and technical expertise of buildings and structures designed the proposed system. It is based on photo and video filming of long and hard-to-reach surfaces of buildings and structures using unmanned aerial vehicles, followed by automated processing of the received photo and video material,

its intellectual analysis, automated recognition, classification, quantification of installed defects, and innovative documenting technology and automation of acceptance rational organizational and technological solutions in the practice of technical operation and monitoring national reliability of the surveyed property.

Keywords: inspection, aerial photography, construction and technical expertise, neural networks, recognition, segmentation, defect, deep learning, fully convolutional network.

REFERENCES

1. Benedek C., Descombes X., Zerubia J. Building Extraction and Change Detection in Multitemporal Aerial and Satellite Images in a Joint Stochastic Approach, RR-7143, INRIA. 2009.
2. Gombos A.D. 2010 Detection of roof boundaries using lidar data and aerial photography, University of Kentucky Master's Theses
3. Puttemans S., Van Ranst W., Goedeme T. Detection of photovoltaic installations in rgb aerial imaging: a comparative study. 2015.
4. Stockton G.B. Using infrared thermography in flat and low-sloped roofing systems. Journal of the National Institute of building sciences. 2014. Pp. 16–19
5. Merabet Y.E., Meurie C., Ruichek Y., Sbihi A., Touahni R. Building Roof Segmentation from Aerial Images Using a Line-and Region-Based Watershed Segmentation Technique. Sensors (Basel). 2015. Vol. 15(2). Pp. 3172–3203
6. Yudin D.A., Magergut V.Z. Segmentation of sintering images using texture analysis based on self-organized maps. Information technologies. 2013. Vol. 5. Pp. 65–70
7. He Y. Deep Learning Tutorial for Kaggle Ultrasound Nerve Segmentation competition, using Keras. Xi'an Jiaotong University <https://github.com/yihui-he/u-net>
8. LeCun Y., Bengio Y., Hinton G. Deep learning. Nature. 2015. Vol. 52. Pp. 436–444
9. Everingham M., Van Gool L., Williams C.K.I., Winn J., Zisserman A. The PASCAL Visual Object Classes Challenge 2011 (VOC2011) Results. <http://www.pascal-network.org/challenges/VOC/voc2011/workshop/index.html>.
10. Shelhamer E., Long J., Darrell T. Fully Convolutional Networks for Semantic Segmentation PAMI 2016, arXiv:1605.06211
11. Ronneberger O., Fischer P., Brox T. U-Net: Convolutional Networks for Biomedical Image Segmentation. Medical Image Computing and Computer-Assisted Intervention (MICCAI), Springer, LNCS. 2015. Vol. 9351 Pp. 234–241
12. Dumoulin V., Visin F 2016 A guide to convolution arithmetic for deep learning arXiv:1603.07285v1
13. Keras: Deep Learning library for Theano and TensorFlow <https://keras.io/>.

Information about the authors

Naumov, Andrey E. PhD, Assistant professor. E-mail: andrena@mail.ru; naumov.ae@bstu.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

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

Dolzhenko, Alexander V. Senior lecturer. E-mail: da7182@mail.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Received in February 2019

Для цитирования:

Наумов А.Е., Юдин Д.А., Долженко А.В. Совершенствование технологии проведения строительно-технических экспертиз с использованием аппаратно-программного комплекса автоматизированной дефектоскопии // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2019. № 4. С. 61–69. DOI: 10.34031/article_5cb824d26344e7.45899508

For citation:

Naumov A.E., Yudin D.A., Dolzhenko A.V. Improving the technology of conducting construction and technical expertise using a hardware and software complex of automated inspection. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2019. No. 4. Pp. 61–69. DOI: 10.34031/article_5cb824d26344e7.45899508

DOI: 10.34031/article_5cb1e65c9f1f72.39954168

^{1,*}Панченко Л.А., ²Ерижокова Е.С.¹Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова
Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, 46²Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет.
Россия, 129337, Московская область, г. Москва, Ярославское шоссе, 26

*E-mail: panchenko.la@bstu.ru

СТЕКЛОФИБРОБЕТОН В ТОНКОСТЕННЫХ КОНСТРУКЦИЯХ

Аннотация. Волокнистые композиты относятся к прогрессивным материалам для зданий и сооружений. Конструкции на их основе имеют высокие технические и экономические характеристики. Стеклофибробетон имеет эффективное применение для тонкостенных конструкций. Для решения проектных задач предложены вариационные принципы строительной механики применительно к волокнистым композитам. Оптимальная конфигурация оболочки определяется из условия стационарности ее потенциальной энергии при заданных величинах расчетных сопротивлений компонентов материала. Такая постановка задачи приводит к глобальному минимуму объема оболочки. В частности, рассматривается осесимметрично нагруженная сферическая оболочка, для которой оптимальная толщина определяется из условия равного сопротивления по критерию Мизеса. Рекомендованы типы элементов для сборного стеклофибробетонного купола различных пролетов. Рассмотрены также тоннели мелкого заложения, являющиеся распространенным объектом транспортно-коммуникаций. Установлена рациональность применения для них тонкостенных пространственных систем, состоящих из прямоугольных пластинок. Решена изопериметрическая задача при заданном объеме материала на основе обобщенного вариационного принципа Лагранжа. В качестве варьируемого параметра принимается толщина прямоугольных пластинок пространственной системы тоннеля.

Ключевые слова: стеклофибробетон, тонкостенные конструкции, проектные задачи, вариационные принципы строительной механики, оболочки, тоннели мелкого заложения.

Введение. Производство и широкое применение в строительстве новых материалов с улучшенными механическими свойствами способствует научно-техническому прогрессу в стране. К разряду эффективных материалов относятся волокнистые композиты. Наличие преимущественных свойств, касающихся прочности, веса, стоимости способствует их широкому распространению в строительной отрасли. Применение таких материалов является одним из перспективных направлений в строительстве ввиду возрастающего объема сооружений с варьируемыми функциями, требующими обеспечения нового качества и надежности конструкций. Волокнистые композиты используются в виде внутренней арматуры (волокна, стержни в бетоне), а также как внешняя арматура (в форме полос).

Перспективной сферой применения такого рода материалов является также усиление существующих бетонных и железобетонных конструкций. Среди большого числа волокон особое распространение получили полимеры, армированные стеклянными и углеродными волокнами.

В тонких нитях количество дефектов значительно меньше, чем в массивных образцах. Например, при растяжении массивных стеклянных образцов предел прочности составляет

50–100 МПа, а для стеклянных волокон диаметром 10 мкм он возрастает до 1500–2500 МПа.

В настоящее время получены и используются волокна с уникальными свойствами – высокой прочностью, повышенным термическим сопротивлением, химической стойкостью (карбид и нитрид кремния, бор, углерод, графит, диабаз и др.). По прочности эти волокна в несколько раз превосходят сталь, а ткани из них выдерживают температуру до 2000 °С.

Как было сказано выше, в строительстве чаще всего используются композиты (конгломераты), матрицу которых составляет бетон. Внешение волокон наделяет бетон новыми свойствами и в то же время открывает путь более совершенной новой технологии изготовления строительных материалов и изделий. В бетоносмесительные агрегаты загружают щебень, песок, цемент и волокна. После затворения водой и перемешивания получают готовую к использованию армированную бетонную смесь, которую заливают в форму для предназначенного изделия. Время для его изготовления сокращается практически вдвое, а значительное повышение механических свойств материала ведет к снижению материалоемкости, веса и стоимости изделия.

Главное внимание в статье уделено стеклянным волокнам, которые по своим эксплуата-

ционными качествам получают надежную перспективу, в основном, в связи со сдерживанием процесса трещинообразования.

Эффективность стеклофибробетона в гражданском и промышленном строительстве обнаруживается прежде всего при устройстве ограждающих конструкций. Изготавливаемые из него стены, перегородки, полы, покрытия и перекрытия, а также конструкции специального назначения – трубы, лотки, каналы, шпунт, тубинги, кольца отличаются хорошими эксплуатационными свойствами. Одновременно наблюдается снижение трудоемкости работ по изготовлению конструкций на 25–30 %, расхода бетона на 20–25 %, стали – до 15 % и стоимости строительства – до 20 %.

Стеклофибробетон находит применение в жилищном строительстве при изготовлении трехслойных стеновых панелей, ограждений лоджий, козырьков входов и плит перекрытий. Особенно перспективен вариант применения стеклопластиковой арматуры в качестве гибких связей для трехслойных плит и панелей. Такая арматура устойчива к химически разрушающему действию бетонов и растворов. Кроме того, замена стальных гибких связей стеклопластиковыми аналогами в трехслойных панелях позволяет достигнуть значительного экономического эффекта. Так, их эффективность по теплопередаче при эксплуатации возрастает на 10–15 %.

Тонкостенные архитектурные формы из стеклофибробетона обладают повышенной прочностью при небольшой массе [1–5]. Из готовых стеклофибробетонных элементов собирают павильоны, навесы для автовокзалов, летние кафе. Такие элементы значительно сокращают процесс строительства.

Оптимальное сочетание составляющих конгломерата и вводимых волокон возможно при любых заполнителях, однако предпочтение получают составы с максимальной плотностью упаковки частиц, что ведет к уменьшению расхода вяжущего вещества.

В качестве вяжущего для приготовления мелкозернистого стеклофибробетона применяют портландцемент, глиноземистый цемент марок не ниже М400, а также добавки микрокремнезема и др.

Армирование стеклофибробетонных конструкций ведется щелочестойкими волокнами в виде отрезков, как правило, длиной от 10 до 60 мм. Повышенные нагрузки могут вызвать комбинированное армирование, когда волокна сочетаются со стержневой или проволочной стальной арматурой.

В реальности целесообразно корректировать состав заполняющей части по мере изменения фазового соотношения, а, следовательно, и массы вяжущей части. С увеличением фазового соотношения возрастает доля мелкозернистого заполнителя (в данном случае песка) при увеличении водоцементного отношения. Это способствует доуплотнению смеси, дополнительной адсорбции и сольватации части свободной жидкой среды, поддержанию на должном уровне вязкости вяжущего.

В качестве примера использования стеклянных и углеродных волокон укажем в первую очередь московские объекты: тоннели, система водоотвода, распределительные полосы мостов и путепроводов МКАД, Новоспасский мост, Остаповский и Старобасманный путепроводы, «Москва-Сити».

Методика. Наиболее существенные параметры, отражающиеся на сочетании волокна и матрицы – состояние матрицы (без трещин или с трещинами), композиция матрицы, геометрия и качество поверхности волокна, соотношение жесткостей волокна и матрицы, ориентация волокон, их объемная доля, продолжительность функционирования волокна в композите.

С позиций передачи прилагаемой нагрузки рассмотрено взаимодействие волокна с однородной матрицей без трещин и с трещинами. Получены математические выражения для напряжения сдвига волокна на поверхности контакта и напряжения вдоль волокна [1]. При образовании трещин волокна становятся мостом через трещину, передающим сквозь нее нагрузку.

Зона взаимодействия матрицы и волокна существует вплоть до 50 мкм вглубь его поверхности. Эта зона содержит двойную пленку толщиной приблизительно 1–2 мкм, которая окружает волокно, область больших кристаллов СН, имеющую глубину вплоть до 30 мкм, и область, которая имеет достаточную пористость. Вклад зоны взаимодействия в механические свойства композита определяется процессом связывания и отслаивания волокна. Слабое взаимодействие может привести к расслоению композита и вызвать рост трещин в матрице и их приближение к волокнам.

С учетом синергетических эффектов взаимодействия различных элементов армирования вязкость разрушения мелкозернистого бетона возрастает до трех раз. Вследствие этого трехкратное возрастание трещиностойкости значительно возмещает расход (до 160 %) на многоуровневое армирование, в частности, мелкозернистый бетон примерно в 1,5 раза экономичнее традиционного [6].

При E_m и E_f , представляющих модули упругости матрицы и волокон, и V_m и V_f , представляющих доли объема каждой фазы (как доли объема композита), модуль композита E_c можно выразить так:

$$E_c = V_f E_f + (1 - V_f) E_m, \quad (1)$$

На основе формулы (1) можно записать:

$$\sigma_c = \sigma_m [1 + V_f (M - 1)], \quad (2)$$

где σ_c, σ_m – напряжения композита и матрицы, соответственно;

$$M = \frac{\sigma_f}{\sigma_m} = \frac{E_f}{E_m}, \quad (3)$$

Формулы (1) и (2) действительны при следующих предположениях: волокна непрерывны и выстроены в направлении напряжений; перед образованием трещин волокна полностью связывают матрицу; коэффициент Пуассона волокна и матрицы равен нулю.

Исследовано влияние энергетического фактора на механизм разрушения конгломерата. Рост трещины определяет область разрушения. На механизм разрушения влияют конкретные ситуации, касающиеся поведения хрупкого материала. Имеются в виду: область микротрещинообразования,

ветвление трещины, ее отклонение вследствие наличия волокна-перемычки, поверхностное зацепление и закрытие трещины. Дополнительное упрочнение в связи с наличием волокон повышает внутреннюю энергию разрушения, что увеличивает предел прочности фибробетона.

В табл. 1 показано влияние длины волокна на вид разрушения композита и связанный с этим уровень растягивающих напряжений в волокне, с чем связана прочность бетонных и железобетонных элементов, армированных стекловолокном [1].

Таблица 1

Влияние длины волокна на вид разрушения и напряжения растяжения волокна

Длина	Вид разрушения	Растягивающие напряжения в волокне
$l < l_p$	Волокно выходит путем внезапного отслаивания	$\sigma < \sigma_{fu}$
$l_p < l < l_{cr}$	Волокно выходит при постепенном отслаивании	$\sigma < \sigma_{fu}$
$l_{cr} < l$	Волокно разрушается без какого-либо отслаивания	$\sigma > \sigma_{fu}$

Здесь l_p – минимальная длина связи, необходимая для предотвращения ее от катастрофического разрушения, σ_{fu} – предельное напряжение растяжения волокна.

Стеклофибробетон в тонкостенных конструкциях может быть использован сам по себе или в сочетании с дискретным армированием. Фундаментальный подход к их расчету требует формулировки новых вариационных принципов для систем из дисперсно и дискретно армированного материала.

В их основу положены фундаментальные принципы Лагранжа и Кастильяно. Их обобщение трактуется в функциональном пространстве, расширенном за счет полей функций конфигурации и модулей упругости материала. При этом, варьируемыми параметрами являются перемещения (напряжения), конфигурация и модули материала [7–9].

Из условий стационарности обобщенного функционала Лагранжа (Кастильяно) вытекают уравнения равновесия (совместности деформаций), уравнения связи, а также уравнения структурообразования, обуславливающие критерий оптимальности конструкции.

В изопериметрических задачах в качестве уравнения связи принимается условие постоянства объема, которое посредством множителя Лагранжа вводится в качестве дополнительного слагаемого в функционал вариационной задачи.

В частном случае конструкция может быть равнонапряженной по всему объему, и тогда, по теореме Васютинского для линейно-упругого тела, ей соответствует минимум потенциальной энергии деформации. Так как последняя пропорциональна объему тела, то в качестве критерия оптимальности здесь может выступать минимум объема.

Величина модуля E_c находится в зависимости от свойств матрицы и волокон, а также от их длины и процента включения. С этой целью проводятся эксперименты на растянутых и сжатых образцах. Модуль упругости E дискретной арматуры зависит исключительно от ее материала.

Основная часть. Оптимальная конфигурация оболочки определяется из условия стационарности ее потенциальной энергии при заданных величинах расчетных сопротивлений компонентов материала [10–13]. Такая постановка задачи приводит к глобальному минимуму объема оболочки.

Рассмотрим осесимметрично нагруженную сферическую оболочку, для которой оптимальная толщина определяется из условия равного сопротивления по критерию Мизеса:

$$\sigma_{red}^2 = \sigma_\varphi^2 + \sigma_\theta^2 - \sigma_\varphi \sigma_\theta, \quad (4)$$

где σ_φ – меридиональное напряжение, направленное по касательной к меридиану; σ_θ – кольцевое напряжение, направленное по касательной к окружности; σ_{red} – приведенное напряжение, понимаемое как напряжение в условиях одноосного состояния, эквивалентного по своему эффекту напряжениям при рассматриваемом плоском напряженном состоянии.

Напряжения для сферического купола радиуса r вычисляются по формулам:

$$\sigma_\varphi = -(pr)/2h_\varphi, \quad (5)$$

$$\sigma_\theta = -(pr \cos 2\varphi)/2h_\varphi, \quad (6)$$

где p – интенсивность нагрузки на горизонтальную проекцию оболочки; h_φ – ее толщина; φ – угол, определяющий сечение оболочки, нормальное к оси вращения.

После подстановки выражений (5) и (6) в формулу (4) получаем равенство

$$\sigma_{red}^2 = [(pr)/(2h_\varphi)]^2 (2 \sin^2 \varphi + \cos^2 2\varphi). \quad (7)$$

Для стеклофибробетона, имеющего разные расчетные сопротивления сжатию и растяжению (R_{fb} и R_{fbt}) используются два выражения толщины [1]:

$$h_\varphi^c = \frac{pr}{2R_{fb}} \sqrt{2 \sin^2 \varphi + \cos^2 2\varphi}, \quad 0 \leq \varphi \leq \pi/4 \quad (8)$$

$$h_\varphi^t = \frac{pr}{2R_{fbt}} \sqrt{2 \sin^2 \varphi + \cos^2 2\varphi}, \quad \pi/4 \leq \varphi \leq \pi/2, \quad (9)$$

где h_φ^c (h_φ^t) – толщина купола в сжатой (растянутой) области.

При этом учитывается, что при $\varphi > \pi/4$ кольцевое усилие становится растягивающим. После вычисления оптимальных толщин необ-

ходимо произвести проверку условий прочности в меридиональном и кольцевом направлениях и на главных площадках.

Сборный стеклофибробетонный купол требует особого внимания в отношении прочности, долговечности и технологичности узлов. Рекомендованы следующие типы элементов: а) при пролетах от 12 до 42 м – ребристые плиты длиной 6 м прямоугольной, трапецевидной формы и в виде равностороннего треугольника; б) при пролетах до 12 м безреберные элементы в виде складок с ромбическим планом.

Результаты автоматизированного расчета железобетонного цилиндрического резервуара с дисперсным армированием рассмотрены в работе [14].

Распространенным объектом транспортных коммуникаций являются тоннели мелкого заложения. Существенная инженерная проблема – совершенствование формы их несущих конструкций и подбор материалов. Из утилитарных соображений утверждаются габариты тоннелей. В основу концепции конструирования объекта принимается способность наиболее эффективного противостояния эксплуатационным воздействиям и давлению грунта. Теория и практика таких сооружений подтвердили рациональность применения тонкостенных пространственных систем, состоящих из прямоугольных пластинок.

Рассмотрим изопериметрическую задачу при заданном объеме материала V_0 и решим ее с использованием обобщенного принципа Лагранжа.

Выделим из складки тоннеля элемент (рис. 1) и запишем выражение обобщенного функционала Лагранжа:

$$J = \iint \left\{ \frac{1}{2} \left(N_x \frac{\partial u}{\partial x} + S \left(\frac{\partial u}{\partial s} + \frac{\partial v}{\partial x} \right) - \left(\frac{\partial u}{\partial s} + \frac{\partial v}{\partial x} \right) - \left(\frac{\partial u}{\partial s} + \frac{\partial v}{\partial x} \right) + 2H \frac{\partial^2 w}{\partial x \partial s} + kw^2 \right) - \right. \\ \left. - q_x u - q_s v - q_v w \right\} dx ds + \lambda (V - V_0), \quad (10)$$

где N_x , N_s , M_x , M_s , H – внутренние усилия; q_x , q_s , q_v – компоненты нагрузки; $M_p(x, s)$ – изгибающие моменты от нагрузки в основной системе метода перемещений для элементарной плоскости, выделенной из складки весьма близкими сечениями $x = x_0$ и $x = x_0 + \Delta x$; u , v , w – ком-

поненты перемещений; k – коэффициент постели упругой среды; E – модуль Юнга; $I = \delta^3/12$ (δ – толщина складки), λ – множитель Лагранжа.

В формуле (10) внутренние усилия имеют следующий вид:

$$N_x = \sigma \delta = E \frac{\partial u}{\partial s} \delta; \quad S = \tau \delta = G \left(\frac{\partial u}{\partial s} + \frac{\partial v}{\partial x} \right) \delta; \\ M_x = -EI \frac{\partial^2 w}{\partial x^2}; \quad H = EI \frac{\partial^2 w}{\partial x \partial s}; \quad M_s = M_p(x, s) - EI \frac{\partial^2 w}{\partial s^2}, \quad (11)$$

где σ и τ – нормальные и касательные напряжения соответственно; G – модуль сдвига.

В данном случае варьируемыми функциями являются перемещения, толщины складки, мно-

житель Лагранжа. Следствием стационарности функционала (10) являются:

1) дифференциальные уравнения равновесия в объеме складки V :

$$\frac{d}{dx} \frac{\partial F}{\partial U'_i} - \frac{\partial F}{\partial U_i} = 0; \\ - \frac{d^2}{dx^2} \frac{\partial F}{\partial V'_k} + \frac{d}{dx} \frac{\partial F}{\partial V'_k} - \frac{\partial F}{\partial V_k} = 0, \quad (12)$$

где F – подынтегральная функция в выражении (10), $U_i(x)$ и $V_k(x)$ – обобщенные перемещения;

2) уравнения равновесия на части поверхности, несущей нагрузку как естественные граничные условия;

3) уравнение заданного объема, как уравнение связи;

4) уравнения структурообразования.

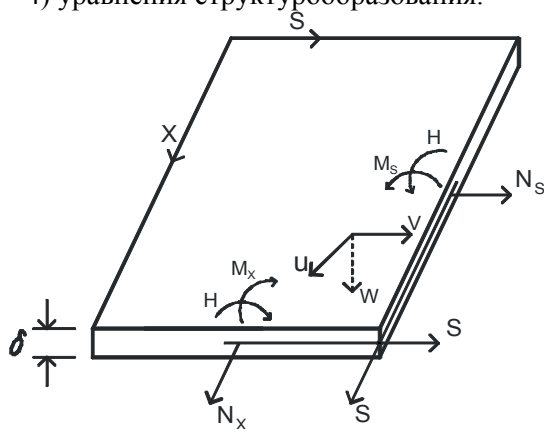


Рис. 1. Элемент, выделенный из складки тоннеля

Последний вид уравнений вытекает из условия, отвечающего варьированию функционала (10) по функции $\delta(x, s)$, которая в общем случае может иметь вид двойного тригонометрического ряда с неизвестными коэффициентами.

В итоге конструкция наделяется максимальными показателями в отношении жесткости, что соответствует минимаксу – минимуму по функциям перемещений максимумов по функциям конфигурации.

Обычно для конструкций тоннелей мелкого заложения используют бетон, армированный стальными сетками и каркасами. Как было сказано выше, в целях сдерживания трещинообразования рационально использовать дисперсное армирование стекловолокном и в необходимых случаях углеродными волокнами. Бетон с дисперсным армированием, кроме того, наделяется повышенной ударной вязкостью, износостойкостью, морозостойкостью и атмосферостойкостью, что является существенным преимуществом для конструкций тоннелей. Таким образом, сочетание тонкостенности элементов конструкций и свойств указанного материала приводит к экономичному решению задачи.

Стальная стержневая или проволочная арматура может быть учтена путем ее приведения к фибровому армированию согласно ВСН 56-97 [15]:

$$\mu_f^{red} = \mu_f + \mu_s(R_s/R_{fbt}), \quad (13)$$

где μ_f – коэффициент фибрового армирования по объему; μ_s – коэффициент армирования стальной арматуры; R_s – расчетное сопротивление растяжению стальной арматуры.

Рекомендованный коэффициент фибрового армирования – от 0,01 до 0,05. Его увеличение возможно при повышенных требованиях в части трещиностойкости, что обсуждалось, в частности, в работах [4–6].

Выводы. Решение задач для подземного и надземного строительства, связанных с использованием тонкостенных конструкций, показало их особую эффективность при дисперсном армировании стекловолокном, сдерживающим процесс трещинообразования.

Предложенная вариационная постановка задачи для случая дисперсно и дискретно армированного материала позволяет представить решение в виде системы алгебраических уравнений, что соответствует инженерному подходу к задачам такого рода.

Даны рекомендации в отношении процента фибрового армирования и типов тонкостенных элементов из стеклофибробетона при изготовлении сборных конструкций.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Панченко Л.А. Строительные конструкции с волокнистыми композитами. Белгород: Изд-во БГТУ, 2013. 183 с.
2. Ehsani M.R., Saadatmanesh H. Design recommendation for bond of GFRP rebars to concrete // Journal of Structural Engineering. 1996. March. Pp. 247–254.
3. Swamy R.N. Fibre-reinforced concrete: mechanics, properties and applications // Indian Concrete Journal. 1974. Vol. 48 (1). Pp. 7–16.
4. Kargahi M. Fiber reinforced plastic (FRP) shell as external reinforcement for concrete columns: MS; University of Central Florida. Fla., 1995. 32 p.
5. Мэттьюз Ф., Ролингс Р. Композитные материалы. Механика и технология. Пер. с англ. С.Л. Баженова. М.: Техносфера, 2004. 408 с.
6. Юрьев А.Г., Панченко Л.А. Многоуровневое армирование конгломератов // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2017. № 1. С. 57–59.
7. Yuriev A.G., Panchenko L.A., Naumov A.E. A Variational statement of problem for the case of dispersely and discretely reinforced material

// International Journal of Pharmacy and Technology. 2016. Т. 8. № 3. С. 15361–15369.

8. Юрьев А.Г. Строительная механика: Синтез конструкций. М.: МИСИ, 1982. 100 с.

9. Юрьев А.Г. Вариационные принципы строительной механики. Белгород: Изд-во БелГТАСМ, 2002. 90 с.

10. Колтунов Н.В. Основы расчета упругих оболочек. М.: Выс. школа, 1963. 279 с.

11. Ржаницын А.Р. Расчет упругих оболочек. М.: Изд-во МИСИ, 1977. 104 с.

12. Талантова К.В., Халтурина Л.В. Оболочки покрытия храмовых зданий на основе

стале-фибробетона // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2009. № 1. С. 13–16.

13. Юрьев А.Г. Основы проектирования рациональных несущих конструкций. Белгород: Изд-во БТИСМ, 1998. 94 с.

14. Панченко Л.А., Шевченко А.В. Железобетонный цилиндрический резервуар с дополнительным дисперсным армированием // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2017. № 9. С. 36–42.

15. Проектирование и основные положения технологий производства фибробетонных конструкций (ВСН 56-97). М.: НТУ НИЦ «Строительство», 1997. 91 с.

Поступила в феврале 2019 г.

© Панченко Л.А., Ерижкова Е.С., 2019

Информация об авторах

Панченко Лариса Александровна, кандидат технических наук, доцент кафедры теоретической механики и сопротивления материалов. E-mail: panchenko.la@bstu.ru; panchenko.bstu@mail.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, г. Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Ерижкова Елена Сергеевна, студент. E-mail: sockolowa.le@yandex.ru. Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет. Россия, 129337, Московская область, г. Москва, Ярославское шоссе, 26.

^{1,*}**Panchenko L.A.**, ²**Erizhokova E.S**

¹Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov
Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46

²Moscow State University of Civil Engineering (National Research University)
Russia, 129337, Moscow, Yaroslavl highway, 26

*E-mail: panchenko.la@bstu.ru

GLASS FIBER REINFORCED CONCRETE IN THIN-WALLED CONSTRUCTIONS

Abstract. Fibrous composites are progressive materials for buildings and structures. Structures based on them are characterized by high technical and economic characteristics. Glass fiber concrete is effective for thin-walled structures. Various principles of structural mechanics applied to fiber composites are proposed for solving design problems. The optimal configuration of the covering is determined by the stationarity of its potential energy for given values of the calculated resistances of the material components. This formulation of the problem leads to a global minimum of the covering volume. In particular, an axisymmetrical loaded spherical cover is considered; the optimal thickness is determined from the condition of equal resistance by the von Mises yield criterion. Types of elements for precast glass-fiber concrete of various spans are recommended. In addition, the shallow tunnels are considered; they are a prevalent object of transport communications. The rationality of using the thin-walled spatial systems consisting of rectangular plates is established. The isoperimetric problem is solved for a given volume of material based on the generalized Lagrangian principles. The thickness of the rectangular plates of the spatial system of the tunnel is taken as a variable parameter.

Keywords: glass fiber concrete, thin-walled structures, design tasks, variational principles of structural mechanics, covers, shallow tunnels.

REFERENCES

1. Panchenko L.A. Building structures with fibrous composites [*Stroitel'nye konstrukcii s voloknistymi kompozitami*]. Belgorod: Publishing house of BSTU, 2013, 183 p. (rus)

2. Ehsani M.R., Saadatmanesh H. Design recommendation for bond of GFRP rebars to concrete.

Journal of Structural Engineering. 1996, March. Pp. 247–254.

3. Swamy R.N. Fibre-reinforced concrete: mechanics, properties and applications. Indian Concrete Journal. 1974. Vol. 48 (1). Pp. 7–16.

4. Kargahi M. Fiber reinforced plastic (FRP) shell as external reinforcement for concrete col-

umns: MS; University of Central Florida. Fla., 1995. 32 p. (rus)

5. Matthews F., Rawlings R. Composite materials. Mechanics and technology [*Kompozitnye materialy. Mekhanika i tekhnologiya*]. Per. with English. S.L. Bazhenov. M.: Technosphere, 2004. 408 p. (rus)

6. Yuriev A.G., Panchenko L.A. Multi-level reinforcement of conglomerates [*Mnogourovnevoe armirovanie konglomeratov*]. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2017. No. 1. Pp. 57–59. (rus)

7. Yuriev A.G., Panchenko L.A., Naumov A.E. A Variable statement of problem for the case of dispersed and Discretely reinforced material. International Journal of Pharmacy and Technology. 2016. Vol. 8. No. 3. Pp. 15361–15369.

8. Yuriev A.G. Structural mechanics: Synthesis structures [*Stroitel'naya mekhanika: Sintez konstrukcij*]. M.: MISI, 1982. 100 p. (rus)

9. Yuriev A.G. Variational principles of structural mechanics [*Variatsionnye principy stroitel'noj mekhaniki*]. Belgorod: Publishing house Belgram, 2002. 90 p. (rus)

10. Koltunov N.In. Bases of calculation of elastic shells [*Osnovy rascheta uprugih obolochek*]. M.: Higher School, 1963. 279 p. (rus)

11. Rzhnitsyn A.R. Calculation of elastic shells [*Raschet uprugih obolochek*]. M.: publishing house MISI, 1977. 104 p. (rus)

12. Talantova K.V., Khalturina L.V. Coating Shells of temple buildings on the basis of steel-fiber concrete [*Obolochki pokrytiya hramovykh zdaniy na osnove stalefibrobetona*]. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2009. No. 1. Pp. 13–16. (rus)

13. Yuriev A.G. Fundamentals of design of rational load-bearing structures [*Osnovy projektirovaniya racional'nykh nesushchikh konstrukcij*]. Belgorod: Publishing house BTIM, 1998. 94 p. (rus)

14. Panchenko L.A., Shevchenko A.V. Reinforced Concrete cylindrical tank with additional dispersed reinforcement [*Zhelezobetonnyy cilindricheskij rezervuar s dopolnitel'nykh dispersnym armirovaniem*]. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2017. No. 9. Pp. 36–42. (rus)

15. Design and the main provisions of the technology of production of fiber-concrete structures (VSN 56-97). [*Proektirovanie i osnovnye polozheniya tekhnologii proizvodstva fibrobetonnykh konstrukcij (VSN 56-97)*]. M.: NTU SIC "Construction", 1997. 91 p. (rus)

Information about the authors

Panchenko, Larisa A. PhD, Assistant professor. E-mail: panchenko.bstu@mail.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Erizhokova, Elena S. Bachelor student. E-mail: sockolowa.le@yandex.ru. Moscow State University of Civil Engineering (National Research University). Russia, 129337, Moscow, Yaroslavl highway, 26.

Received in February 2019

Для цитирования:

Панченко Л.А., Ерижикова Е.С. Стеклофибробетон в тонкостенных конструкциях // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2019. №4. С. 70–76. DOI: 10.34031/article_5cb1e65c9f1f72.39954168

For citation:

Panchenko L.A., Erizhokova E.S. Glass fiber reinforced concrete in thin-walled constructions. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2019. No. 4. Pp. 70–76. DOI: 10.34031/article_5cb1e65c9f1f72.39954168

DOI:10.34031/article_5cb1e65e6c0d28.53980880

^{1,*}Никулин Н.Ю.¹Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

Россия, 308012, г. Белгород, ул. Костюкова, 46

*E-mail: Nick_973gt@mail.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛООБМЕНА В ИНТЕНСИФИЦИРОВАННОМ КОЖУХОТРУБНОМ АППАРАТЕ

Аннотация. Рассматривается применение теплообменных аппаратов в системах теплоснабжения РФ, а также их широкая распространенность. Уделено внимание основной задаче по улучшению работы серийных теплообменных аппаратов с гладкими трубками – повышению коэффициента теплопередачи. Рассмотрен один из способов повышения коэффициента теплопередачи – турбулизация потока жидкости на теплообменной поверхности. Представлена оригинальная конструкция поверхности теплообмена для кожухотрубных аппаратов систем теплоснабжения. Подробно изучена динамика нагреваемой жидкости в межтрубном пространстве кожухотрубного теплообменного аппарата при обтекании поверхности теплообмена с измененной геометрией (патент РФ 149737). Особенность динамики состоит в том, что ребро круглого сечения (элемент поверхности теплообмена) способствует созданию турбулизации потока нагреваемой жидкости на пластине, а также на поверхности следующего ребра. Сделан акцент на теплообменных процессах между твердой поверхностью ребра и нагреваемой жидкостью. Для ребра круглого сечения составлено уравнение теплопроводности в цилиндрических координатах с учетом стационарного процесса теплообмена, с внутренним источником тепловой энергии. Решение уравнения позволяет определить изменение температуры на поверхности, а также среднее значение температуры поверхности ребра. Эта величина позволит определить число Прандтля для расчета коэффициента теплоотдачи.

Ключевые слова: поверхность теплообмена, турбулизация, температура, коэффициент теплоотдачи.

Введение. Теплообменные аппараты поверхностного типа, в которых теплота передается от греющего к нагреваемому теплоносителю через разделяющую их твердую теплопроводную стенку, широко применяются в стационарных и транспортных энергетических установках, в тепло- и электроэнергетике, а также в различного рода теплотехнологических установках. Эти аппараты составляют значительную долю объема производства энергетического машиностроения. В системах теплоснабжения и теплофикации такими аппаратами являются сетевые и регенеративные подогреватели воды, охладители конденсата пара, охладители различных технологических продуктов, конденсаторы и переохладители тепловых насосов [1, 2].

В 2017 календарном году в Российской Федерации было отпущено потребителям $4,94 \cdot 10^8$ Гкал тепловой энергии. Это на 13 % больше, чем за предыдущий год [3].

Применение серийных теплообменных аппаратов, в частности с гладкими трубками (ГОСТ ГОСТ 27590), во многих случаях приводит к тому, что такие аппараты имеют, как правило, невысокий коэффициент теплопередачи. Это приводит к значительной площади поверхности теплообмена, повышенным металлоемкости и габаритам [4]. В термодинамических циклах, процессах производства при преобразова-

нии энергии удельный вес теплообменных аппаратов как оборудования по сравнению с общим паротурбинной установки достигает 30–35 % [5, 6].

Таким образом, из-за широкого распространения кожухотрубных теплообменных аппаратов актуален вопрос об интенсификации тепловых процессов.

Методика. В БГТУ им. В.Г. Шухова разработана оригинальная конструкция кожухотрубного теплообменного аппарата. Особенностью аппарата являются теплообменные трубки 1, оснащенные пластинами 2 с расположенными на них ребрами 3 цилиндрической формы [6]. Это позволяет увеличить теплообменную поверхность и создать дополнительную турбулизацию потока нагреваемой жидкости при обтекании этих ребер [7] (рис. 1).

В классических работах Жукаускаса А.А., Шлихтинга Г., Хинце И.О. [8–10] установлено, что при обтекании потоком жидкости цилиндра, начиная с числа $Re = 60$, за кормовой частью образуется зона завихрений, а при значении $Re > 5000$ и выше за кормовой частью – полное турбулентное перемешивание. Это приводит к уменьшению толщины ламинарного подслоя жидкости у пластины, а, следовательно, увеличению передачи теплоты через этот слой.

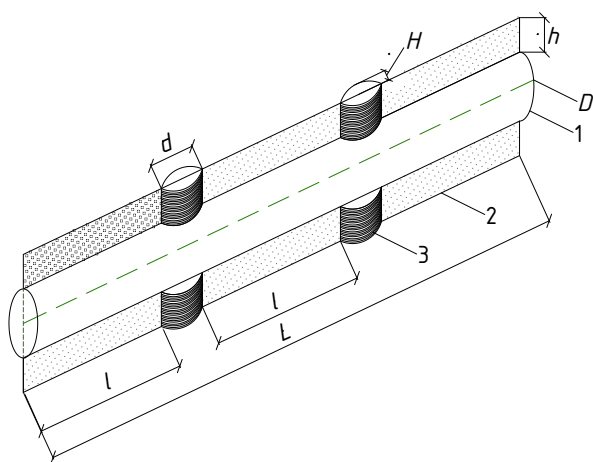


Рис. 1. Элемент теплообменной поверхности оригинального кожухотрубного теплообменного аппарата:

1 – трубка, 2 – пластина, 3 – ребра цилиндрической формы

На основании СП 41-01-95 «Проектирование тепловых пунктов» коэффициент теплопередачи K , Вт/(м²К) для аппаратов с гладкими трубками рассчитывается:

$$K = \frac{\Psi\beta}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{1}{\alpha_2} + \frac{\delta_{cm}}{\lambda_{cm}}} \quad (1)$$

где Ψ – коэффициент эффективности теплообмена, β – коэффициент, учитывающий загрязнение поверхности труб [11], α_1 – коэффициент теплоотдачи от внешней поверхности нагретой теплообменной трубки к нагреваемой жидкости межтрубного пространства, Вт/(м² К), δ – толщина стенки теплообменной трубки, м, λ – коэффициент теплопроводности материала трубки, Вт/(м·К), α_2 – коэффициент теплоотдачи от горячей жидкости, протекающей в трубке, к внутренней поверхности этой трубки, Вт/(м² К).

Так как в нашем случае изменена геометрия внешней поверхности трубки, то необходимо определить коэффициент α_1 .

Основная часть. Для этого рассмотрим обтекание потоком нагреваемой жидкости теплообменной поверхности, состоящей из пластины и ребер цилиндрической формы (рис. 2). За первым ребром образуется зона повышенной турбулизации потока (с многочисленными вихрями), которая распространяется на определенное расстояние. Следующее ребро установлено на таком расстоянии, при котором лобовая часть этого ребра находится еще интенсивном вихревом потоке. Таким образом, по поверхности следующего ребра будут так же распространяться многочисленные вихри жидкости. Турбулизированный поток жидкости будет способствовать уменьшению толщины ламинарного подслоя жидкости у поверхности, а, следовательно, – увеличению передачи теплоты (повышению коэффициента теплоотдачи) через этот слой [3].

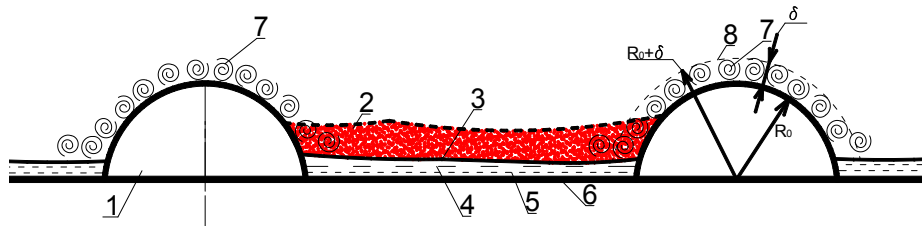


Рис. 2. Динамика жидкости при обтекании поверхности теплообмена

1 – ребро; 2 – зона турбулизации; 3 – пристенная область; 4 – промежуточный слой; 5 – вязкий подслей; 6 – пластина; 7 – зоны вихрей; 8 – внешняя граница вихрей

Для нахождения изменения температуры внутри цилиндрического тела радиусом R_0 и длиной L с вынужденным источником тепла q_0 выполненного в виде тонкой плоской пластинки, расположенной вдоль оси цилиндра (рис. 2, 3) воспользуемся стационарным уравнением

теплопроводности в цилиндрических координатах, учитывая, что в силу аксиальной симметрии функция распределения температуры внутри цилиндра зависит от координаты φ [12];

$$\frac{\partial^2 T}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial T}{\partial r} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} + \frac{q_0}{\lambda} = 0 \quad (2)$$

где λ – коэффициент теплопроводности цилиндрического тела, Вт/(м·К),

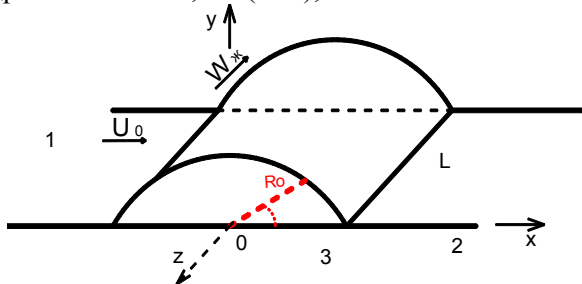


Рис. 3. Расчетная схема ребра цилиндрической формы для расчета температуры внутри цилиндрического тела с источником теплоты в виде плоской пластины

1 – вихри, 2 – пластина, 3 – ребро

В состоянии термодинамического равновесия количество тепла, выделенного в единицу времени в единице объема цилиндрического тела определяется соотношением:

$$q_0 = \frac{q_{nl}}{V} \quad (3)$$

где V – объем цилиндра, м³, q_{nl} – количество тепла, выделенного плоской пластиной, Вт.

Учитывая что на основании [12] количество тепла, выделенного пластиной определяется по формуле:

$$q_{nl} = -\lambda_0 S \frac{\partial T}{\partial z} \quad (4)$$

где λ_0 – коэффициент теплопроводности пластины, Вт/(м·К), S – площадь поверхности пластины, м², $\frac{\partial T}{\partial z}$ – градиент температуры по оси z , К/м.

$$T(R_0, z) = T_0 z_0 \left(\beta \sqrt{1 + \frac{R_0 \ln \left(\frac{T_0}{T_1} \right)^2}{\beta L}} - 1 \right) \cdot \left(\frac{T_0}{T} \right)^{-\frac{z}{L}} \quad (11)$$

где T_0 – температура в точке соприкосновения пластины и трубки с координатой $z=0$, T_1 – температура на конце пластины с координатой $z=L$.

Таким образом, изменение температуры по поверхности ребра зависит от температур T_0 , T_1 , радиуса ребра R_0 и высоты ребра L .

Нами получена объемная картина изменения температуры по поверхности ребра. График распределения температуры по поверхности ребра (11) представлен на рис. 4, где температура меняется от 350,3 К до 352,4 К; координата z (длина ребра) меняется от 0 до 4 мм, координата r (радиус) варьируется от 0 до 4 мм. График изменения температуры носит линейный характер,

Объем цилиндра м³, определяется по формуле:

$$V = \pi R_0^2 L \quad (5)$$

где R_0 – радиус ребра, м, L – высота ребра, м (см. рис. 3). Тогда площадь поверхности цилиндра равна:

$$S = 2\pi R_0 L \quad (6)$$

И формула (4) принимает вид:

$$q_0 = -\frac{2\lambda}{R_0} \frac{\partial T}{\partial z} \quad (7)$$

Подстановка (7) в (2) приводит к следующему уравнению:

$$\frac{\partial^2 T}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial T}{\partial r} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} - 2 \frac{\beta}{R_0} \frac{\partial T}{\partial z} = 0 \quad (8)$$

где введено следующее обозначение (λ_0 – коэффициент теплопроводности стали, λ – коэффициент теплопроводности меди, Вт/(м·К)):

$$\beta = \frac{\lambda_0}{\lambda} \quad (9)$$

Для нахождения решения (8) применим метод Фурье [13], согласно которому решение ищем в виде:

$$T(r, z) = T_0 \left(\frac{r}{R_0} \right)^n \left(\frac{z}{L} \right)^m \quad (10)$$

Из-за громоздкости математических выкладок запишем конечное уравнение изменения температуры $T(R_0, z)$, К, по поверхности ребра, которое имеет вид:

причем температура убывает с увеличением радиуса ребра r , что хорошо согласуется с физической интерпретацией процессов теплообмена и теплопроводности в поверхности кожухотрубного аппарата.

Полученная зависимость (11) используется для определения температуры в любой точке ребра. Это позволит определить среднюю температуру на поверхности ребра по формуле:

$$T_{cp} = T_0 \beta \sqrt{1 + \frac{R_0 \ln \left(\frac{T_0}{T} \right)^2}{\beta L}} - 1 \cdot \frac{T_0 - T_1}{\ln \left(\frac{T_0}{T} \right)} \quad (12)$$

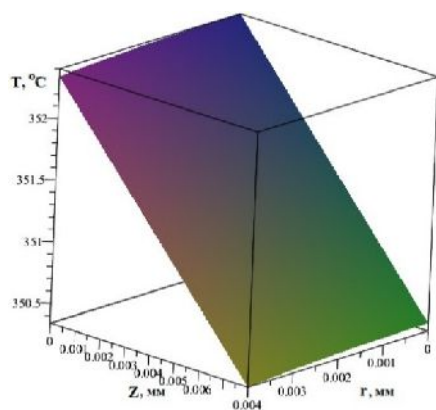


Рис. 4. Распределения температуры по поверхности ребра

Выводы. Зависимость (12) позволит определить число Прандтля Pr , характеризующее отношение скоростных и температурных полей в потоке жидкости. Число Pr используется для расчета коэффициента теплоотдачи α_1 , который является важной величиной для определения коэффициента теплопередачи K , Вт/(м² К).

Таким образом нами решена задача аналитического определения коэффициента α_1 , Вт/(м² К), и коэффициента теплопередачи K , Вт/(м² К) для измененной геометрии поверхности теплообмена (см. рис. 1) в интенсивном кожухотрубном теплообменном аппарате.

Источник финансирования. Программа развития опорного университета на базе БГТУ им. В.Г. Шухова.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Кейс В.М., Лондон А.Л. Компактные теплообменники. М.: Государственное энергетическое издательство, 1962. 160 с.
2. Касаткин К.А., Барочкин А.Е., Жуков В.П. Разработка математической модели многопоточных теплообменных аппаратов с учетом фазового перехода в теплоносителях // Вестник ИГЭУ. 2018. №5. С. 61–66
3. <https://minenergo.gov.ru>
4. Куцев Л.А., Никулин Н.Ю., Феоктистов А.Ю., Яковлев Е.А. Интенсификация тепловых процессов в кожухотрубном теплообменном аппарате // Научный вестник Воронежского ГАСУ. Строительство и архитектура. 2016. №3. С. 9–17.

партате // Научный вестник Воронежского ГАСУ. Строительство и архитектура. 2016. №3. С. 9–17.

5. Чичерин С.В. Анализ структуры существующего и перспективного потребления системы централизованного теплоснабжения // Инженерный вестник Дона. 2017. №1. С. 91–102.

6. Малышев А.А., Мамченко В.О., Мизин В.М. Современные теплообменные аппараты в низкотемпературной техники и перерабатывающих производствах // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия «Холодильная техника и кондиционирование». 2015. №1. С. 38–44.

7. Пат. 149737 Российская Федерация МПК F28D 7/100/ Кожухотрубный теплообменный аппарат / Н.Ю. Никулин, Л.А. Куцев, Д.Ю. Сулов; заявитель и патентообладатель БГТУ им. В.Г. Шухова. №2014134083/06, заявл. 19.08.14, опубл. 20.01.15, Бюл. №2. 4 с.

8. Никулин Н.Ю., Куцев Л.А., Семенов В.С. Разработка кожухотрубного теплообменного аппарата с измененной геометрической поверхностью [Электронный ресурс]. Систем. требования: AdobeAcrobatReader. URL: <http://www.scienceforum.ru/2015/pdf/17842.pdf> (дата обращения 18.03.19).

9. Круглов Г.А., Бакунин В.В., Андреева М.В. Теоретические исследования степени взаимосвязи турбулизации потока с коэффициентом теплоотдачи // Вестник КрасГАСУ. 2015. №6. С. 67–73.

10. Жукаускас А.А. Конвективный перенос в теплообменниках. М.: Наука, 1982. 472 с.

11. Hinze J.O. An introduction to its mechanism and theory. London: McGraw-Hill book company, 1959. 680 p.

12. Шлихтинг Г. Теория пограничного слоя. М.: Наука, 1974. 712 с.

13. Галковский В.А., Чупова М.В. Анализ снижения коэффициента теплопередачи теплообменных аппаратов вследствие загрязнения поверхности [Электронный ресурс]. Систем. требования: AdobeAcrobatReader. URL: naukovedenie.ru/PDF/41TVN217.pdf (дата обращения 18.03.19).

14. Нащокин В.В. Техническая термодинамика. М.: Высшая школа, 1995. 496 с.

15. Карпович Д.С., Суша О.Н., Коровина Н.П. Аналитический и численный методы решения уравнения теплопроводности // Труды Белорусского ГТУ. 2015. №6. С. 122–127.

Информация об авторах

Никулин Николай Юрьевич, аспирант, кафедра теплогазоснабжения и вентиляции. E-mail: Nick_973gt@mail.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Поступила в январе 2019 г.

© Никулин Н.Ю., 2019

I.*Nikulin N.Yu.

¹Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov
Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova 46
*E-mail: Nick_973gt@mail.ru

THE STUDY OF HEAT TRANSFER IN INTENSIFIED SHELL AND TUBE DEVICE

Abstract. The use and prevalence of heat exchangers in Russian heat supply systems are considered. Attention is paid to the improvement of serial heat exchangers with smooth tubes – the increasing of heat transfer coefficient. One of the ways to increase the heat transfer coefficient is considered: it is the turbulization of the fluid flow on the heat exchange surface. The original design of the heat exchange surface for shell and tube devices of heat supply systems is presented. The dynamics of the heated fluid in the annular space of a shell and tube heat exchanger when flowing around the heat exchange surface with a modified geometry is studied (RF Patent 149737). A feature of the dynamics is a circular edge (element of the surface of heat exchange), which contributes to the creation of turbulence in the flow of the heated liquid on the plate and on the surface of the next edge. Emphasis is placed on heat exchange processes between the solid surface of the edges and the heated fluid. For a circular cross section, the equation of thermal conductivity in cylindrical coordinates is compiled, taking into account the stationary heat exchange process, with an internal source of thermal energy. Solution of equation makes possible to determine the change in temperature on the surface and the average temperature of the edge. This value allows determining the Prandtl number to calculate the heat transfer coefficient.

Keywords: heat exchange surface, turbulization, temperature, heat transfer coefficient.

REFERENCES

1. Case V.M., London A.L. Compact heat exchangers [*Kompaktnye teploobmenniki*]. M.: State Energy Publishing House, 1962. 160 p. (rus)
2. Kasatkin K.A., Barochkin A.E., Zhukov V.P. Development of a mathematical model of multi-flow heat exchangers taking into account the phase transition in coolants [*Razrabotka matematicheskoy modeli mnogopotoknykh teploobmennyykh apparatov s uchetom fazovogo perekhoda v teplonositelyah*]. Vestnik IPEU. 2018. No. 5. Pp. 61–66. (rus)
3. <https://minenergo.gov.ru>
4. Kushev LA, Nikulin N.Yu., Feoktistov A.Yu., Yakovlev E.A. Intensification of thermal processes in a shell-and-tube heat exchanger [*Intensifikatsiya teplovykh processov v kozhuhotrubnom teploobmennom apparate*]. Scientific Bulletin of the Voronezh GASU. Construction and architecture. 2016. No. 3. Pp. 9–17. (rus)
5. Chicherin S.V. Analysis of the structure of the existing and future consumption of the centralized heat supply system [*Analiz struktury sushchestvuyushchego i perspektivnogo potrebleniya sistemy centralizovannogo teplosnabzheniya*]. Engineering Bulletin of the Don. 2017. No. 1. Pp. 91–102. (rus)
6. Malyshev A.A., Mamchenko V.O., Mizin V.M. Modern heat exchangers in low-temperature technology and processing industries [*Sovremennye teploobmennyye apparaty v nizkotemperaturnoy tekhniki i pererabatyvayushchih proizvodstvakh*]. Scientific journal NRU ITMO. Series "Refrigeration and air conditioning". 2015. No. 1. Pp. 38–44. (rus)
7. Nikulin N.Yu., Kushev L.A., Suslov D.Yu. Shell-and-tube heat exchanger; applicant and patentee Pat. RF no. 149737, 2014. (rus)
8. Nikulin N.Yu., Kushchev LA, Semenok V.S. Development of a shell-and-tube heat exchanger with a modified geometric surface [*Razrabotka kozhuhotrubnogo teploobmennogo apparata s izmenennoy geometricheskoy poverhnost'yu*]. Systems Requirements: AdobeAcrobatReader. URL: <http://www.scienceforum.ru/2015/pdf/17842.pdf> (request date 18.03.19). (rus)
9. Kruglov G.A., Bakunin V.V., Andreeva M.V. Theoretical studies of the degree of interrelation of flow turbulence with heat transfer coefficient [*Teoreticheskie issledovaniya stepeni vzaimosvyazi turbulizatsii potoka s koefitsientom teplootdachi*]. Herald KrasGASU. 2015. No. 6. Pp. 67–73. (rus)
10. Zhukauskas A.A. Convective transfer in heat exchangers [*Konvektivnyy perenos v teploobmennikah*]. M.: Science, 1982. 472 p. (rus)
11. Hinze J.O. An introduction to its mechanism and theory. London: McGraw-Hill book company, 1959. 680 p.
12. Schlichting G. Theory of the boundary layer [*Teoriya pogrannichnogo sloya*]. M.: Science, 1974. 712 p. (rus)
13. Galkovsky V.A., Chupova M.V. Analysis of the reduction in heat transfer coefficient of heat exchangers due to surface contamination [*Analiz snizheniya koefitsienta teploperedachi teploobmennyykh apparatov vsledstvie zagryazneniya poverhnosti*]. Systems. Requirements: AdobeAcro-

batReader. URL: nau-
kovedenie.ru/PDF/41TVN217.pdf (request date
18.03.19). (rus)

14. Nashchokin V.V. Technical thermodynam-
ics [*Tekhnicheskaya termodinamika*]. M.: Higher
School, 1995. 496 p. (rus)

15. Karpovich D.S., Susha O.N., Korovina
N.P. Analytical and numerical methods for solving
the heat equation [*Analiticheskij i chislennyj metody
resheniya uravneniya teploprovodnosti*]. Proceed-
ings of the Belarusian State Technical University.
2015. No. 6. Pp. 122–127. (rus)

Information about the authors

Nikulin, Nikolai Y. Postgraduate student. E-mail Nick_973gt@mail.ru. Belgorod State Technological University
named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, ul. Kostyukova 46.

Received in January 2019

Для цитирования:

Никулин Н.Ю. Исследование теплообмена в интенсифицированном кожухотрубном аппарате // Вест-
ник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2019. № 4. С. 77–82. DOI:10.34031/article_5cb1e65e6c0d28.53980880

For citation:

Nikulin N.Yu. The study of heat transfer in intensified shell and tube device. Bulletin of BSTU named after
V.G. Shukhov. 2019. No. 4. Pp. 77–82. DOI:10.34031/article_5cb1e65e6c0d28.53980880

DOI: 10.34031/article_5cb1e65a02e520.67687075

^{1,*}Ли Цзян¹Институт изобразительного искусства Лу Синя
Китай, провинция Ляонин, город Шэньян, район Хэпин, ул.Саньхао, 19

*E-mail: 1093048819@qq.com

ПРИРОДНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ В КИТАЙСКОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ

Аннотация. Когда термин "Здоровье" постепенно переосмысливается, запад предлагает новую модель: здоровье – это сумма состояний тела, психики, общества и окружающей среды, и подчеркивает влияние окружающей среды и общества на организм и разум. Охрана окружающей среды является наиболее всеобъемлющим и всесторонним благоприятным фактором здоровья человека в населенных пунктах, и не только в ближайший период, но и в дальнейшей перспективе. Указывается важность солнечного света, микроклимата, качества воздуха. В настоящем документе перечислены методы рационального использования естественного света, воздуха, воды, энергии и растений. Они соответствуют современным экологическим стандартам благоприятной для человека среды, особенно в технике дизайна и использования материалов проявляется уважение к природе, все они выражают заботу и внимание к жизни. Подсказка: китайское традиционное строительство не только удовлетворяет потребности людей в жизненном пространстве, но и с психологической точки зрения, также влияет благотворно. Это также стремление к здоровью и долголетию, в полной мере отражающее трудолюбие и мудрость китайской нации. Сегодня, когда здоровье окружающей среды особо ценится, идея традиционной проектной философии станет культурным ядром.

Ключевые слова: окружающая среда, архитектура, безопасность, здоровье, природные элементы.

Введение. Развитие общества приводит к увеличению напряженности жизни и рабочего ритма. Это требует гармонии, взаимодополняемости и взаимозависимости между людьми и окружающей средой [2]. Традиционное китайское планирование опирается на природу, выступает за идею единства человека и природы, строит теплое и гармоничное пространство.

Методология. Анализ применения природных элементов в китайском строительстве и архитектуре.

Основная часть. Традиционная среда обитания в Китае придает большое значение органической связи и взаимодействию различных элементов природной экосистемы и включает в себя понятия "вода", "ветер", "газ" и т.д. проводит многогранный анализ, например, снижение помех и потрясений в природе и рациональное использование природных ресурсов [3].

Китайская традиция занимает важное место в архитектурных строениях, а именно: полный солнечный свет. В северном традиционном направлении на южную сторону ставится окно чтобы получить максимум солнечного света, особенно зимой, для гарантии, что жители Севера смогут получать полный солнечный свет с утра до вечера. Внутри дом остается ярким, ведь самым здоровым пробуждением считается солнечный свет [1, 4].

Кроме того, региональные, климатические и широтные условия не одинаковы, что определяет инсоляционные условия, и дает китайским жилым районам разнообразные формы и соче-

тания, однако, в дизайне учитываются затемнения здания, в неодинаковое время область изменений не должна прикрывать жилые зоны [5].

Отличие в освещении между югом и севером лежит в использовании "патио", с архитектурной точки зрения "патио" делает здание оптимальным, свет падает с обеих сторон. В то же время внутренний дворик также создает один светлый двор вокруг дома. Для жизни на юге людям предлагается хорошо проветриваемое пространство для движения. Практика показывает, что «патио» в китайском традиционном строительстве является более умным ходом, чем просто стеклянное окно, "маленький патио" даже в самый жаркий день усиливает поток природного воздуха и объединяет такие функции как вентиляция и свет, улучшает внутренний воздух и микроклимат. Ветровые ограждения и окна создают условия вентиляции и регулируют температуру внутри помещений.

В холодные сезоны на севере много используют отопляемые лежанки, нагретые стены для поддержания надлежащей температуры и обогрева. Этот метод называется радиальным теплоснабжением, что требует значительной площади комнаты, и чтобы средний уровень тепла был на 2 градуса выше температуры окружающего и нагреваемого воздуха в дымовой трубе. До сих пор для экономного отопления дворца Гугун используют печи.

Одной из моделей естественного использования водных ресурсов является древний поселок Хунцунь. Древний поселок Хунцунь в про-

винции Аньхой отнесен к мировому культурному наследию. Самой отличительной особенностью является искусственная водная система во всей деревне, которую можно назвать моделью использования естественной воды. Масштабное строительство систем водоснабжения в период правления Чжу Ди, вода были проведены каналы в сто чжан, десять кривых потоков, протекающие ко дверям каждого двора, и, наконец, соединяющиеся в центре поселка и образующие пруд. Эта систем водоснабжения укрепило позиции поселения на северо-западе, как кровеносная система была очень важна для жизни деревни. Это было не просто водоснабжение, но и противопожарная защита, водоотвод. Система регулировала температуру и влажность, вода не только протекала к воротам, но и входила во двор, образуя характерный небольшой водный сад, таким образом она приносила с собой дыхание природы, из пейзажей, улиц, зданий, ландшафта, культуры, досуга образовывала целый организм. Идея состоит в том, что люди могут жить в гармонии с природой. Люди защищают природу и используют природу. Природа – это не только объект преобразования и использования человека, но и неотъемлемая часть повседневной жизни людей [6].

До сих пор Хунцунь по-прежнему сохраняет эту систему водоснабжения для жителей деревни и использует ее ежедневно.

Известно, что и севере и северо-востоке Китая в комплекс построек усадьбы с названием сыхэюань составной частью выступал дом [12]. Дом при этом никогда не был отдельным элементом усадьбы, поскольку шло вразрез с пониманием о мироустройстве. Мироустройство же содержит в своем составе три или пять обязательных элементов.

В строительной конструкции жилого дома материалы, состоящие из природных элементов, играли одну из главных ролей. В строительстве чаще применяли древесину, являющаяся прочным, крепким и вечным материалом. Особую ценность представляет не только качество материала, но и смысл названия дерева. В северном Китае центральную балку было желательно выполнять из финика, из вяза – конец перекладины, из абрикосового дерева – дверь.

В подборе материалов также существуют запреты: в зависимости от произношения слов и фонетики запрещено применять в строительстве тутовое дерево и катальпу. Существует поговорка, что «Над головой нельзя поставить тутовое дерево, а под ногами нельзя делать катальпу порогом».

Китайские недра богаты многочисленными породами мраморов, гранитов, известняков, а

леса Китая богаты и строевым лесом – лиственницей, елью, сосной, дубом и прочими деревьями. Наибольшее применение в строительстве находят корейский кедр, веймутова сосна, бамбук. Поскольку в древнем Китае зодчие предпочитали дерево всем другим материалам, до настоящего времени сохранилось сравнительно небольшое количество памятников древнейших эпох. О характере архитектуры и применении природных элементов в архитектуре эпох Шан (Инь), Чжоу, Цинь и Хань (до 25 года н. э.) можно говорить лишь в основном по изображениям на погребальных плитах, моделям и останкам каменных конструкций. Китайская архитектура дала весьма своеобразную трактовку древнейших традиций.

Интересной особенностью китайской фортификационной архитектуры является контрастное сочетание массивного основания, состоящего из камня, песка и кирпича, и легкого деревянного навеса для укрытия здания с типичной «парящей» кровлей. Примерами данных строений являются здания в Пекине, Чжендин и других городов.

Тип жилья, который создается китайцами в течение тысячелетий, незначительно лишь отличается от древнейших прототипных конструкций. Строятся они из деревянных материалов, кирпича-сырца и камня. Стены дома, чаще всего, не являются несущими конструкциями. Они заполняют пролеты между деревянными опорными столбами, защищают помещения от холода. Главным фасадом является южный фасад, который содержит вход и окна, заполняющие всю плоскость стены. На севере окна не предусматриваются. Южная стена выполняется в виде деревянной решетки, заклеенной промасленной бумагой. Крыша имеет характерные широкие свесы, защищающие стены от осадков и прямого солнечного света [13].

Визуальная связь с внешним миром осуществляется с помощью деревянных решёток и бумажных трансформируемых перегородок. Если в доме были прочные стены из камня, то их поверхность обязательно украшаются живописным пейзажем.

В глинобитных или каменных стенах прорезаются дверные и оконные проемы в форме листьев, цветов или ажурных ваз. Иногда в доме устраиваются миниатюрные сады с короткими деревьями.

Первоначальные жилища в Китае в основном строились из земли, в клановых обществах. Постройка представляла собой глину и доски. Большое количество стен все еще стоит [8] Ранние предки научились использовать каменные блоки. Все кирпичи, использованные при строи-

тельстве Великой китайской стены династии Хань, по-прежнему остаются нетронутыми и давно используются в народном строительстве. Сегодня в сельских районах Китая все еще распространены различные типы земляных домов. Например, пещеры на северо-западе, тулоу в провинции Фуцзянь и различные плоские глиняные дома в Северном Китае сохранили древнюю архитектуру. Тулоу Юньань в провинции Фуцзянь входит в список Всемирного наследия ЮНЕСКО, что отражает ценность этой культуры [9].

В традиционной архитектуре и отделке также используют древесину. Основным методом строительства является создание трехмерной рамы с плотно расположенными деревянными колоннами и ветвями, а затем покрытие ее травой и грязью. Так постепенно образовалась традиционная форма деревянных построек. Данная структура обладает мягкими природными свойствами и пластичностью. Это динамическая структура, которая соответствует динамическим законам Вселенной. В устройстве интерьера преобладают бамбук и дерево, представляющие собой природу и текстуру. Двери и павильоны в деревянном саду изготавливаются также из бамбука и дерева, что чрезвычайно просто сохраняет естественные свойства натуральных материалов.

Каменные материалы занимают важное место в традиционном жилом здании и окружающей среде. Больше всего используются для декоративных целей, как дополнение к более обычным домам во внутренних стенах и горных районах. Натуральный камень выложен на небольших дорогах в саду. Богатые люди используют круглые или квадратные «летающие камни»: разбрасывают их по земле, имитируя падение камней с неба. Камни имеют высокую художественную силу, что и доказывает популярность украшения зданий каменными львами. Каменные фонари, ввезенные в Японию, также возникли в Китае, которые впервые были замечены в буддийских храмах. Они использовались как лампы перед Буддой. На обоих концах фонарных столбов были лотосы, символизирующие здоровье и удачу. Другой вид каменного фонаря - небольшая каменная башня, в основном пятирядная башня. Это башня, построенная в соответствии с древней теорией пяти элементов.

Использование биогаза имеет многолетнюю историю в сельском Китае, а также является одним из наиболее экономичных и наиболее подходящих источников энергии для популяризации. В сельских районах Китая туалеты, домашняя птица и домашний скот часто планируются

во дворе: экскременты людей и животных, стебли и листья растений и органические компоненты мусора могут быть превращены в энергию повторного использования. Все местные семьи могут использовать бетон и кирпич. Бак для биогаза и стены и крышка бассейна сделаны из бетона, а объем обычно составляет 4 ~ 10 м³, что определяется количеством домашнего хозяйства. Расположение биогазовых сварочных аппаратов способствует сбору, удобному управлению и благоприятному температурному обслуживанию для улучшения добычи газа и санитарии окружающей среды. В условиях герметичности поддерживается соответствующая температура, и биогаз, создаваемый деятельностью микроорганизмов, может использоваться для горячей воды, приготовления риса, получения энергии и тому подобного. Как правило, 1 кубический метр биогазового резервуара можно использовать для 5-6 человек, для приготовления трех блюд, что эквивалентно освещению лампы 60 ~ 80 Вт в течение 6 часов и может генерировать около 2 градуса тепла.

В моей стране традиционно растения сажают и перед, и сзади здания. Они не только несут символический характер, но и сохраняют первые знания о растениях наших предков, например, записи из «Компендиума лекарственных веществ» и «Травника Шэнь-нуна».

Китайское зонтичное дерево: научное название платан, ствол высокий, твердый, с буйной листвой, растет быстро. С древних времен почитается людьми. «Колокольчики» на дереве могут адсорбировать сернистый газ, хлорный газ и другие ядовитые газы. Поэтому называется «искусственным легким», т.к. положительно влияет на окружающую среду.

Облепиха крушиновидная: используется для поддержания природных условий, засухоустойчивая, защищает от песчаного ветра, плоды съедобны.

Софора японская: май – сезон ароматных цветов, запах которых поднимает настроение, освежает; может улучшить функцию капилляров, поддержать нормальный иммунитет, предотвратить чрезмерную хрупкость капилляров. В народе бутоны потребляют в еду в целях очищения и охлаждения крови.

Цедра китайская: кора мягкая, но толстая, с красным отливом, сильный аромат ранней весной. Дикорастущее дерево во дворе обладает высокой лекарственной ценностью и способностью поглощать пыль и вредные газы.

Османтус душистый: отвар из ветвей лечит от простуды и переохлаждения, избавляет от жара и головной боли. Вдыхание аромата также благоприятно сказывается на мужском здоровье.

Жасмин: аромат влияет на регуляцию энергии ци, облегчает боли и укрепляет иммунитет.

Использование растений – это искусство, связывающее людей и природу, а также и наука. Непохожие растения дополняют друг друга, сосуществуют с людьми, и многие применения их в жизни еще предстоит найти [7].

Выводы. Культурная история Китая в течение тысяч лет имело глубокое понимание отношения людей и окружающей среды. Традиционные жилища настолько естественны, насколько это возможно в ходе строительства, можно эффективно использовать природные экологические ресурсы. Например, использование воды, естественной разности температур для защиты от холода и жары, использование местных строительных материалов, сбор трав, использование горных деревьев в лечебных целях, отвод воды из реки и добыча камней на пляже. Это делает жилые здания похожими на естественные, они становятся живым целым с природой. Расположение домов должно быть гармоничным, отражать единство Неба и человека [10].

Дизайн острова Тяньцзинь в озере Циандао воплотил в жизнь идеи традиционных жилых домов. Там создан естественный дизайн в виде огромных натуральных бонсаев, с зеленой растительностью, свежим воздухом и мостом, соединяющим острок с сушей. Люди могут ездить туда и чувствовать покровительство природы. На острове также имеется ландшафтная зона, которая связана со здоровьем людей, например, район здоровья, медицинский зал Yi и Tu Xin Naitai. Он тихий и элегантный, что позволяет людям расслабиться в тихом месте и вспомнить о том, что люди и небо одинаковы [11].

Примечание: «Патио», слово в древней китайской географии, имеет какое-то тотемное значение. С философской точки зрения, согласно «когнитивной графике» Канта и конструктивизму Пиаже, «патио» можно рассматривать как графическую структуру.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Клер Купер Маркус. Место для человек. Версия 2, Пекин: Китайское архитектурно-строительное изд-во, 2001. С. 293–294
2. Го Синь Бяо. Экология окружающей среды. Пекин: Издательство пекинского университета, 2011. Рр. 101–103
3. Фернон Д.Д. Фольклорная деревня. Перевод Чансонь, Ченян. Шэньян: Научно-техническое издательство Ляонин, 2005. Рр. 66–68.
4. Иан Бентли. Архитектурно-экологический резонанс. Перевод Зисиаохай, ГаоЙнь. г. Далянь, Издательство Даляньлигон университета, 2002. Рр. 196–207.
5. Юйжимин. Выйти из здоровья. Версия 3, Пекин: Народное санитарное издательство, 2004. Рр. 55–59.
6. Зенгй. Анализ воздействия на здоровье и долголетие. Пекин: пекинский университет, 2004 Рр. 100–106.
7. Ян Сяогуан. Новая концепция "зеленого дома". Пекин: Китайское общественное издательство, 2008. Рр. 14–184.
8. Ван Гуй Сян, Здание – это не дом. Пекин: Издательство китайского народного университета, 2006. Рр. 239–252.
9. Прудин О.Н. Архитектура и историческая среда. перевод, Ханлиньфэй. Пекин: Общественное научное издательство, 2011. Рр. 137–139.
10. Ху Хунг. Окружающая среда – это экологическая среда. Китайское общество художников, второй национальный дизайн дизайна и искусства, Китай строит издательство, 2006. Рр. 43–46.
11. Чхве Шушэн, БэнСаоГанМу [М], г. Хух-хото, Монгольское культурное издательство, 2005. Рр. 76–78.
12. Ван Чжихэ, Хэ Хуйли, Пан Мэйцзюнь. Дебаты по поводу экологической цивилизации // Независимый социалистический журнал [Электронный ресурс]. - URL: <http://monthlyreview.org/2014/11/01/the-ecological-civilization-debate-in-china>
13. Сидихменов В.Я. Китай: Страницы прошлого. Смоленск: Русич, 2013.
14. Тихомирова Е.Е., Чжао Цзиннань. Когда жилище становится домом: универсальные культурные смыслы китайской традиции // Вестник Новосибирского государственного педагогического университета. 2012. № 3(7). С. 98–103.
15. Лоу Чинси. Двадцать лекций по древней архитектуре Китая. М., 2014.

Информация об авторах

Ли Цзян, аспирант, старший преподаватель в Академии художеств имени Лу Синя, факультет Проектное искусство (Искусство окружающей среды). E-mail: 1093048819@qq.com. Китай, провинция Ляонин, город Шэньян, район Хэпин, ул.Саньхао 19.

Поступила в февраль 2019 г.

© Ли Цзян, 2019

^{1,*}Li Jiang

¹Lu Xun Institute of fine arts, Department of architecture and art
China, 19 Sanhao Street, Heping district, Shenyang, Liaoning province
*E-mail: 1093048819@qq.com

NATURAL ELEMENTS IN THE CHINESE CONSTRUCTION

Abstract. When the term "Health" is gradually reinterpreted, the West proposes a new model: health is the sum of the States of the body, mind, society and the environment, and emphasizes the influence of the environment and society on the body and mind. The protection of the environment is the most comprehensive and all-round enabling factor for human health in human settlements, not only in the immediate period but also in the longer term. The importance of sunlight, microclimate, air quality is indicated. This paper lists methods for the rational use of natural light, air, water, energy and plants. They correspond to modern ecological standards of the environment favorable for the person, especially in design techniques and use of materials respect for the nature is shown, all of them Express care and attention to life. Tip: Chinese traditional construction not only meets the needs of people in the living space, but also from a psychological point of view, also has a beneficial effect. It is also a commitment to health and longevity that fully reflects the hard work and wisdom of the Chinese nation. Today, when environmental health is especially valued, the idea of traditional project philosophy will become the cultural core.

Keywords: environment, architecture, safety, health, natural elements.

REFERENCES

1. Claire Cooper Marcus. A place for people. Version 2, Beijing: Chinese architecture publishing house, 2001. C. 293–294.
2. Guo Xin Biao. Ecology of the environment. Beijing: Peking University Press, 2011. Pp. 101–103.
3. Fernon D.D. Folklore village. Translation Chanson, Chenyan. Shenyang: Liaoning Scientific and Technical Publishing House, 2005. Pp. 66–68.
4. Ian Bentley. Architectural and ecological resonance. Translation Zisiaohy, GaoYin. Dalian, Publishing House of Dalian University, 2002. Pp. 196–207.
5. Yuyzhimin. Get out of health. Version 3, Beijing: Public Health Publishing House, 2004. Pp. 55–59.
6. Zengy. Analysis of the effects on health and longevity. Beijing: Peking University, 2004. Pp. 100–106.
7. Yang Xiaoguang. New concept of "green house". Beijing: Chinese Public Publishing, 2008. Pp. 14–184.
8. Wang Gui Xiang, A building is not a house. Peking: Chinese People's University Press, 2006. Pp. 239–252.
9. Prudin O.N. Architecture and historical environment. translation, Hanlinfey. Beijing: Scientific Publishing House, 2011. Pp. 137–139.
10. Hu Hung. The environment is an ecological environment. Chinese Society of Artists, second national design of design and art, China builds a publishing house, 2006. Pp. 43–46.
11. Choi Shusheng, BanSaoGanMu, the city of Huh-khoto, Mongolian Cultural Press, 2005. Pp. 76–78.
12. Wang Zhihe, He Huili, Pan Meijun. Debates on ecological civilization. Independent Socialist Journal. - URL: <http://monthlyreview.org/2014/11/01/the-ecological-civilization-debate-in-china>
13. Sidikhmenov V.Ya. China: Pages of the past. Smolensk: Rusich, 2013.
14. Tikhomirova EE, Zhao Jingnan. When housing becomes a home: universal cultural meanings of the Chinese tradition. Bulletin of the Novosibirsk State Pedagogical University. 2012. № 3 (7). Pp. 98–103.
15. Low Chinsey. Twenty lectures on the ancient architecture of China. M., 2014.

Information about the authors

Li Jiang, PhD, student, senior lecturer, Lu Xun Academy of arts, faculty of Design arts (environmental Arts), China, 19 Sanhao Street, Heping district, Shenyang, Liaoning province.

Received in February 2019

Для цитирования:

Ли Цзянь Природные элементы в китайском строительстве // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2019. №4. С. 83–87. DOI: 10.34031/article_5cb1e65a02e520.67687075

For citation:

Li Jiang Natural elements in the chinese construction. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2019. No. 4. Pp. 83–87. DOI: 10.34031/article_5cb1e65a02e520.67687075

DOI: 10.34031/article_5cb1e65ee16de2.46800338

¹Щербина Е.В., ^{1,*}Егорова С.П.¹Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет
Россия, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26

*E-mail: svet3653@ya.ru

ГРАДОСТРОИТЕЛЬНЫЕ АСПЕКТЫ РАЗВИТИЯ ИНДУСТРИИ ТУРИЗМА

Аннотация. Развитие индустрии туризма, как перспективного направления социально-экономического развития городских и сельских территорий, определяет новые подходы к разработке документов градостроительного проектирования. В этом аспекте установлена связь между видами туристической деятельности и градостроительными объектами, необходимыми для реализации туристического подхода. Предложена матрица градостроительных объектов в зависимости от видов туризма, позволяющая определить направления и формирование объектов обеспечивающих туристическую деятельность, размещение которых должно быть отражено в генеральном плане развития города. Показана необходимость разработки региональных и местных нормативов градостроительного проектирования с учетом развития индустрии туризма.

Ключевые слова: индустрия туризма, градостроительные объекты, градостроительное проектирование.

Введение. В период постиндустриального развития общества становятся востребованными новые наукоемкие, креативные технологии и производства, которые должны обеспечить занятость населения и стать новыми бюджетобразующими предприятиями городов. В современных условиях расселения, формирующейся по агломерационному принципу, малые и средние города РФ, утратившие градообразующие предприятия советского периода, испытывают острую необходимость в развитии новых форм производства и занятости населения. При этом многие малые и средние города центрального региона РФ обладают значительным культурным и историческим потенциалом, относятся к историческим городам, что делает их привлекательными для развития туризма, малого и среднего бизнеса. Задача развития туристической сферы для малых городов РФ, обладающих значительным культурно-историческим наследием, была поставлена В.В. Путиным на встрече с участниками Форума малых городов и исторических поселений в январе 2018 г. [1]. Развитие туристического бизнеса, стимулирующего как эффективной отрасли экономики, определено в качестве перспективного направления в программах социально-экономического развития регионов и городов Российской Федерации [2].

Методика. С.И. Байлик дает определение туристской индустрии как совокупность предприятий, учреждений и организаций материального производства и непромышленной сферы, обеспечивающих производство, распределение, обмен и потребление туристского продукта, освоение и использование туристских ресурсов, и создание материально-технической базы туризма [4]. ФЗ РФ «Об основах туристской деятельности в Российской Федерации» индустрия

туризма определена как «совокупность гостиниц и иных средств размещения, средств транспорта, объектов санаторно-курортного лечения и отдыха, объектов общественного питания, объектов и средств развлечения, объектов познавательного, делового, лечебно-оздоровительного, физкультурно-спортивного и иного назначения, организаций, осуществляющих туроператорскую и турагентскую деятельность, операторов туристских информационных систем, а также организаций, предоставляющих услуги экскурсоводов (гидов), гидов-переводчиков и инструкторов-проводников» [5]. Поэтому методика исследования построена на системном анализе, который предполагает рассмотрения туристической индустрии, как совокупности двух систем: градостроительной и организационной (рис. 1).

Организационная система индустрии туризма развивается наиболее активно, разрабатываются новые маршруты, открываются новые направления, проводится популяризация маршрутов, например, Золотое кольцо России. При этом организация системы туризма опирается на материальную базу, созданную ранее, и не ведет активной работы по привлечению инвестиций в её развитие, как это практикуется за рубежом [5]. Градостроительная система включает объекты размещения туристов, отдыха и развлечения, торгового, медицинского и социального обслуживания, которые составляют неотъемлемую часть города, образующих градостроительную систему и должны учитываться при формировании его генерального плана. При этом, в региональных программах развития туристической деятельности отмечается, что «основным сдерживающим фактором для развития туризма является изношенность туристской инфраструктуры».



Рис.1. Система индустрии туризма

Основная часть. В настоящее время при разработке генеральных планов городских и сельских поселений опираются на программы социально-экономического развития, которые определяют основные перспективные направления. Одной из задач подготовки генерального плана является подготовка схемы функционального зонирования территории, на которой в том числе выделяются территории исторических памятников и историческое место, имеющие градостроительные ограничения и подлежащие охране, например [6–8]. Особые требования имеют и объекты размещения спортивных сооружений [9, 10]. С позиции индустрии туризма, территории размещения таких объектов являются основными центрами притяжения туристов, что следует учитывать при градостроительном проектировании.

Существующие нормативы градостроительного проектирования не содержат рекомендаций для определения потребности в объектах социально-бытового, медицинского, культурного обслуживания жителей и туристов, а также требований к их размещению в планировочной структуре города. Отдельные рекомендации по предприятиям общественного питания имеются только в части городов-курортов (бальнеологических и климатических). Региональные нормативы градостроительного проектирования, которые должны отражать специфику региона также не рассматривают индустрию туризма, как требующую специального подхода при подготовке градостроительной документации. Однако этот вопрос в свете реализации принятых программ актуален и требует специального рассмотрения.

В настоящее время в индустрии туризма можно выделить следующие виды: лечебно-

оздоровительный; культурно-познавательный; деловой; религиозный; экологический, спортивный. При этом религиозный туризм является частью познавательного туризма. «Религиозный туризм – это светское путешествие, которое осуществляется с культурно-познавательными целями и в форме экскурсионных и ознакомительных поездок к объектам религиозного поклонения, историко-культурным и природным объектам, но при этом его участники не совершают обязательных для паломников сакральных ритуалов». В то время как паломничество определяется, как традиционный вид религиозной деятельности – путешествие верующих людей с целью посещения и поклонения святыням, находящихся вне пределов их постоянного места жительства [11].

Отмечается и развитие других видов туризма. Соответственно каждый вид туризма имеет свою специфику, и предъявляет свои требования к градостроительной системе. Выявление связи между направлениями туристической деятельности и градостроительными объектами позволит оценить туристический потенциал территории и определить необходимость строительства новых и развития имеющихся предприятий, учреждений и предприятий, обеспечивающих производство, распределение, обмен и потребление туристского продукта. С этой целью, согласно принятой модели, нами были определены группы градостроительных объектов, и установлена их связь с видами туризма, представленная в виде таблицы-матрицы (табл. 1). Следует отметить, что одни объекты – центры притяжения туристов относятся к объектам, формирующим туристическую деятельность, без которых развитие туризма не возможно. Вторая группа объ-

ектов – это объекты, обеспечивающие туристическую деятельность, и качество отдыха.

Востребованность градостроительных объектов устанавливалась на основе анкетирования и опроса. Респонденты были представлены двумя группами. Первая – путешествующие, вторая специалисты в области организации туризма. Респондентам, участвовавшим в анкетировании, было предложено проставить баллы, оценивающие востребованность указанных в анкете объектов по следующей шкале. $A=O$ – малозначимый; $B=I$ – желательный при осуществлении путешествия; 3 – необходимый для реализации путешествия. Обработка данных осуществлялась следующим образом. Заполненные анкеты собирались, и производился подсчет средних значений в каждой ячейке матрицы Z_{ij} . В которой по горизонтале i – это виды туризма, а по вертикале j – объекты городской инфраструктуры. Значение вычислялось по формуле:

$$Z_{ij} = \frac{A_{ij}a_{ij} + B_{ij}b_{ij} + D_{ij}d_{ij}}{a_{ij} + b_{ij} + d_{ij}} \quad (1)$$

где A_{ij} , B_{ij} , D_{ij} – значения оценок, указанные респондентами в ячейке матрицы (i, j); a_{ij} , b_{ij} , d_{ij} – сумма значений полученных оценок соответственно.

Результаты обработки данных приведены в таблице 1, в скобках указаны округленные значения.

В матрице выделены основные группы объектов: достопримечательные места; религиозные достопримечательности; природные достопримечательности; спортивные объекты; предприятия общественного питания; объекты проживания туристов; оздоровительные объекты. При этом одни объекты служат «основными» для осуществления данного направления туристической деятельности, а другие «сопутствующими», которые турист может посетить во время поездки с основной целью. Следует отметить, что наличие таких «сопутствующих» объектов формирует позитивный имидж, и положительно сказывается на развитии туризма, служит основанием продлить свою поездку, следовательно, затратить больше средств и времени на пребывание в данной местности.

Анализ предложенной матрицы показывает, что большую значимость имеют объекты проживания туристов (гостиницы) и предприятия общественного питания. Однако без объектов туристического притяжения они практически бесполезны. Размещение гостиниц и объектов общественного питания следует предусматривать в генеральном плане города в увязке с туристическими маршрутами и имеющимися до-

стопримечательными местами и объектами и средствами развлечения. При этом следует учитывать дополнительную нагрузку на улично-дорожную сеть города и общественный транспорт, возрастающую потребность в местах парковки средств индивидуального транспорта и экскурсионных автобусов.

Большое значение имеет развитие средств навигации и безопасности, что может быть реализовано с использованием технологий «умного города», успешно развивающихся в настоящее время [12, 13]. При этом потребность размещения традиционных информационных туристических центров не снижается, они должны быть расположены в местах активной туристической деятельности.

Дальнейшее развитие работы представляется путем разработки туристического каркаса городского/сельского поселения, в котором должно быть определено расположение объектов обеспечения туристической деятельности в соответствии с полученными оценками их значимости для каждого вида туризма. Анализ историко-культурного каркаса в аспекте значимости градостроительных объектов для развития определенного вида туризма позволит определить их положение в планировочной структуре города, а также разработать методику определения вместимости предприятий питания и размещения туристов при разработке генерального плана. При этом важно учесть организационную составляющую индустрии туризма, работу туроператоров по развитию туристических маршрутов.

Выводы. Развитие индустрии туризма требует системного подхода к развитию материальной базы, в частности градостроительных объектов, которые служат центрами притяжения туристов, так и обеспечивают реализацию и качество туристического продукта.

Предложенная матрица, устанавливающая связь между видами туризма и необходимыми градостроительными объектами позволяет оценить существующее положение и определить необходимость (потребность) в градостроительных объектах, направленных на обеспечение туристической деятельности и повышение качества обслуживания. Её развитие представляется в детализации связей видов туризма и объектов обслуживания

Показана необходимость разработки рекомендаций по градостроительному проектированию для региональных и местных нормативов, учитывающих специфические вопросы развития индустрии туризма.

Таблица 1

Матрица связи градостроительных объектов с видами туризма

Градостроительные объекты	Виды туризма				
	Паломничество	Культурно-познавательный туризм	Деловой туризм	Лечебно-оздоровительный туризм	Экологический туризм (экотуризм)
1. Достопримечательные места					
Музеи	0,954 (1)	1,864 (2)	0,364 (0)	0,50 (1)	0,54 (1)
Театры	0,454 (0)	1,727 (2)	0,364 (0)	0,409 (0)	0,09 (0)
Исторические памятники культуры, архитектуры	1,318 (1)	1,909 (2)	0,50 (1)	0,591 (1)	0,727 (1)
Центры прикладного творчества	0,681 (1)	1,454 (1)	0,409 (0)	0,636 (1)	0,455 (0)
Театры	0,45 (0)	1,591 (2)	1,091 (1)	0,50 (1)	0,591 (1)
Выставочные центры	0,954 (1)	1,864 (2)	1,364 (1)	0,50 (1)	0,54 (1)
2. Религиозные достопримечательности					
Монастыри	2,0	1,091 (1)	0,182 (0)	0,409 (0)	0,227 (0)
Церкви	1,927 (2)	1,273 (1)	0,227 (0)	0,50 (1)	0,227 (0)
3. Природные достопримечательности					
Парки и заповедники	0,391 (0)	1,0	0,364 (0)	1,318 (1)	1,773 (2)
Экологические маршруты	0,227 (0)	0,636 (1)	0,045 (0)	1,136 (1)	1,818 (2)
4. Спортивные объекты					
Аквапарки	0,136 (0)	0,727 (1)	0,136 (0)	0,818 (1)	0,364 (0)
Веломаршруты	0,318 (0)	0,864 (1)	0,273 (0)	1,409 (1)	1,50 (2)
Пешие маршруты	1	1,273 (1)	0,364 (0)	1,409 (1)	1,727 (2)
Горнолыжные трассы	0,136 (0)	0,636 (1)	0,182 (0)	1,045 (1)	1,0
Лыжные маршруты	0,091 (0)	0,727 (1)	0,182 (0)	1,227 (1)	1,318 (1)
Водный спорт	0,136 (0)	0,682 (1)	0,182 (0)	1,227 (1)	0,909 (1)
Этнопарк		сопутствующий		основной	
5. Предприятия общественного питания					
Кафе	1,591 (2)	1,682 (2)	1,727 (2)	1,318 (1)	1,545 (2)
Рестораны	0,727 (1)	1,455 (1)	1,727 (2)	0,864 (1)	0,636 (1)
Предприятия быстрого питания	1,773 (2)	1,545 (2)	1,182 (1)	0,818 (1)	1,318 (1)
Дискотеки, варьете	0,136 (0)	0,864 (1)	0,455 (0)	0,455 (0)	0,136 (0)
6. Объекты проживания туристов					
Гостиницы	0,955 (1)	1,636 (2)	1,682 (2)	1,50 (2)	1,091 (1)
5 звезд	0,773 (1)	1,273 (1)	1,773 (2)	0,955 (1)	0,591 (1)
4 звезд	0,773 (1)	1,227 (1)	1,409 (1)	1,0	0,636 (1)
3 звезды	1,227 (1)	1,409 (1)	1,136 (1)	1,091 (1)	1,0
Хостел	1,409 (1)	1,636 (2)	0,682 (1)	0,545 (1)	1,045 (1)
Апартаменты	1,682 (2)	1,364 (1)	1,364 (1)	0,909 (1)	0,773 (1)
Кемпинги	0,409 (0)	0,727 (1)	0,182 (0)	0,455 (0)	1,364 (1)
Пансионаты	0,727 (1)	0,545 (1)	0,318 (0)	1,409 (1)	0,864 (1)
7. Оздоровительные объекты					
Оздоровительные центры	0,182 (0)	0,182 (0)	0,182 (0)	1,864 (2)	0,636 (1)
Турбазы	0,727 (1)	0,636 (1)	0,227 (0)	1,545 (2)	1,364 (1)
Экофермы	0,318 (0)	0,364 (0)	0,364 (0)	1,818 (2)	0,50 (1)
8. Системы навигации					
Информационные центры	1,409 (1)	1,773 (2)	1,50 (2)	1,409 (1)	1,227 (1)
Системы указателей	1,636 (2)	1,818 (2)	1,409 (1)	1,50 (2)	0,455 (0)
Интернет	1,091 (1)	1,727 (2)	1,818 (2)	1,273 (1)	0,864 (1)
Технологии «Умный город»	0,364 (0)	1,273 (1)	1,227 (1)	0,636 (1)	0,318 (0)

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Союз малых городов РФ. [электронный ресурс]: <http://smgrf.ru/razrabotka-federalnoj-tselevoj-programmy-razvitiya-prekrashhena/> (дата обращения 01.12.18).

2. Стратегия развития туристического кластера Орловской области [Электронный ресурс]:

URL: <http://docs.cntd.ru/document/444912430> (дата обращения 01.12.18).

3. Стратегия социально-экономического развития Центрального федерального округа на период до 2020 года [Электронный ресурс]: URL: <http://docs.cntd.ru/document/902302272> (дата обращения 01.12.18).

4. Байлик С.И. Гостиничное хозяйство. К: ВИРА-Р, 2002. 252 с.

5. Федеральный Закон «Об основах туристской деятельности в Российской Федерации» №132-ФЗ от 24.11.1996 [Электронный ресурс]: URL:

http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_12462 (дата обращения 01.12.18).

6. Третьякова К.Д., Щербина Е.В. Модель территориального кластера городской идентичности исторического города Великий Новгород / Устойчивое развитие территорий [Электронный ресурс]: сборник докладов международной научно-практической конференции (г. Москва, 16 мая 2018 г.) // Издательство МИСИ–МГСУ, М., 2018. — Режим доступа: <http://mgsu.ru/resources/izdatelskaya-deyatelnost/izdaniya/izdaniya-otkr-dostupa/> с. 231-235.

7. Кушнир А.Я., Щербина Е.В. Формирование единого социокультурного городского пространства / Устойчивое развитие территорий [Электронный ресурс]: сборник докладов международной научно-практической конференции (г. Москва, 16 мая 2018 г.) // Издательство МИСИ–МГСУ, М., 2018. Режим доступа: <http://mgsu.ru/resources/izdatelskaya-deyatelnost/izdaniya/izdaniya-otkr-dostupa/> с. 212-215.

8. Шевченко Э.Б. Об исторических поселениях, недвижимых объектах наследия и градо-

строительных проблемах охраны наследия. ЗАО «Издательство «ЗОДЧИЙ». Санкт-Петербург, 2018. 367 с.

9. Афолина М.И., Щербина Е.В. Пространственно-территориальная организация объектов зимних видов спорта (Российский опыт) // Биосферная совместимость: человек, регион, технологии. 2016. № 2 (14). С. 29–37.

10. Афолина М.И. Зимние этнокультурные спортивные объекты (трассы) – планировочные и строительные вопросы // Экология урбанизированных территорий. 2017. № 2. С. 71–76.

11. Житнев С.Ю. Религиозный туризм и паломничество в Российской Федерации. Современное состояние и перспективы // Журнал института наследия. 2016. №1(4). Код доступа: <https://cyberleninka.ru/article/v/religioznyy-turizm-i-palomничество-v-rossiyskoy-federatsii-sovremennoe-sostoyanie-i-perspektivy-razvitiya>.

12. Shcherbina E., Gorbenkova E. Smart city technologies for sustainable rural development // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering 21, Construction - The Formation of Living Environment. 2018. С. 022039.

13. Belal A., Shcherbina E. Smart-technology in city planning of post-war cities // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering 21, Construction - The Formation of Living Environment. 2018. С. 022043.

Информация об авторах

Щербина Елена Витальевна, профессор, доктор технических наук, кафедры градостроительства. E-mail: ev.scherbina@yandex.ru. Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет. Россия, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26.

Егорова Светлана Павловна, аспирант кафедры градостроительства. E-mail: svet3653@ya.ru. Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет. Россия, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26.

Поступила в январе 2019 г.

© Щербина Е.В., Егорова С.П., 2019

¹*Shcherbina E.V., ^{1,*}Egorova S.P.*

¹*Moscow State University of Civil Engineering (National Research University)
Russia, 129337, Moscow, Yaroslavl highway, 26*

**E-mail: svet3653@ya.ru*

TOWN-PLANNING ASPECTS OF DEVELOPMENT OF TOURISM INDUSTRY

Abstract. The development of the tourism, as a promising direction of socio-economic development of urban and rural areas, defines new approaches to the development of urban planning design documents. In this aspect, the connection is established between the types of tourism activities and urban planning facilities that are necessary for the implementation of the tourist approach. A matrix of town planning objects is proposed depending on the types of tourism. It allows to determine the direction and the formation of objects providing tourist activities, the placement of which should be reflected in the master plan of the city. The importance of developing regional and local standards for urban planning, taking into account the development of the tourism industry is demonstrated.

Keywords: tourism industry, town-planning objects, town-planning design.

REFERENCES

1. Union of small towns [*Soyuz malyh gorodov RF*] <http://smgrf.ru/razrabotka-federalnoj-tselevoj-programmy-razvitiya-prekrashhena/> (accessed 01.12.18). (rus)
2. Strategy for the development of the tourism cluster of the Orel region [*Strategiya razvitiya turistskogo klastera Orlovskoy oblasti*]: URL: <http://docs.cntd.ru/document/444912430> (date of circulation 01.12.18). (rus)
3. Strategy of socio-economic development of the Central Federal district for the period up to 2020 [*Strategiya social'no-ehkonomicheskogo razvitiya Central'nogo federal'nogo okruga na period do 2020 goda*]: URL: <http://docs.cntd.ru/document/902302272> (date of circulation 01.12.18). (rus)
4. Baylik S.I. Of the Hospitality industry [*Gostinichnoe hozyajstvo*]. K: VIRA-R, 2002. 252 p. (rus)
5. Federal Law "on the basics of tourist activity in the Russian Federation" №132-FZ of 24.11.1996 [*Federal'nyj Zakon «Ob osnovah turistskoj deyatel'nosti v Rossijskoj Federacii» №132-FZ ot 24.11.1996*] URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LA_W_12462 (date of circulation 01.12.18). (rus)
6. Tretyakov K.D., Schcherbina E.V. Model of territorial cluster of the urban identity of the historic city of Veliky Novgorod [*Model' territorial'nogo klastera gorodskoj identichnosti istoricheskogo goroda Velikij Novgorod*] Ustojchivoe razvitie territorij. Sbornik dokladov mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii (g. Moskva, 16 maya 2018 g.) Publishing MISI-MGSU, M. 2018. Mode of access: <http://mgsu.ru/resources/izdatelskaya-deyatelnost/izdaniya/izdaniya-otkr-dostupa/> pp. 231–235. (rus)
7. Kushnir A.Y., Schcherbina E.V. Formation of a single socio-cultural space [*Model' territorial'nogo klastera gorodskoj identichnosti istoricheskogo goroda Velikij Novgorod*]. Ustojchivoe razvitie territorij: sbornik dokladov mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii (g. Moskva, 16 maya 2018 g.) Publishing house of MISI-MGSU, 2018. Mode of access: <http://mgsu.ru/resources/izdatelskaya-deyatelnost/izdaniya/izdaniya-otkr-dostupa/> p. 212–215. (rus)
8. Shevchenko E.B. Historical settlements, immovable heritage and urban issues of conservation [*Ob istoricheskikh poseleniyah, nedvizhimyh ob'ektah naslediya i gradostroitel'nyh problemah ohrany naslediya*]. ZAO "Publishing house"ARCHITECT". St. Petersburg, 2018. 367 p. (rus)
9. Afonina M.I., Shcherbina E.V. Spatial-territorial organization of winter sports facilities (Russian experience) [*Prostranstvenno-territorial'naya organizaciya ob'ektov zimnih vidov sporta (Rossijskij opyt)*]. Biosphere compatibility: people, region, technologies. 2016. No. 2 (14). Pp. 29–37. (rus)
10. Afonina M.I. Winter ethno-cultural sports facilities (tracks) – planning and construction issues [*Zimnie ehnikul'turnye sportivnye ob'ekty (trassy) – planirovochnye i stroitel'nye voprosy*]. Ecology of urban areas. 2017. No. 2. Pp. 71–76. (rus)
11. Zhitnev S.Yu. Religious tourism and pilgrimage in the Russian Federation. The current state and prospects [*Religioznyj turizm i palomничество v Rossijskoj federacii. Sovremennoe sostoyanie i perspektivy*]. Journal of the Institute of Heritage. 2016. No. 1 (4). Access code: <https://cyberleninka.ru/article/v/religioznyy-turizm-i-palomничество-v-rossiyskoy-federatsii-sovremennoe-sostoyanie-i-perspektivy-razvitiya>. (rus)
12. Shcherbina E. Gorbenkova E. Smart city technologies for sustainable rural development. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering 21, Construction. The Formation of Living Environment. 2018. P. 022039.
13. Belal A., Schcherbina E. Smart-technology in city planning of post-war cities. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering 21, Construction. The Formation of Living Environment, 2018, P. 022043.

Information about the authors

Shcherbina, Elena V. DSc, Professor. E-mail: ev.scherbina@yandex.ru Moscow State University of Civil Engineering (National Research University). Russia, 129337, Moscow, Yaroslavl highway, 26.

Egorova, Svetlana P. Post-graduate student. E-mail: svet3653@ya.ru. Moscow State University of Civil Engineering (National Research University). Russia, 129337, Moscow, Yaroslavl highway, 26

Received in January 2019

Для цитирования:

Щербина Е.В., Егорова С.П. Градостроительные аспекты развития индустрии туризма // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2019. № 4. С. 88–93. DOI: 10.34031/article_5cb1e65ee16de2.46800338

For citation:

Shcherbina E.V., Egorova S.P. Town-planning aspects of development of tourism industry. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2019. No. 4. Pp. 88–93. DOI: 10.34031/article_5cb1e65ee16de2.46800338

DOI: 10.34031/article_5cb1e65c39c480.46537349

^{1,*}Макарова М.Г., ¹Ладик Е.И., ²Киселев С.Н¹Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова²Управление архитектуры и градостроительства города Белгород

Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

*E-mail: makarovam_1995@mail.ru

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ В ФОРМИРОВАНИИ ОБЩЕСТВЕННО-ДЕЛОВЫХ ПРОСТРАНСТВ

Аннотация. В данной статье исследуются городские общественно-деловые субцентры как вторичные элементы системы города, наиболее близкие по свойствам к его главному центру. Выделены критерии, определяющие общественно-деловые субцентры. Рассмотрены современные тенденции формирования общественно-деловых субцентров в крупных городах и мегаполисах, произведен анализ мирового опыта, на примере нескольких существующих городских субцентров проанализированы зарубежные концепции их пространственного развития. Изучены различные доступные картографические материалы и литературные источники, касающиеся способов развития городских деловых центров и различных аспектов городской застройки. Выделены способы пространственного формирования планировочной структуры городских общественно-деловых субцентров: кластерный и русловый. Рассмотрены стадии развития городских субцентров от территории сосредоточения мелких торгово-бытовых заведений до крупномасштабных многофункциональных градостроительных образований. Проанализированы перспективы развития деловых субцентров в крупных городах Российской Федерации и выявлены тенденции: общественно-делового полицентризма, вынесения административно-деловых центров на окраину городов и образования самоорганизующихся деловых субцентров, преимущественно на базе торгово-развлекательных центров в жилых районах. Рассмотрены перспективы развития городского субцентра в крупном городе на примере г. Белгорода. Сделаны выводы о необходимости разработки новых моделей городских общественно-деловых субцентров, учитывающих современную планировочную специфику крупных и крупнейших городов Российской Федерации. Модели городских общественно-деловых субцентров должны отвечать требованиям полифункциональности, иметь высокие архитектурно-градостроительные качества, учитывать в том числе потребности населения района проектирования и тем самым обеспечивать устойчивое развитие городской периферии.

Ключевые слова: общественно-деловой субцентр, полифункциональный центр, городской полицентризм, градостроительство, город, градостроительные концепции.

Введение. Функциональное доминирование центра над периферией, начало формирования субурбанизаций, увеличение автомобилизации населения, увеличение продолжительноститочных миграций и транспортных заторов, как следствие ухудшение экологической обстановки, проблемы загруженности центра города автотранспортом, недостаточное количество парковочных мест, одни из самых острых и актуальных проблем в современной урбанистике. Эти проблемы могут решаться путем совершенствования транспортной инфраструктуры, административными ограничениями. Однако, более актуальным решением данных проблем является развитие общественно-делового полицентризма и вынесение административно-делового центра на окраину города. Такие формирующиеся центры носят название общественно-деловые субцентры. Данные территории по своей социальной притягательности и пространственному масштабу могут претендовать на статус элементов системы центра города, развиваясь на базе бывших промышленных территорий или цен-

тров городов-спутников, в том числе, как полифункциональные комплексы [3], при смешении независимых друг от друга двух или трёх и более [17, с. 29] функциональных групп («жилище», «работа», «быт», «рекреация») [17].

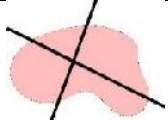
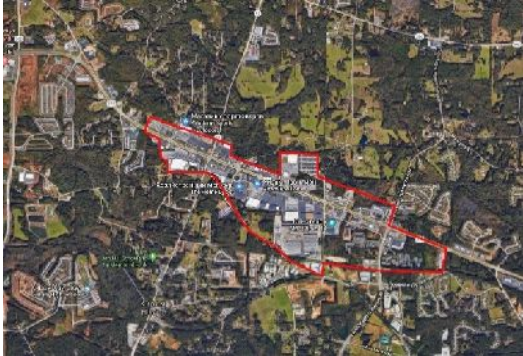
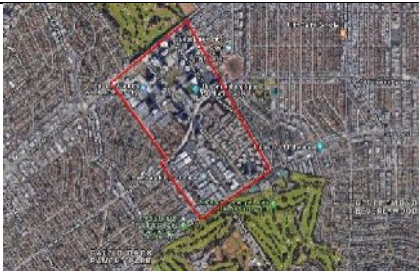
Методика. В исследовании анализируется научная литература, касающаяся способов развития ОДС и различных аспектов городской застройки (градостроительных, объёмно-пространственных, архитектурно-планировочных), концепции, взгляды, реализованные в модели ОДС, связанные с социально-экономической парадигмой времени ее разработки; актуальные перспективы развития модели, на основании чего формируются понимание относительно желаемых свойств застройки ОДС в условиях поставленной задачи по обеспечению их устойчивого развития в городе.

Вопросами исследования формирования общественно-деловых центров занимались Боков А. В., Бочаров Ю. П., Жуковский Р. С., Зюкова Н. Б. Однако, на сегодняшний день вопросы устой-

чивого развития ОДС остаются недостаточно изученными.

Таблица 1

Способы формирования ОДС

Кластерный ОДС 	Русловый ОДС 
 Тайзонс Корнер, штат Вирджиния, США (снимок со спутника)	 Девоншир, штат Атланта США (снимок со спутника)
 Алондра, Лас-Вегас, США (снимок со спутника)	 Ди Уай Грант, Сидней, Австралия (снимок со спутника)
 Мэнли, Сидней, Австралия (снимок со спутника)	 Маклеод Трейл, США (снимок со спутника)
 Сейнчер Сити, США (снимок со спутника)	 Уилшир, Лос-Анджелес, США (снимок со спутника)

Основная часть. Общественно-деловые субцентры (ОДС) – это вторичные элементы системы города, по различным свойствам

наиболее близкие к его центру среди других элементов. ОДС определяются по нескольким критериям: 1) сосуществование с центром горо-

да в пределах одного урбанизированного пятна и/или при сохранении с ним связей агломерационного обмена; 2) автономность пространства в ткани города; 3) общественно-деловой функциональный профиль; 4) многофункциональность интегрального пространства на уровне групп (жилье, работа, сервис, рекреация) [7, с. 85]. На сегодняшний день ОДС по способу формирования делят на кластерные (с развитием в двух пространственных измерениях) и русловые (с развитием в большей степени в одном пространственном измерении) (см. табл. 1).

Второй вариант классификации ОДС – по способу развития. Выделяют так же две разновидности классификаций. Первая включает в себя крупные ОДС такие как Сенчеры Сити в США, Лос-Анджелес. Вначале на таких территориях появляются мелкие торгово-бытовые за-

ведения, позднее крупные торгово-развлекательные центры, отдельные офисные и торговые объекты. Следующая стадия – это образование более крупных зданий офисов и апарт-аментов, возведение пятнами низкоплотной жилой застройки. Третья стадия обусловлена появлением уникальных зданий или функций, например, небоскреба или транспортно-пересадочного узла (рис. 1). Рассматриваемые ОДС представляют собой выраженные полюсы полицентрической поляризации, сформированные почти исключительно механизмами агрессивного рыночного роста. Их устойчивое развитие в большей степени обеспечивается за счет масштаба и многообразия функций, способного конкурировать с центром города, чем за счет пешеход-ориентированного, сомасштабного человеку центроподобного пространства [2].



Рис. 1. Стадии развития ОДС. Сост. Макарова М.Г. на основании разработок Р. С. Жуковского

Вторая разновидность общественно-делового субцентра по способу развития – это ОДС с малоэтажной и низкоплотной застройкой. Примером является пригород Ливерпуля. В отличие от первого типа, это центры, занимающие меньшую территорию, образующиеся не так стихийно, как первые. Это четко распланированные территории с привлечением градостроителей и широкой общественности. Такие ОДС представляют собой слабые полюсы полицентрической поляризации, способные к устойчивому развитию в большей степени за счет комфортности пространства для повседневной жизни, сопоставимой с центром города, чем за счет социально-экономической «машины роста» [2]. Архитектура зданий сомасштабна человеческому росту, за счет чего фасады зданий решены более сложно и выразительно. Для таких ОДС характерно использование таких стилей как классицизм, модернизм, хай-тек и эклектика. Подобные формируемые пространства играют малую роль как полюсы полицентризации, становясь в большей степени локальными социально-экономическими магнитами.

Системы формирования общественно-деловых центров на Западе. Описание общественно-деловых субцентров в современном понимании было сформулировано Ч. Харрисом и

Э. Ульманом в 1945 г. [13]. Инфраструктура западных субцентров подвержена хаотичному развитию: при определенных законных ограничениях, частные предприниматели и инвесторы создают на удаленных от центра города территориях торговые точки, а также собственные конторы и малые производства. Начиная с 1960х гг. западные урбанисты уходят от идей директивного сотворения новых городов по гипотезам модернизма к решению конкретных проблем: например, борьба с «расплывающимися по территории малоэтажными пригородами» (Urban Sprawl) и высокой зависимостью граждан от личного транспорта (Automobile Dependency) [5].

В западном понимании город не является очаговым образованием, у него нет четкого разделения на село (Rural Area), пригород (Suburbs/Exurbs), город, центр (Urban Area). При этом пятна с различными видами застройки (естественной природы, низкоплотной и высокоплотной) зачастую переплетаются между собой, формируя зональную чересполосицу (Leapfrog Zoning). Это и является основополагающим при формировании систем расселения в западных странах. В зависимости от местной экономической конъюнктуры, желания локальной общины (Community) и творчества архитекторов

и инвесторов «центр», как тип среды, может появиться где угодно. Более того, такие «центры» нестабильны и могут мигрировать внутри мегаполиса.

С 1980-х годов на западе появляется понятие Модель MXD (Mixed-Use Development/District). Разрабатываются такие градостроительные концепции и гипотезы, как «новый (суб)урбанизм» (New (Sub)Urbanism), «контролируемый рост систем расселения» (Smart Growth), «работа по соседству с домом» (Co-Location Hypothesis), «система малых полу-автономных городов-районов» (Urban Village) и др. [5] Неотъемлемой частью такого проекта является полифункциональный комплекс/квартал (Mixed-Use Development/District), что аналогично понятию многофункционально-

го комплекса сформулированного А.В. Бокковым.

MXD неоспоримо имеет перспективы развития, так как для всех участников его создания и использования есть неоспоримые преимущества: для жителей – приближение работы, объектов обслуживания к месту проживания, для местных властей – получение большей суммы налогов, для инвесторов и арендаторов – это в перспективе большая и стабильная прибыль, для архитекторов – возможность воплотить свои творческие идеи в жизнь. MXD могут отличаться друг от друга специализацией (подавляющее большинство офисов или торговых площадей), масштабами, компоновкой функций. Многие из MXD, являющиеся альтернативными центрами городов, способны конкурировать с историческими центрами (рис. 2).



Рис. 2. Расположение общественно-деловых центров на карте Лондона (Источник: снимок со спутника)

Для ОДС характерны многофункциональность на уровне групп «жилье, работа, быт, торговля, рекреация» и крупный градостроительный масштаб. Основным преимуществом ОДС перед центром города является цена на земли и недвижимость, она значительно ниже на окраине города, что позволяет ОДС оставаться конкурентно способными. В идеале ОДС как фрагменты города должны занимать определенную нишу в балансе «качество-цена», представляя собой одновременно и более доступный для проживания и предпринимательства аналог центра города, и более комфортную для повседневной жизни среду, чем монофункциональная периферия [2]. Пространство общественно-деловых субцентров чаще всего имеет высокие архитектурно-градостроительные качества и разрабатывается с ориентацией на пешеходов. Образование ОДС обычно уменьшает средне-взвешенные изохроны трудовых и культурно-бытовых поездок горожан. Но на примере с Парижем выяснилось, что время, затраченное парижанами на путь до ОДС значительно больше, чем до центра города. Это означает, что для лю-

дей становится важнее престижность работы, чем приближенность к дому, важнее место проведения досуга, чем время, потраченное на дорогу.

На сегодняшний день формирование ОДС в России является актуальным вопросом. Это совершенно другая логика построения пространства. В связи с четким планированием и функциональным зонированием российских городов стали формироваться новые, в большей степени «самоорганизуемые» ОДС – в первую очередь, на базе торгово-развлекательных центров в сплит-бе, в промышленных зонах. В современных генеральных планах более чем тридцати крупных и крупнейших городов России, принятых в 2005–2012 гг., явно декларируется необходимость дальнейшего формирования многофункциональных зон в новых жилых районах на периферии, что можно рассматривать как шаг к дальнейшему развитию городского полицентризма. Достаточно предметно эта концепция обсуждается экспертами в Санкт-Петербурге и Москве с начала 2010-х гг. Так, есть разные мнения о том, на какие по размерности районы

можно «поделить» Санкт-Петербург, сколько их будет (три, девять или восемьдесят), и насколько крупными и насыщенными станут их новые центры [1, 29–31]. Примеры существующих и развивающихся субцентров в России – это стро-

ящийся «Лахта центр» в Санкт-Петербурге (рис. 3), «Москва-Сити» в Москве (рис. 4), «Город нефтяников» в Томске, ТРЦ «Голден-Парк» в Новосибирске.



Рис. 3. Проект «Лахта-центр» г. Санкт-Петербург

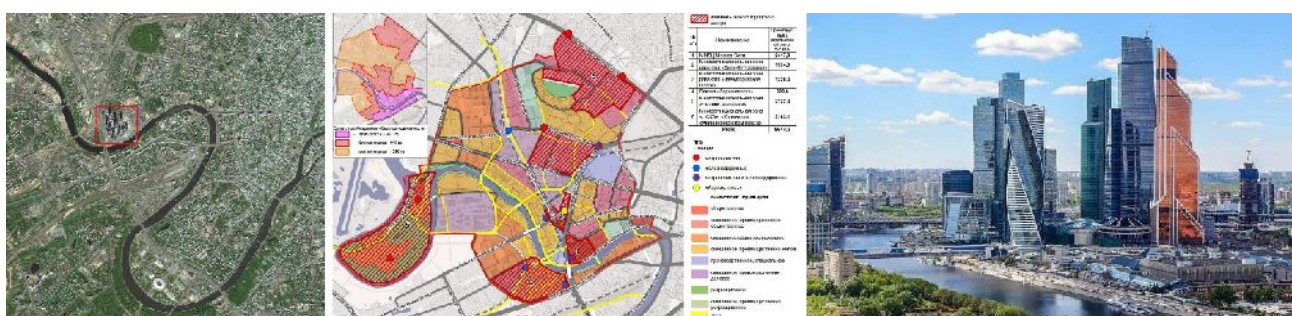


Рис. 4. «Москва-Сити» г. Москва

Вследствие того, что в России процесс формирования полицентричных городов только набирает обороты, градостроительные нормы и правила еще не сформировались с учетом потребностей многофункциональной застройки, отечественные градостроители сталкиваются с рядом проблем, при проектировании деловых центров. Первая из проблем, допускают ли нормативные положения о зонировании и строительстве города или района подобную застройку. Так же часто кодекс зонирования использует только визуальные требования к решению проекта, а не детально прописанный закон. Для создания живого, безопасного, устойчивого и здорового города с человеческим масштабом его общественных пространств, необходимо учитывать: принципы городского планирования и их реализацию, критерии качества городской среды и методику оценки нижних этажей зданий [17].

В городе Белгород на данный момент активно идет процесс формирования общественно-делового субцентра в юго-западном районе города. Эти действия призваны разгрузить центр города, помочь решению проблемы с парковочными местами и разделить людские и транспортные потоки, сократить время маятниковых

миграций населения. ОДС в Белгороде разрабатывается с привлечением архитекторов, градостроителей, властей и местных жителей. Главной задачей ставится комфортность пространства для повседневной жизни и для работы. Субцентр планируется среднеплотной застройки кластерного типа (рис. 5).

Основные выводы. Рост предпринимательской активности в условиях современной экономики ставит проблему формирования новых общественно-деловых субцентров в сложившейся планировочной структуре крупных российских городов в число приоритетных градостроительных задач. Центры крупных городов как правило концентрирует избыточные транспортные и людские потоки и испытывают экологические проблемы. Выходом из данной ситуации является формирование альтернативных общественно-деловых субцентров у периферии городов, которые будут конкурентоспособны застройке городских центров. Формируемые ОДС должны быть полифункциональными и учитывать в том числе и потребности населения района проектирования.

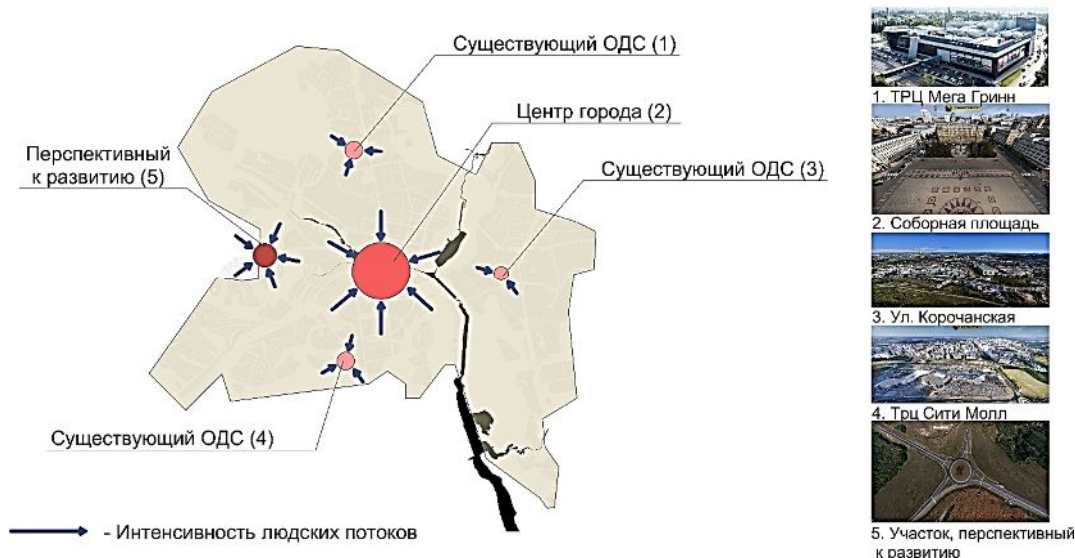


Рис. 5. Общественно-деловые территории города Белгород. Сост. Макарова М.Г.

Деловая функция, позволяет соединять, комбинировать и образовывать различные типы многофункциональной общественной застройки. При разработке концепций по формированию ОДС целесообразно использовать кластерные либо русловые структуры в зависимости от ситуации проектирования.

ОДС способствуют укреплению и расширению локальных и общегородских социально-экономических связей, позволяют экономить земельные и инфраструктурные ресурсы, способствует повышению местной налоговой базы и общих экономических показателей города в целом.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бабуров А.В., Гутнов А.Э., Дюментон Г.Г., Лежава И.Г. Новый элемент расселения. На пути к новому городу. М.: Изд-во литературы по строительству, 1966. С. 29–31.
2. Жуковский Р.С. Архитектура застройки общественно-деловых субцентров городов как фактор их устойчивого развития [Электронный ресурс]. Систем. требования: AdobeReader. URL: http://archvuz.ru/2017_2/4 (дата обращения 23.06.18).
3. Боков В.А. Архитектурно-пространственная организация многофункциональных общественных комплексов и сооружений: автореф. дис. канд. архитектуры. М., 1974. 54 с.
4. Поморов С.Б., Жуковский Р.С. Тенденции развития полицентризма и формирование общественно-деловых субцентров в крупных и крупнейших региональных городах (на примере Западной Сибири) // Материалы Всерос. науч. конф. с международным участием «Теория со-

временного города: прошлое, настоящее, будущее» (Екатеринбург, 18-20 мая 2016 г.), Екатеринбург: Изд-во УрГАХУ, 2016. С. 64–66.

5. Поморов С.Б., Жуковский Р.С. Сравнительный анализ теоретических моделей общественно-деловых субцентров и центра города [Электронный ресурс]. Систем. требования: AdobeReader. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=26125914> (дата обращения 17.06.18).

6. Жуковский Р.С., Поморов С.Б. Архитектурное пространство общественно-деловых субцентров городов: тенденции формирования // Архитектура и строительство России. 2016. №3. С. 68–75.

7. Жуковский Р.С. Архитектурно-градостроительная типология общественно-деловых субцентров городов // Вестник ТГАСУ. 2017. №1. С. 82–95.

8. Зюкова Н.Б. Эволюция концепций и моделей функционально-территориального развития городских агломераций // Градостроительство. 2012. №1. С. 47–50.

9. Мазаев А.Г. От моноцентрической к полицентрической полицентризации. Теоретические основы и сценарии расселения в условиях современной России // Градостроительство. 2013. №1. С. 65–71.

10. Хамецкий Р.И. Основные принципы архитектурно-планировочной организации систем общественных центров современного крупного города. (Ступенчатая система): автореф. дис. канд. Архитектуры. Санкт-Петербург, 1966. 26 с.

11. Руководство по проектированию комплексов общественных центров районного значения в жилой застройке / под ред. В.Л. Кулаги; ЦНИИЭП комплексов зданий культуры, спорта

и управления им. Б.С. Мезенцева. М.: Изд-во Стройиздат, 1982. 52 с.

12. Джейкобс Д. Смерть и жизнь больших американских городов (пер. с англ.). М.: Изд-во Новое издательство (Библиотека свободы), 2015. 460 с.

13. Harris C.D., Ullman E.L. The Nature of Cities // The ANNALS of the American Academy of Political and Social Science. 1945. no. 242. pp. 7–17.

14. Garreau, J. Edge City. Life on the New Frontier. New York: Anchor Books, a Division of Random House inc., 1991. 548 p.

15. Смирнова О.В., Хромов В.Я. Учреждения обслуживания и общественные центры городов. М.: Изд-во Стройиздат, 1973. 111 с.

16. Цайдлер Э. Многофункциональная архитектура. М.: Изд-во Стройиздат, 1988. 152 с.

17. Киселев С.Н., Перцев В.В., Перькова М.В. Особенности формирования комплексной инфраструктуры как фактор повышения качества жизни населения на территории Белгородской области // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2015. №1 С. 11–15.

Информация об авторах

Макарова Мария Геннадиевна, студент кафедры архитектуры и градостроительства. E-mail: makarovam_1995@mail.ru, makarova_mg@edu.bstu.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

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

Киселев Сергей Николаевич, главный архитектор городского округа «Город Белгород». E-mail: arkis23@mail.ru. Управление архитектуры и градостроительства г. Белгорода. Россия, 308012, Белгород, Гражданский проспект, д. 38.

Поступила в январе 2019 г.

© Макарова М.Г., Ладик Е.И., Киселев С.Н., 2019

^{1,*}**Makarova M.G., ¹Ladik E.I., ²Kiselev S.N.**

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

²Department of Architecture and Urban Planning of the Belgorod City

Russia, 308012, Belgorod, st. Kostukov, 46

*E-mail: makarovam_1995@mail.ru

MODERN TRENDS IN THE FORMATION OF PUBLIC BUSINESS SPACES

Abstract. This article examines the urban public and business subcenters as secondary elements of the city system, the closest in properties to its main center. The criteria defining the public business subcenters are highlighted. The current trends in the formation of social and business subcenters in large cities and megalopolises are considered. Analysis of world experience is produced. Foreign concepts of spatial development are analyzed on the example of several existing urban subcenters. Various available cartographic materials and literature sources have been studied. They cover the development of urban business centers and various aspects of urban development. The methods of spatial formation of the planning structure of urban public business subcenters are highlighted: the cluster and channel. The development stages of urban subcenters from the territory of concentration of small trade and residential establishments to large-scale multifunctional urban planning formations are presented. The prospects for the development of business subcenters in major cities of the Russian Federation are analyzed and trends are identified: social and business polycentrism, disposition of administrative and business centers on the outskirts of cities and the formation of self-organizing business subcenters, mainly based on shopping and entertainment centers in residential areas. Prospects for development of urban subcenter in a large city are considered on the example of the city of Belgorod. Conclusions are drawn on the need to develop new models of urban public business subcenters taking into consideration the modern planning specifics of large cities and megalopolises of the Russian Federation. Models of urban public business subcenters must meet the requirements of polyfunctionality, to have high architectural and town planning qualities, to take into account the needs of population in the design area and to ensure the sustainable development of the urban periphery.

Keywords: public business subcenter, polyfunctional center, urban polycentrism, urban planning, city, urban planning concepts.

REFERENCES

1. Baburov A.V., Gutnov A.E., Dumenton G.G., Lezhava I.G. New element of settlement. On the way to a new city [*Novyj ehlement rasseleniya. Na puti k novomu gorodu*]. Moscow: Publishing house of literature on construction, 1966, pp. 29–31. (rus)
2. Zhukovsky R.S. Architecture of development of public business sub-centers of cities as a factor of their sustainable development [*Arhitektura zastroyki obshchestvenno-delovyh subcentrov gorodov kak faktor ih ustojchivogo razvitiya*]. Available at: http://archvuz.ru/2017_2/4 (accessed 23.06.18). (rus)
3. Bokov V.A. Architectural and spatial organization of multifunctional public complexes and structures [*Arhitekturno-prostranstvennaya organizatsiya mnogofunktsional'nyh obshchestvennyh kompleksov i sooruzhenij*]: author. dis. Cand. architecture. Moscow, 1974, 54 p. (rus)
4. Pomorov S.B., Zhukovsky R.S. Development trends of polycentrism and the formation of social and business sub-centers in large and largest regional cities (on the example of Western Siberia) [*Tendentsii razvitiya policentrizma i formirovanie obshchestvenno-delovyh subcentrov v krupnyh i krupnejshih regional'nyh gorodah (na primere Zapadnoj Sibiri)*]. Materialy Vseros. nauch. konf. s mezhdunarodnym uchastiem «Teoriya sovremennogo goroda: proshloe, nastoyashchee, budushchee» (Ekaterinburg, 18-20 maya 2016 g.) Ekaterinburg, Publishing House of the Ural State Academy of Arts, 2016, pp. 64–66. (rus)
5. Pomorov S.B., Zhukovsky R.S. Comparative analysis of theoretical models of social business sub-centers and the city center [*Sravnitel'nyy analiz teoreticheskikh modelej obshchestvenno-delovyh subcentrov i centra goroda*]. Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=26125914> (accessed 17.06.18). (rus)
6. Zhukovsky R.S., Pomors S.B. The architectural space of public business sub-centers of cities: the formation trends [*Arhitekturnoe prostranstvo obshchestvenno-delovyh subcentrov gorodov: tendentsii formirovaniya*]. Architecture and Construction of Russia. 2016. No. 3. Pp. 68–75. (rus)
7. Zhukovsky R.S. Architectural and town-planning typology of public business sub-centers of cities [*Arhitekturno-gradostroitel'naya tipologiya obshchestvenno-delovyh subcentrov gorodov*]. Bulletin of Tomsk state architectural-building university. 2017. No. 1. Pp. 82–95. (rus)
8. Zyukova N.B. The evolution of concepts and models of functional-territorial development of urban agglomerations [*Evolutsiya koncepcij i modelej funktsional'no-territorial'nogo razvitiya gorodskih aglomeracij*]. Urban planning. 2012. No. 1. Pp. 47–50. (rus)
9. Mazaev A.G. From monocentric to polycentric polycentrization. Theoretical foundations and scenarios of resettlement in the conditions of modern Russia [*Ot monocentricheskoj k policentricheskoj policentrizatsii. Teoreticheskie osnovy i scenariy rasseleniya v usloviyah sovremennoj Rossii*]. Urban planning, 2013, no.1, pp. 65–71. (rus)
10. Khametsky R.I. The basic principles of the architectural and planning organization of systems of public centers of a modern large city. (Step system) [*Osnovnye principy arhitekturno-planirovochnoj organizatsii sistem obshchestvennyh centrov sovremennogo krupnogo goroda. (Stupenchataya sistema)*]: author. dis. Cand. Architecture. St. Petersburg, 1966, 26 p. (rus)
11. Guidelines for the design of complexes of community centers value in residential buildings [*Rukovodstvo po proektirovaniyu kompleksov obshchestvennyh centrov rajonnogo znacheniya v zhil'nykh zastroykakh*]. Ed. V.L. Kulagi; TSNIIEP building complexes culture, sport and management. B.S. Mezentsev. Moscow: Publishing House Stroyizdat, 1982, 52 p. (rus)
12. Jacobs D. The Death and Life of Large American Cities (translated from English) [*Smert' i zhizn' bol'shih amerikanskih gorodov (per. s angl.)*]. Moscow: New Publishing House (Freedom Library), 2015, 460 p. (rus)
13. Harris C.D., Ullman E.L. The Nature of Cities. The ANNALS of the American Academy of Political and Social Science, 1945, no. 242, pp. 7–17.
14. Garreau, J. Edge City. Life on the New Frontier. New York: Anchor Books, a Division of Random House inc., 1991, 548 p.
15. Smirnova O.V., Khromov V.Ya. Service institutions and public centers of cities [*Uchrezhdeniya obsluzhivaniya i obshchestvennyye centry gorodov*]. Moscow: Publishing House Stroyizdat, 1973, 111 p. (rus)
16. Zeidler E. Multifunctional architecture [*Mnogofunktsional'naya arhitektura*]. Moscow: Publishing House Stroyizdat, 1988, 152 p. (rus)
17. Kiselev S.N., Pertsev V.V., Perkova M.V. Features of the formation of complex infrastructure as a factor in improving the quality of life of the population in the Belgorod region [*Osobennosti formirovaniya kompleksnoj infrastruktury kak faktor povysheniya kachestva zhizni naseleniya na territorii belgorodskoy oblasti*]. Bulletin of BSTU. 2015. No.1. pp. 11–15. (rus)

Information about the authors

Makarova, Maria G. Master student. E-mail: makarovam_1995@mail.ru, makarova_mg@edu.bstu.ru. Belgorod State Technological University named after V.G.Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st.Kostyukova, 46.

Ladik, Elena I. Assistant professor. E-mail: olga.koalchenko@mail.ru. Belgorod State Technological University named after V.G.Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Kiselev, Sergey N. Chief architect of the Belgorod City district. E-mail: arkis23@mail.ru. Department of Architecture and Urban Planning of the Belgorod City district. Russia, 308012, Belgorod, Grazhdanskiy Prospekt, 38.

Received in January 2019

Для цитирования:

Макарова М.Г., Ладик Е.И., Киселев С.Н. Современные тенденции в формировании общественно-деловых пространств // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2019. № 4. С. 94–102. DOI: 10.34031/article_5cb1e65c39c480.46537349

For citation:

Makarova M.G., Ladik E.I., Kiselev S.N. Modern trends in the formation of public business spaces. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2019. No. 4. Pp. 94–102. DOI: 10.34031/article_5cb1e65c39c480.46537349

DOI: 10.34031/article_5cb1e65a475b16.88067977

¹Гундлах В.В., ^{1,*}Вайтенс А.Г.¹Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет

Россия, 190005, г. Санкт-Петербург, ул. 2-я Красноармейская, д. 4

*E-mail: avaytens@gmail.com

СОВРЕМЕННЫЙ ЗАРУБЕЖНЫЙ ОПЫТ МЕСТНОГО ГРАДОРЕГУЛИРОВАНИЯ ПРИРЕЧНЫХ ТЕРРИТОРИЙ

Аннотация. В настоящее время проблемы местного градорегулирования приречных территорий становятся все более актуальными для регионов Российской Федерации. В статье приведено описание основных проблем организации местного самоуправления в России, изучен современный зарубежный опыт местного градорегулирования приречных территорий в Швеции, Дании, Германии, Франции, Бельгии (Валлонский регион, Фламандский регион и Брюссельский столичный округ), Нидерландах и Польше. Описаны возможные варианты такого регулирования: правительственные организации, общественные проекты, локальные стратегии развития. Стратегии осуществляется через формулирование и развитие идей на местном уровне и подачи заявки в поисках сотрудничества с муниципалитетом и частым бизнесом. Рассмотрены возможные варианты участия местного населения в развитии прибрежных территорий. Приведён пример метода «Leader» основанного на сотрудничестве государственного, общественного, частного и некоммерческого секторов, образующих локальную группу развития, местную группу действий для развития территорий вдоль р. Гёта-Эльв в Швеции. Проанализирована муниципальная стратегия ландшафтных интересов в городе и окрестностях города Ольборг (Дания). Дана краткая характеристика организованному сообществу речных бассейнов Везер (The Flussgebietsgemeinschaft Weser (FGG Weser)) в Германии. Проанализированы примеры существующих межмуниципальных неправительственных проектов в Польше, включающих мероприятия, направленные на раскрытие туристического и культурного потенциала приречных территорий реки Вислы.

Сделаны выводы о возможности, опираясь на опыт зарубежных стран, в рамках местного градорегулирования в регионах Российской Федерации сформировать единый межмуниципальный орган, который в свою очередь будет координировать развитие приречных территорий.

Ключевые слова: местное самоуправление, градорегулирование, приречные территории, градостроительное развитие, локальная стратегия развития.

Введение. Под местным самоуправлением понимается осуществление местными жителями или их избранными представителями обязанностей и полномочий местного значения, исходя из своих интересов и с учетом исторических особенностей.

Решение проблемы местного градорегулирования приречных территорий в России в настоящее время становится все более актуальной: растет необходимость освоения прибрежных пространств, развития находящихся на реках поселений, создания необходимой социальной, транспортной и инженерной инфраструктуры, обеспечения безопасности и доступности, улучшения экологии, повышения инвестиционной привлекательности территорий и качества жизни.

Во многих западных странах в рамках местного градорегулирования приречных территорий создаются локальные стратегии развития, правительственные и общественные организации, проекты. Их изучение, а также последующее частичное использование с адаптацией к отечественным особенностям осуществления градостроительной деятельности, будет способ-

ствовать более качественному развитию и преобразованию приречных территорий в России.

Проблемы организации местного самоуправления в России. 28.02.1996 г. Россия подписала Европейскую Хартию (далее – Хартия) местного самоуправления и ратифицировала ее 20.03.1998 [1], тем самым взяв на себя обязательства соблюдать общепризнанные принципы местного самоуправления в полном объеме, так как в отличие от других стран не сделала никаких оговорок по ее исполнению [2, с.241].

Реализация положений Европейской хартии местного самоуправления происходит через реализацию Федерального закона Российской Федерации от 06.10.2003 № 131–ФЗ «Об общих принципах организации местного самоуправления в Российской Федерации» (далее – Закон № 131–ФЗ) [3]. В целом данный закон соответствует ее положениям, но, тем не менее, необходимо выделить ряд основных возникающих противоречий, препятствующих благоприятной работе органов местного самоуправления:

1. Закон № 131–ФЗ предусматривает, что, если при осуществлении отдельных переданных государственных полномочий за счет предо-

ставления субвенций местным бюджетам ОМС было допущено нецелевое расходование бюджетных средств или какое-либо нарушение нормативно-правовых актов, отдельные полномочия могут временно исполнять органы государственной власти СРФ. Кроме того, ими может быть создана временная финансовая администрация, которая в течение года может управлять данной территорией. [3, гл. 10, ст. 75, ч. 1, п. 3] Таким образом, осуществляется вмешательство в сферу местного самоуправления, что приводит к нарушению его самостоятельности и к встраиванию его в систему государственной власти. Возможным решением может быть изъятие бюджетных ресурсов, отстранение от должности или приостановление полномочий органов местного самоуправления [2, с. 242].

2. Закон № 131–ФЗ устанавливает обязательный перечень органов местного самоуправления, что противоречит положению Хартии о том, что они имеют возможность сами определять свои внутренние административные структуры [1, ч. I, ст. 6, п. 1]. Тем самым теряется возможность формирования структур, отвечающих местным потребностям и обеспечивающих эффективное управление.

3. Хартия предусматривает, что необходимо осуществление административного контроля над органами местного самоуправления [1, ч. I, ст. 8]. Однако Российское законодательство не содержит определения и механизма осуществления такого контроля. Между тем, важно понимать, что для эффективности местного самоуправления необходима гармония принципов контроля и самостоятельности [2, с. 242].

4. Хартия устанавливает право органов местного самоуправления на обладание достаточными собственными финансовыми ресурсами, соразмерными предоставленным им полномочиям. [1, ч. I, ст. 9] В свою очередь Закон № 131–ФЗ не содержит такого положения, и, как результат, местное самоуправление в России ими не обладает.

Как известно, население оценивает политику органов местного самоуправления по мероприятиям, влияющим на условия жизни и труда, а также по решениям социальных, экономических и политических вопросов и соблюдении интересов населения на местном уровне. Но реализовать имеющие полномочия в полном объеме без получения межбюджетных трансфертов, только за счет собственного бюджета, могут только некоторые муниципальные образования. Таким образом, в качестве главной проблемы организации и развития местного самоуправления в России выделяется проблема недофинансирования, которая снижает удовлетворенность

населения, как качеством своей жизни, так и результативностью государственной политики в целом. [4, с. 279]

В связи с тем, что в соответствии с действующим Российским законодательством муниципальные образования самостоятельно несут ответственность за свое нынешнее состояние и перспективы развития своей территории, привлечение населения к решению местных проблем позволяет развить в людях заинтересованность, желание и инициативность. В таких условиях крайне важно изучение зарубежного опыта местного градорегулирования, в основе которого, как правило, лежит подход «снизу вверх»: местное население активно чувствует в развитии территорий.

В Швеции посредством метода Leader, при котором частный, некоммерческий и государственный сектор совместно разрабатывают локальную стратегию развития, был создан руководящий документ «Leader. LängsGötaälv», [5] координирующий развитие территорий вдоль р. Гёта-Эльв. (см. рис. 1) Метод Leader основан на сотрудничестве государственного, общественного, частного и некоммерческого секторов, образующих локальную группу развития, местную группу действий.

Участниками Стратегии являются муниципалитеты Ale, LillaEdet, Trollhättan, Vänersborg и районы Гётеборга Angered, NorraHisingen и ÖstraGöteborg. Источники финансирования: ERDF (Европейский фонд регионального развития), ESF (Европейский социальный фонд), EAFRD (Европейский сельскохозяйственный фонд развития сельских районов).

Генеральная цель Стратегии – долгосрочное, устойчивое развитие с точки зрения роста рабочих мест, занятости населения и качества жизни. Документ закладывает общее видение развития территории, включающее: 1) разработку туристических направлений за счет сотрудничества города и деревни и развития людских ресурсов; 2) хороший климат для творчества, предпринимательства и бизнеса; 3) устойчивое производство и потребление; 4) снижение сегрегации и изоляции внутри и между городскими и сельскими районами [5]. Инструментом стратегического планирования выступает SWOT-анализ, оценивающий сильные стороны (Strengths), слабые стороны (Weaknesses), возможности (Opportunities) и угрозы (Threats) территории.

Реализация Стратегии осуществляется через формулирование и развитие идей на местном уровне; формирование их в реальный проект, получающий конкретизацию и партнеров; и подачи заявки в поисках сотрудничества с муни-

ципалитетом, частым бизнесом, школами, библиотеками и т.д. В завершении из предложенных проектов для дальнейшего финансирования и реализации выбираются те, которые отвечают положениям и видению Стратегии.

В Дании разработана муниципальная стратегия «Grøn-blå Struktur», учитывающая ландшафтные интересы коммуны Ольборг [6]. Ответственность за ее реализацию частично отражена в законодательстве, которое дает муниципалитетам обязательство заботиться об интересах природных, ландшафтных ценностей, водной среды и т. д.

Стратегия «Grøn-blå Struktur» делит территорию на сеть клиньев (kile) и поясов (bånd), которые связаны экологическими и рекреационными связями, создающими наиболее ценные ландшафтные и природные территории Ольборгской коммуны (см. рис. 2). Для каждой группы клиньев и поясов разработаны характерные черты, показатели идентичности, основное значение, ценности, межмуниципальный трансграничный контекст; выделены приоритеты развития и основные направления деятельности.

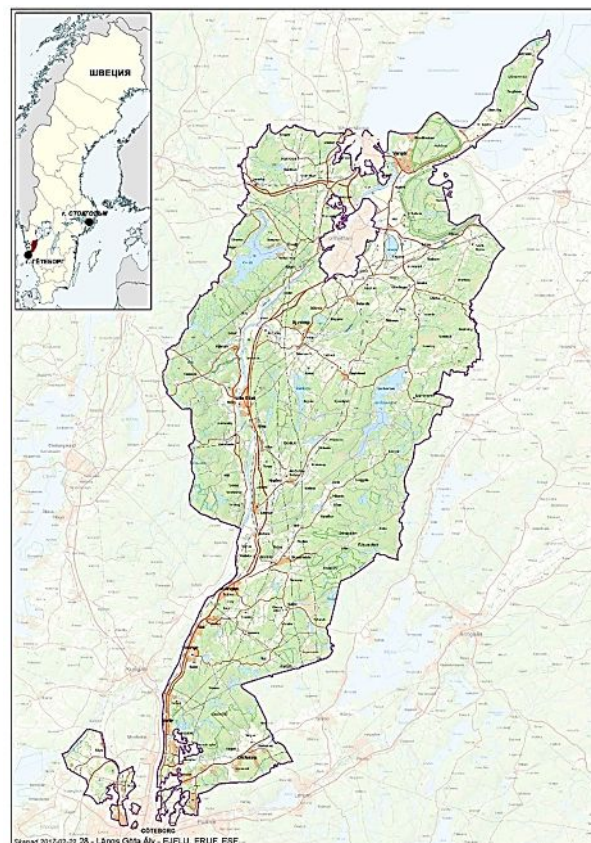


Рис. 1. Стратегия «Leader. Längre Göta älv».

Карта региона.

Локальная стратегия, координирующая развитие территорий вдоль р. Гёта-Эльв (Швеция).

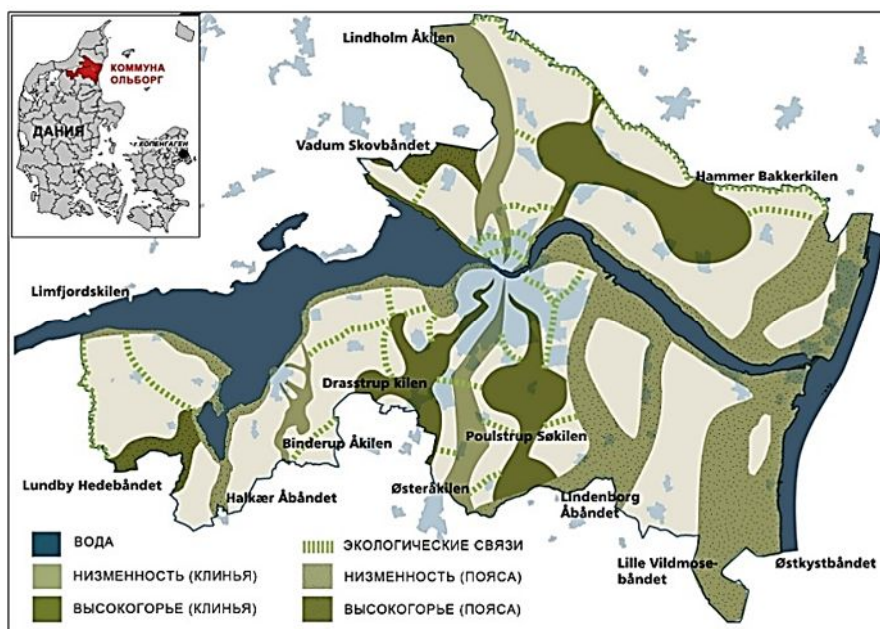


Рис. 2. Стратегия «Grøn-blå Struktur».

Муниципальная стратегия ландшафтных интересов в городе и окрестностях города Ольборг (Дания).

Отдельно выделяется прибрежный территориальный клин Limfjordskilen (см. рис.3), как важный элемент всей структуры, придающий территории идентичность. Он содержит весь

водный и прибрежный ландшафт пролива Лимфьорда в пределах муниципалитета Ольборг [6].

В Германии организовано «Сообщество речных бассейнов Везер» (The Flussgebietsgemeinschaft Weser (FGGWeser)), с целью реализа-

ции Водной Рамочной директивы Евросоюза и Директивы Евросоюза об оценке и управлении рисками наводнений. Задачами данного сообщества являются транснациональная координация управления водными ресурсами в Везере, в частности для борьбы с загрязнением; сани-

тарная защита и защита от наводнений; сбор данных о качестве воды Везера и его источников, оценка и публикация этих данных; муниципальное регулирование в случае загрязнения воды и других опасных событий [7].

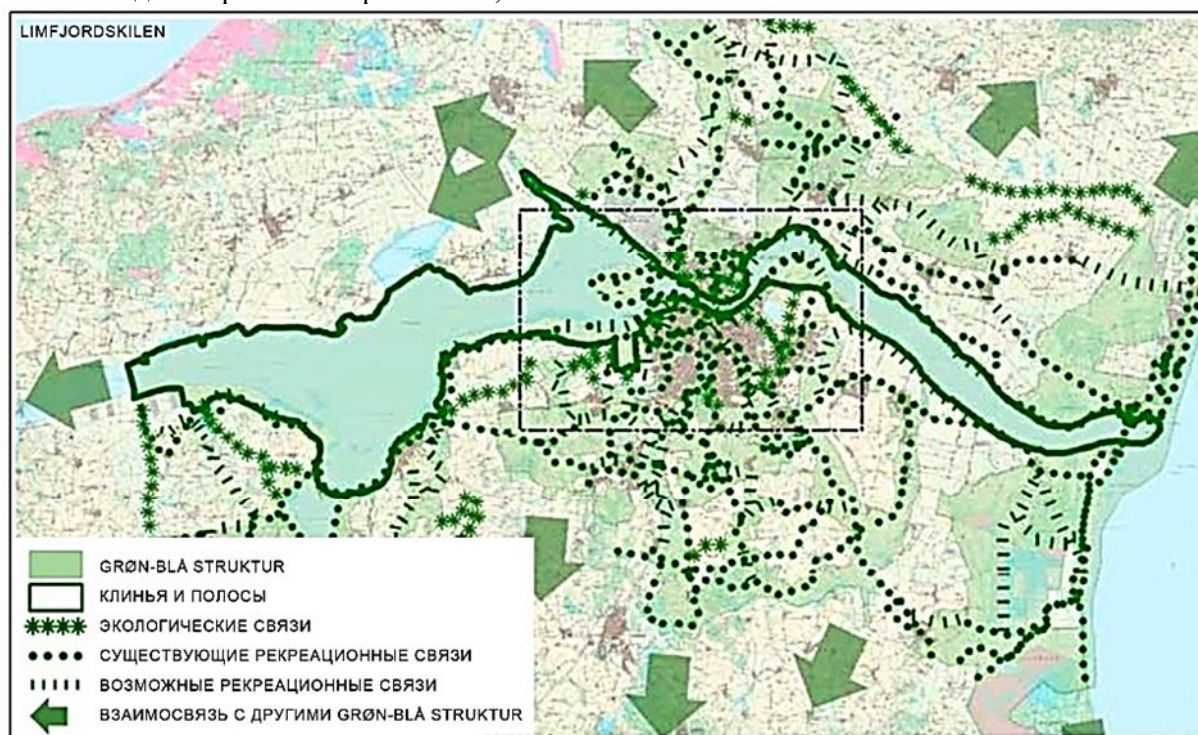


Рис. 3. Прибрежный территориальный клин Limfjordskilen
Один из семи клиньев, выделенных в Стратегии «Grøn-blåStruktur»

Участники в лице государственного сектора, общественности, некоммерческих и частных лиц взаимодействуют на государственных и муниципальных уровнях. На рабочем уровне вопросы, связанные с речными бассейнами, обсуждаются при поддержке рабочих групп экспертов и затем представляются для принятия решения в Совет Weserrat (уровень принятия решений), в состав которого входят руководители отделов управления водными ресурсами. Конференция министров Weser решает основные задачи управления и возможные конфликты (уровень решений). Участие общественности в реализации директив включает процесс консультаций, активное участие заинтересованных сторон и слушания.

Франция, Бельгия (Валлонский регион, Фламандский регион и Брюссельский столичный округ), Нидерланды объединились для укрепления сотрудничества между прибрежными районами речного бассейна Шельды. (см. рис. 4) Сформированная «International Scheldt Commission» – международный межправительственный орган по устойчивому управлению районом реки Шельда, имеет целью реализацию Водной Рамочной директивы Евросоюза

и Директивы Евросоюза об оценке и управлении рисками наводнений. Задачами организации являются взаимное и на многосторонней основе согласованное выполнение своих обязательств, установленных Водной Рамочной директивой; вынесение рекомендаций в отношении мер предосторожности, защиты и предупреждения в случае наводнения или загрязнения окружающей среды; формирование программы действий; обмен информацией и мнениями по водной политике; научные исследования, сотрудничество с другими международными организациями [8].

Подобные подходы могут быть применимы в российских условиях.

В Бельгии «Scheldeland» – это фламандский регион, который простирается вдоль рек Шельда, Дендери Рупельв в городском треугольнике, образованном Антверпеном, Брюсселем и Гентом [9]. Таким образом, река формирует бренд территории, создает ее уникальность и повышает привлекательность. В Scheldeland активно развит туризм, разработаны туры для разных групп населения, вело- и пешеходные маршруты, разнообразные мероприятия и вся необходимая сопутствующая инфраструктура.

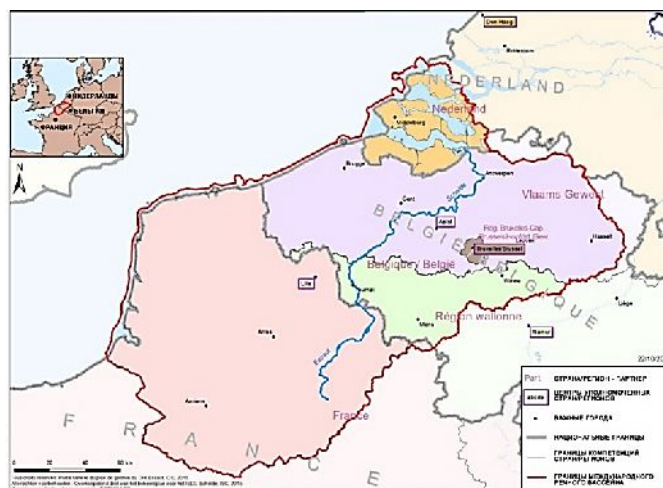


Рис. 4. «International Scheldt Commission». Границы компетенций.

Международный межправительственный орган по устойчивому управлению районом реки Шельда (Франция, Бельгия (Валлонский регион, Фламандский регион и Брюссельский столичный регион), Нидерланды)

В Польше существуют межмуниципальные неправительственные проекты «Год реки Вислы 2017», «Граждане реки Вислы 2017, 2018» («Rok Rzeki Wisły 2017», «Obywatel Rzeki Wisły 2017, 2018») [10]. Они включают мероприятия, направленные на раскрытие туристического и культурного потенциалов Вислы через проведения разного рода мероприятий, организации серий учебных и рабочих совещаний для местного населения. Участниками проектов являются представители местных органов власти, торгово-промышленные палаты и общественные организации, жители Вислы, местные туристические организации, а также предприниматели, связывающие свою деятельность с потенциалом Вислы (туризм, отдых, культура, ремесла). Они обязуются представлять и строить качественный бренд реки Вислы на основе своих собственных проектов, тем самым создавать долгосрочные перспективы развития прибрежных территорий в следующих областях: культура и национальное наследие, отдых и туризм, экология и природа, малая водная инфраструктура и малая речная навигация. Реализация проектов происходит через формулирование идей на местном уровне, формирования их в реальный проект и прохождения конкурса с целью дальнейшего финансирования и поддержки [10].

Выводы. Изученный современный зарубежный опыт нацелен на долгосрочное, устойчивое развитие приречных территорий, раскрытие их потенциала, формирование качественной среды. Участниками такого регулирования являются государственный сектор региональных органов исполнительной власти, общественность, некоммерческие и частные лица муниципальных образований одной страны (Швеция, Дания, Германия, Польша) и соседних стран (Франция, Бельгия, Нидерланды). Одним из

уровней реализации рассмотренных стратегий и проектов выступает генерация идей и/или их осуществление через местное заинтересованное население.

В рамках местного градорегулирования в России возможно формирование единого межмуниципального органа, координирующего развитие приречных территорий. В качестве примера может быть приведено создание Концепции развития прибрежных территорий р. Невы, ответственность за реализацию которой была бы закреплена загородскими и сельскими поселениями, входящими в состав приречного региона, а контроль над реализацией могла бы осуществить администрация Ленинградской области в лице Комитета по архитектуре и градостроительству.

Такой руководящий документ мог бы способствовать устойчивому развитию территорий, регулировать природные, ландшафтные и рекреационные ценности, благоприятствовать охране окружающей среды, создавать своеобразный бренд территорий, привлекательный как для местного населения, так и способствующий развитию туризма и идентичности среды.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Европейская хартия местного самоуправления от 15.10.1985 г. // Собрание законодательства Российской Федерации. 1998 г. 7 сентября. №36.
2. Барбарова Н.Г. Проблема реализации положений Европейской хартии местного самоуправления и законодательства Российской Федерации о местном самоуправлении в субъектах Российской Федерации (на примере Ленинградской области) // Известия РГПУ им. А.И. Герцена. 2009. №117. С. 240–246.

3. Федеральный закон Российской Федерации от 06.10.2003 № 131-ФЗ (ред. 03.08.2018 г.) «Об общих принципах организации местного самоуправления в Российской Федерации»

4. Ломовцева Т.В., Франц О.Б. Влияние органов местного самоуправления на качество жизни населения // Стратегии развития социальных общностей, институтов и территорий: материалы II Международн. науч.-практ. конф. Екатеринбург, 18–20 апреля 2016 г.: в 2-х т. Екатеринбург : Изд-во Урал.ун-та, 2016. Т. 2. С. 277–282.

5. Längs Göta älv – lokalt ledd utveckling. Utvecklingsstrategi för lokalt ledd utveckling genom Leadermetoden. URL: <https://www.langsgotaalv.se/index.php/om-leader-langs-gota-alv/strategi-2014-2020> (дата обращения: 03.10.2018).

6. Den overordnede plan af Aalborg Kommunes "Grøn-blå Struktur". URL: <https://www.aalborg.dk/om-kommunen/byplanlaegning/temaer-inden-for-byplanlaegning/groen-blaa-struktur> (дата обращения: 25.10.2018)

7. Die Flussgebietsgemeinschaft Weser (FGG Weser). URL: <https://www.fgg-weser.de/> (дата обращения: 15.10.2018)

8. International Scheldt Commission. URL: <http://www.isc-cie.org/> (дата обращения: 01.11.2018)

9. Scheldeland. Langs Schelde. Dender en Ruppel. URL: <https://www.scheldeland.be/nl> (дата обращения: 23.10.2018)

10. Rok Rzeki Wisly. URL: <http://www.rokwisly.pl/> (дата обращения: 22.10.2018)

Поступила в марте 2019 г.

© Гундлах В.В., Вайтенс А.Г., 2019

Информация об авторах

Гундлах Виолетта Викторовна, магистрант. E-mail: veta_gundlach@mail.ru. Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет (СПбГАСУ), 190005, Санкт-Петербург, 2-я Красноармейская ул., д. 4

Вайтенс Андрей Георгиевич, доктор архитектуры, профессор, советник РААСН, Член Союза архитекторов РФ. E-mail: avaytens@gmail.com. Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет (СПбГАСУ), 190005, Санкт-Петербург, 2-я Красноармейская ул., д. 4

¹**Gundlakh V.V.**, ^{1,*}**Vaytens A.G.**

¹*Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering
Russia, 190005 Russia, 190005, Saint-Petersburg, st. Krasnoarmeysk, 4*

^{*}*E-mail: avaytens@gmail.com*

MODERN FOREIGN EXPERIENCE OF LOCAL URBAN REGULATION OF THE RIVERINE TERRITORIES

Abstract. At present, the problems of local urban regulation of the riverine territories are becoming increasingly relevant for Russian Federation. The article describes the main issues of organization the local self-government in Russia. The modern foreign experience of local urban regulation of the riverine territories in Sweden, Denmark, Germany, France, Belgium (Walloon region, Flemish region and Brussels-Capital Region), the Netherlands and Poland are studied. Possible options for such regulation are described: governmental organizations, community projects, local development strategies. Strategies are carried out through the formulation and development of ideas at the local level and the filing an application in search of cooperation with the municipality and private business. Options for local participation in the development of riverine areas are considered. An example is given of the "Leader" method based on cooperation of the state, public, private and non-profit sectors, which form a local development group, a local action group for the development of territories along the river Göta älv in Sweden. Municipal strategy of landscape interests in the city and around the city of Aalborg (Denmark) is analyzed. A brief description is given to the Weser River Basin Community (The Flussgebietsgemeinschaft Weser (FGG Weser)) in Germany. Examples of existing inter-municipal non-governmental projects in Poland and activities aimed at unlocking the tourist and cultural potential of riverine areas of Vistula river are studied. Conclusions on the possibility of forming a single inter-municipal authority that will coordinate the development of the riverine territories are drawn.

Keywords: local government, urban regulation, riverine territories, urban development, local development strategy.

REFERENCES

1. The European Charter of Local Self-Government dated October 15, 1985 [*Evropejskaya hartiya mestnogo samoupravleniya ot 15.10.1985 g.*]. Collected Legislation of the Russian Federation, 1998. September. No. 36. (rus)
2. Barbarova N.G. The problem of the implementation of the provisions of the European Charter of Local Self-Government and the legislation of the Russian Federation on local self-government in the subjects of the Russian Federation (on the example of the Leningrad Region) [*Problema realizacii polozhenij Evropejskoj hartii mestnogo samoupravleniya i zakonodatel'stva Rossijskoj Federacii o mestnom samoupravlenii v sub"ektah Rossijskoj Federacii (na primere Leningradskoj oblasti)*]. News of the Russian State Pedagogical University, A.I. Herzen. 2009, No. 117. Pp. 240–246. (rus)
3. Federal Law of the Russian Federation of 06.10.2003 No. 131 – FZ (as amended on 03.08.2018) “On the General Principles of the Organization of Local Self-Government in the Russian Federation” [*Federal'nyj zakon Rossijskoj Federacii ot 06.10.2003 № 131–FZ (red. 03.08.2018 g.) «Ob obshchih principah organizacii mestnogo samoupravleniya v Rossijskoj Federacii»*]. (rus)
4. Lomovtseva T.V., Franz O.B. Influence of Local Governments on the Quality of Life of the Population. [*Vliyanie organov mestnogo samoupravleniya na kachestvo zhizni naseleniya*] Strategii razvitiya social'nyh obshchestej, institutov i territorij : materialy II Mezhdunarodn. nauch.-prakt. konf. Ekaterinburg, 18–20 apre-lya 2016 g.: v 2-h t. Yekaterinburg: Ural.un-ta Publishing House, 2016. Vol. 2. Pp. 277–282. (rus)
5. Längs Göta älv – lokalt ledd utveckling. Utvecklingsstrategi för lokalt ledd utveckling genom Leadermetoden. URL: <https://www.langsgotaalv.se/index.php/om-leader-langs-gota-alfv/strategi-2014-2020> (date of treatment: 03.10.2018).
6. Den over ordnede plan af Aalborg Kommunes "Grøn-blåStruktur". URL: <https://www.aalborg.dk/om-kommunen/byplanlaegning/temaer-inden-for-byplanlaegning/groen-blaa-struktur> (date of treatment: 25.10.2018)
7. Die Flussgebietsgemeinschaft Weser (FGG Weser). URL: <https://www.fgg-weser.de/> (date of treatment: 15.10.2018)
8. International Scheldt Commission. URL: <http://www.isc-cie.org/> (date of treatment: 01.11.2018)
9. Scheldeland. Langs Schelde. Dender en Rupel. URL: <https://www.scheldeland.be/nl> (date of treatment: 23.10.2018)
10. Rok Rzeki Wisly. URL: <http://www.rokwisly.pl/> (date of treatment: 22.10.2018).

Information about the authors

Gundlakh, Violetta V. Master student. E-mail: veta_gundlach@mail.ru. Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering. Russia, 190005, Saint-Petersburg, st. Krasnoarmeysk, 4.

Vaytens, Andrey G. DSc, Professor. E-mail: avaytens@gmail.com. Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering. Russia, 190005, Saint-Petersburg, st. Krasnoarmeysk, 4.

Received in March 2019

Для цитирования:

Гундлах В.В., Вайтенс А.Г. Современный зарубежный опыт местного градорегулирования приречных территорий // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2019. №4. С. 103–109. DOI: 10.34031/article_5cb1e65a475b16.88067977

For citation:

Gundlakh V.V., Vaytens A.G. Modern foreign experience of local urban regulation of the riverine territories. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2019. No. 4. Pp. 103–109. DOI: 10.34031/article_5cb1e65a475b16.88067977

DOI: 10.34031/article_5cb1e65bc19424.01950557

^{1,*}Колесникова Т.Н., ¹Багданова К.И., ²Ильвицкая С.В., ²Этенко В.П.¹Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева

Россия, 302026, г. Орел, ул. Комсомольская, д. 95

²Государственный университет по землеустройству

Россия, 105064, Москва, ул. Казакова, д. 15

*E-mail: kolesnikovoj@yandex.ru

АРХИТЕКТУРНАЯ СРЕДА РЕАБИЛИТАЦИОННЫХ ЦЕНТРОВ ДЛЯ ДЕТЕЙ И ПОДРОСТКОВ

Аннотация. Актуальность исследуемой проблемы обусловлена динамикой численности детей с ограниченными возможностями здоровья и инвалидностью в стране в целом и отдельных регионах в частности. Так, например, общее число детей-инвалидов в России, получающих социальные пенсии, в возрасте 0 до 18 лет на 1 января 2018 г. составило более 655 тыс. человек. При этом наблюдается постоянное увеличение данного показателя. Потребность в разработке научно-обоснованных рекомендаций по созданию реабилитационных центров обуславливается еще и тем фактом, что в большинстве случаев данный вид помощи оказывается зачастую в приспособленных для этих целей зданиях и помещениях, что не позволяет грамотно и максимально эффективно проводить коррекционно-восстановительную работу. Цель статьи заключается в выявлении факторов формирования архитектурной среды реабилитационных центров для детей и подростков с различными нарушениями функций организма. Ведущим подходом к исследованию данной проблемы является системный метод анализа рассматриваемых объектов. Выявленные факторы делятся на внешние и внутренние. К внешним относятся природно-климатические и антропогенные факторы. Внутренние включают: функционально-технологические, медико-эргономические, санитарно-гигиенические и архитектурно-стилистические факторы. Все факторы находятся в постоянной взаимосвязи друг с другом, что нашло отражение в экспериментальном проекте реабилитационного центра для детей и подростков в Орловской области. Материалы статьи могут быть полезными для архитекторов при проектировании реабилитационных центров для детей и подростков с различными нарушениями функций организма.

Ключевые слова: архитектурная среда, реабилитация, реабилитационные центры, реабилитационная среда, факторы, требования, дети.

Введение. В настоящее время проблема архитектурного формирования реабилитационных центров для детей и подростков с различными нарушениями функций организма необычайно актуальна и обуславливается статистическими данными о количестве детей с инвалидностью. Согласно данным Федеральной службы государственной статистики общее число детей-инвалидов в России, получающих социальные пенсии, в возрасте 0 до 18 лет в период с 1 января 2013 г. по 1 января 2018 г. увеличилось на 15,35 % и составило более 655 тыс. человек, при этом среднее значение годового прироста за последние 5 лет составляет 2,9 % [1, 2]. В эти данные не входят те, у кого имеются ограниченные возможности здоровья, но инвалидность не присвоена. Несвоевременное оказание медицинской помощи на ранних этапах заболевания может привести к увеличению численности детей с инвалидностью, а в последующем и численности инвалидов среди взрослого населения. Следует отметить, что государством предусматриваются различные социальные программы по поддержке детей с ограниченными возможностями здоровья и инвалидностью, существуют отдельные

постановления, рекомендации и нормативные документы по формированию благоприятных условий для лечения, реабилитации, обучения и отдыха.

Таким образом, очевидна необходимость создания реабилитационных центров, которые послужат кратчайшим путем интеграции в общество детей и подростков с различными нарушениями функций организма.

Основными направлениями деятельности реабилитационных центров в соответствии с Федеральным законом № 181 «О социальной защите инвалидов в Российской Федерации» являются: «медицинская реабилитация, реконструктивная хирургия, протезирование и ортезирование; социально-средовая, социально-педагогическая, социально-психологическая и социокультурная реабилитация, социально-бытовая адаптация; профессиональная ориентация, общее и профессиональное образование, профессиональное обучение, содействие в трудоустройстве (в том числе на специальных рабочих местах), производственная адаптация; физкультурно-оздоровительные мероприятия, спорт» [3].

К основным целям создания реабилитационных центров для детей и подростков относятся [3–6]:

- 1) получение комплексной реабилитации, в том числе медицинской;
- 2) получение психологической, юридической поддержки семьям, воспитывающих детей с различными нарушениями функций организма;
- 3) гармоничное внедрение детей и подростков в социальную среду;
- 4) возможность трудоустройства в будущем.

В настоящее время реабилитация детей и подростков с различными нарушениями функций организма проводится в стационарах больниц, поликлиниках и учреждениях, оказывающих услуги реабилитации. Каждому направлению или группе направлений реабилитационной деятельности должен соответствовать определенный тип архитектурного объекта. В связи с отсутствием данной типологии, приходится

сталкиваться с тем, что система реабилитационной помощи детям не имеет четкой структуры; отсутствует системный подход в градостроительном размещении учреждений реабилитации; необходимые мероприятия в рамках реабилитационной программы проводятся зачастую в зданиях и помещениях, которые не отвечают необходимым требованиям и (или) предназначены изначально для других целей, что не позволяет грамотно организовывать необходимые функционально-технологические процессы; значительная часть существующих объектов нуждается в модернизации для приспособления под современные требования, дающие возможность проведения наиболее эффективных реабилитационных мероприятий. В качестве примера на рисунке 1 представлена существующая градостроительная ситуация размещения медицинских учреждений и учреждений реабилитации для детей и подростков с физическими нарушениями в г. Орле.



Рис. 1. Градостроительная ситуация размещения медицинских учреждений и учреждений реабилитации для детей и подростков с физическими нарушениями в г. Орле

Чтобы создать научно обоснованную типологию реабилитационных центров для детей и подростков с различными нарушениями функ-

ций организма, а также в последующем вывести принципы их объемно-планировочной организации и градостроительного размещения, необ-

ходимо выявить факторы формирования архитектурной среды рассматриваемых объектов. Это поможет учесть все требования для создания благоприятной реабилитационной среды средствами и приемами архитектуры и создать в каждом регионе новую составную часть планировочного каркаса поселений – систему реабилитационных центров, которая будет включать типологически обоснованные по профилю, мощности, набору функций и территориальному распределению элементы, играя важную роль в формировании структуры населенных мест.

Методология. Цель исследования – выявление системы факторов формирования архитектурной среды реабилитационных центров для детей и подростков с различными нарушениями функций организма, которая служит первоосновой архитектурной деятельности, обуславливая

те или иные требования к рассматриваемому виду объектов архитектуры. В основу положен системный подход, который заключается в рассмотрении объекта познания в качестве некоторой системы [7]. Архитектурная среда реабилитационного центра для детей и подростков была разложена на определенное количество частей и элементов для выявления взаимосвязей между ними.

Основная часть. В результате исследования были выявлены факторы формирования архитектурной среды реабилитационных центров для детей и подростков с различными нарушениями функций организма, проведено ранжирование по степени значимости взаимосвязей между факторами. Полученные данные представлены на рисунках 2–3.



Рис. 2. Факторы формирования архитектурной среды реабилитационных центров для детей и подростков

В общем факторы формирования архитектурной среды реабилитационных центров для детей и подростков состоят из двух уровней: внешнего и внутреннего.

Факторы внешнего уровня – это некая средовая оболочка, которая оказывает свое воздействие на объект архитектурного проектирования в целом и включает в себя следующие факторы: 1) природно-климатические; 2) антропогенные.

1. Природно-климатические факторы состоят из природных и климатических компоненты.

1.1. Природные компоненты представляют собой совокупность составных частей природно-территориального комплекса, к которым относятся: особенности рельефа и растительности; характеристики почвы; наличие или отсутствие, месторасположение и качество водных ресурсов.

1.2. Климатические компоненты представляют собой показатели погодных условий, к которым относятся: солнечная радиация; ветровые потоки; температурные характеристики воздушных масс, водоемов, почвы; влажность воздуха; атмосферные осадки.

Постоянная взаимосвязь природных и климатических элементов оказывает значительное влияние на формообразование, выбор конструктивных материалов и внешний облик реабилитационных центров [8–10].

2. Антропогенные факторы состоят их двух подуровней: глобального и локального.

2.1. Антропогенные факторы глобального уровня оказывают свое воздействие на становление и эволюционное развитие центров реабилитации для детей и подростков с различными нарушениями функций организма в целом. К ним относятся: социально-экономические, нормативно-правовые, научно-технический прогресс и инженерно-конструктивные факторы.

2.1.1. Социально-экономические факторы включают совокупность следующих показателей: демографической ситуации; численности детей и подростков с различными нарушениями функций организма в целом, в отдельных возрастных группах, регионах; отношения общества к детям с ограниченными возможностями здоровья и инвалидностью; современного уровня развития помощи семьям, у которых есть дети с теми или иными нарушениями функций ор-

ганизма; экономической обстановки в мире, отдельных странах и регионах и т.д.. Данные факторы выявляют значимость реабилитационных центров с социальной точки зрения в стране и мире в целом и в отдельных регионах в частности, а также создают основные пути их становления и развития в различных экономических условиях.

2.1.2. Нормативно-правовые факторы – это совокупность документов, регламентирующих требования к архитектурным решениям центров реабилитации для детей и подростков. Они отражают правовое регулирование медицинской, реабилитационной, воспитательной, учебной и других видов деятельности, а также пути их совершенствования на государственном уровне, что является основным показателем уровня цивилизованного развития общества и государства, который определяется темпами процесса внедрения детей и подростков с ограниченными возможностями здоровья и инвалидностью в социальную среду, в том числе архитектурными методами и приемами.

2.1.3. Научно-технический прогресс как группа факторов архитектурного формирования реабилитационных центров для детей и подростков с различными нарушениями функций организма представляет собой комплекс взаимосвязанных элементов, которые оказывают воздействие на все сферы человеческой деятельности, и включает: интеллектуальный потенциал общества на мировом уровне в целом и населения страны и отдельных регионов в частности, качественный уровень и темпы эволюционного развития научно-производственной базы.

2.1.4. Инженерно-конструктивные факторы представляют собой совокупность конструктивных систем, строительных материалов и инженерного оборудования, отражают уровень развития науки и техники, обуславливая взаимосвязь с факторами научно-технического прогресса [11].

2.2. Антропогенные факторы локального уровня влияют непосредственно на развитие отдельных типологических единиц центров реабилитации для детей и подростков, а также на особенности их объемно-планировочной и градостроительной организации. Они включают эколого-антропогенные и градостроительные факторы.

2.2.1. Эколого-антропогенные факторы складываются под влиянием наносимого негативного воздействия людей на экологическую обстановку в отдельных регионах; включают загрязнение окружающей среды, изменения ландшафта, деградацию почв, стихийные природные явления и т.д.; формируют требования к

восстановлению и поддержанию благоприятной экологической обстановки, минимизации вредного воздействия на нее человеческого фактора, что является частью составных элементов экопозитивной архитектурной организации реабилитационных центров для детей и подростков [12–14].

Взаимосвязь эколого-антропогенных, инженерно-конструктивных и факторов научно-технического прогресса создает возможности реализации задач экопозитивного архитектурного проектирования на базе применения научно-технических достижений.

2.2.2. Градостроительные факторы представляют собой совокупность условий для размещения рассматриваемых архитектурных объектов, условий их зрительного восприятия, габаритных параметров участков территории, особенностей существующей застройки и озеленения, степени шумового воздействия, обеспечения инфраструктурой [15].

Совокупность эколого-антропогенных и градостроительных факторов выявляет уровень комфортности отдельных территорий, формирует требования к созданию благоприятной экологической обстановки, в том числе к устранению возможного негативного воздействия окружающей среды и рассматриваемых архитектурных объектов друг на друга [16].

Таким образом, на архитектурное формирование реабилитационных центров для детей и подростков на макроуровне воздействуют антропогенные факторы глобального уровня, выявляя актуальность создания рассматриваемых архитектурных объектов и формируя нормативные параметры объемно-планировочных решений.

На микроуровне, т.е. в условиях конкретной градостроительной ситуации, свое воздействие оказывают природно-климатические и локальные антропогенные факторы. Например, при выборе конструктивного решения стен для обеспечения необходимых теплотехнических параметров учитываются климатические компоненты природно-климатических факторов конкретного региона; при выборе места размещения реабилитационного центра учитываются характер и степень шумового воздействия существующих объектов (градостроительные факторы) и т.п.

Внутренние факторы выявляют требования к комплексному архитектурному формированию центров реабилитации для детей и подростков, в том числе к их структурной организации и внутреннему наполнению; находятся в постоянной зависимости от характера и степени взаимодействия ребенка с теми или иными нарушениями

функций организма с архитектурной средой рассматриваемого типа объектов. Внутренние факторы делятся на следующие основные подгруппы: функционально-технологические, санитарно-гигиенические, медико-эргономические и архитектурно-стилистические факторы.

1. Функционально-технологические факторы – это система функционально-технологических процессов внутри здания и на прилегающей территории, для грамотной организации, которых предназначен архитектурный объект. Данные факторы выявляют особенности взаимодействия между собой отдельных функциональных групп помещений и участвуют в формировании объемно-планировочной модели реабилитационного центра для детей и подростков на всем его протяжении; формируют требования к функционально-технологическому зонированию архитектурной среды как внутри здания (комплекса), так и на прилегающей территории, в том числе к обеспечению рациональных взаимосвязей между отдельными элементами объемно-планировочной структуры центра реабилитации в зависимости типа и характера процессов, происходящих внутри здания, участников (медицинский и обслуживающий персонал, дети, родители) и их численного состава, требуемого оборудования и мебели.

Вместе с тем, необходимо отметить постоянное воздействие на данную группу факторов антропогенных факторов локального уровня, выражающееся в тех или иных ограничениях по вопросу зонирования территории и формирования объемно-планировочного решения центра реабилитации для детей и подростков под воздействием конкретных градостроительных условий.

2. Санитарно-гигиенические факторы выявляют требования для создания комфортного микроклимата архитектурно-пространственной среды реабилитационного центра: к инсоляции, освещению (естественному и искусственному), показателям температуры и влажности воздуха в помещениях, вентиляции, шумовым характеристикам, вибрационным показателям, напряженности электромагнитных полей, различным видам излучений и т.п.

3. Медико-эргономические факторы определяют специфику архитектурного проектирования реабилитационных центров в зависимости от медицинских и эргономических параметров, которые складываются под влиянием особенностей детей и подростков с определенными нарушениями функций организма. Данная группа факторов включает в себя социально-психологические, антропометрические, физиологические, психофизиологические и психоэмо-

циональные аспекты, на основе которых формируется ряд требований к архитектурно-пространственной среде реабилитационного центра [17, 18].

3.1. Социально-психологические аспекты определяют требования соответствия архитектурной организации реабилитационных процессов, оборудования и мебели характеру и степени взаимодействия детей и подростков с теми или иными элементами предметно-пространственной среды.

3.2. Антропометрические аспекты формируют требования соответствия габаритных размеров и характера организации архитектурных пространств, оборудования, мебели и других составляющих предметно-пространственной структуры реабилитационного центра размерам, форме, массе и анатомическим особенностям детей и подростков в каждой возрастной категории.

3.3. Физиологические аспекты определяют требования соответствия предметного наполнения пространств физиологическим свойствам детей и подростков (силовым, скоростным, биомеханическим и энергетическим возможностям) с учетом тех или иных нарушений функций организма и возрастных особенностей.

3.4. Психофизиологические аспекты определяют в требования соответствия предметного наполнения пространств зрительным, слуховым, осязательным и обонятельным возможностям детей и подростков с учетом тех или иных нарушений функций организма и возрастных особенностей, а также выявляют необходимость создания визуального комфорта и ориентации в предметно-пространственной среде.

3.5. Психоэмоциональные аспекты формируют требования соответствия всех элементов предметно-пространственной среды реабилитационного центра возможностям и особенностям восприятия, мышления, памяти, психомоторики и навыкам детей и подростков с учетом тех или иных нарушений функций организма и возрастных особенностей.

Таким образом, взаимосвязь функционально-технологических, санитарно-гигиенических и медико-эргономических факторов влияет на формирование объемно-пространственной структуры реабилитационного центра, в том числе определение состава и габаритов помещений и их размещение структуре здания, подбор и расстановку оборудования и мебели, выбор инженерно-конструктивных решений, отделочных материалов, цветовых решений фасадов здания и отдельных групп помещений и т.п.

4. Архитектурно-стилистические факторы – это система элементов, включающая законы,

методы и средства архитектурной композиции, пропорциональные характеристики детей и взрослых; тесно взаимодействующая с особенностями психофизиологического и психоэмоционального восприятия окружающей предметно-пространственной среды детьми и подростками с теми или иными нарушениями функций организма. Данные факторы выявляют стилистическое направление архитектурного формирования реабилитационных центров [19].

Синтез всех внутренних факторов с учетом воздействия конкретных природно-климатических условий той или иной местности и антропогенных факторов локального уровня способствует созданию грамотного архитектурно-стилистического решения реабилитационного центра для детей и подростков с различными нарушениями функций организма.

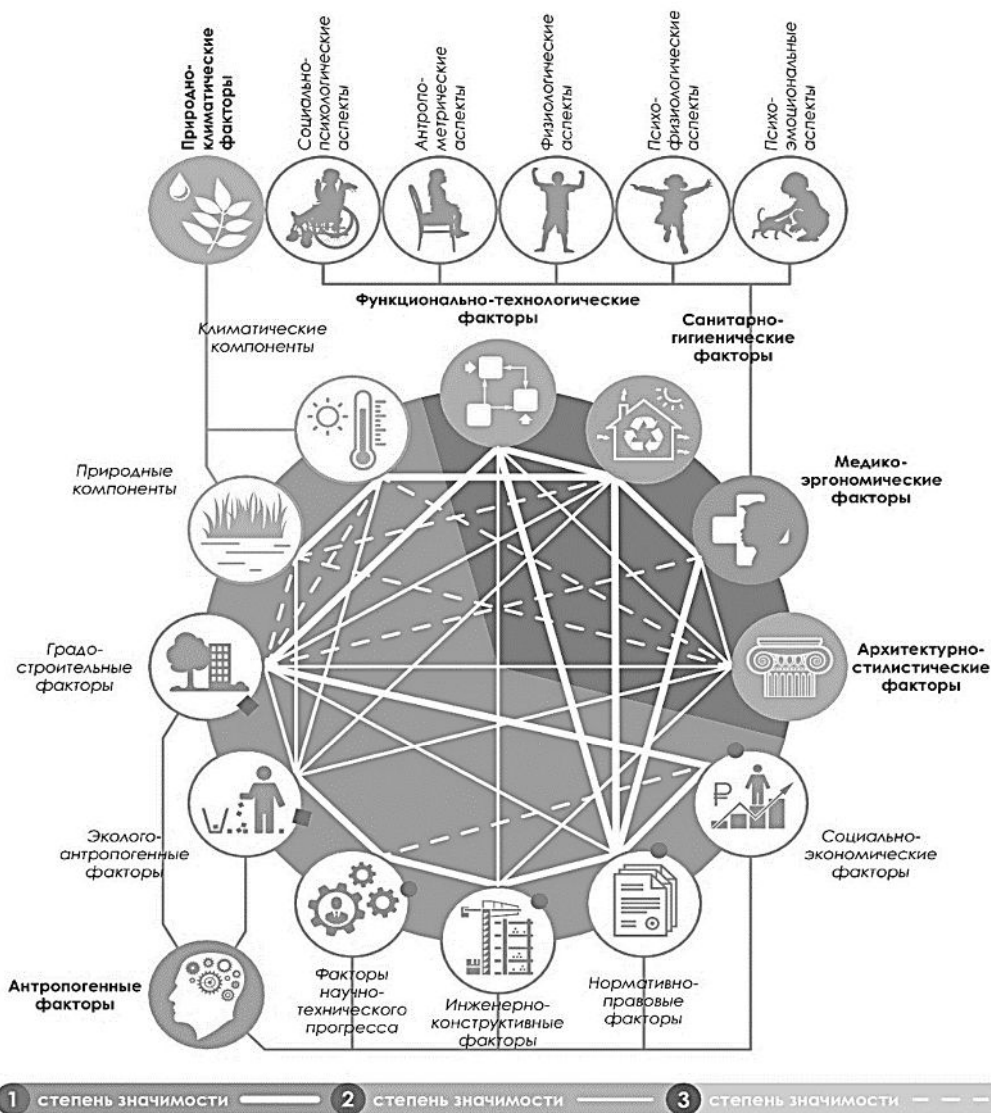


Рис. 3. Взаимосвязи факторов формирования архитектурной среды реабилитационных центров для детей и подростков

Необходимо отметить, что архитектурно-стилистические факторы могут в некоторой степени воздействовать в процессе выбора инженерно-конструктивных элементов, а инженерно-конструктивные факторы оказывают в свою очередь значительное влияние на тектонику здания, что выявляет взаимосвязь этих факторов.

В рамках рассмотренной системы факторов следует учитывать возможность включения в

структуру реабилитационных центров дополнительных элементов для коррекционно-восстановительной работы, например, сенсорного сада, отделений зоотерапии, набирающей все большую популярность во всем мире, что будет оказывать непосредственное воздействие на архитектурное формирование рассматриваемых объектов.

Таким образом, общую основу архитектурного формирования реабилитационных центров

для детей и подростков с различными нарушениями функций организма составляют антропогенные факторы глобального уровня, а на сам процесс проектирования влияет вся система внешних и внутренних факторов, взаимодействующих между собой, в той или иной степени. В то же время, нормативно-правовые факторы отражают общие документально закреплённые

на государственном и (или) региональном уровнях требования к архитектурным решениям.

На этой основе сформулированы основные требования к архитектурной среде реабилитационных центров для детей и подростков: безопасность, функциональная организация пространств, доступность, эргономичность, комфортность и экопозитивность [20].

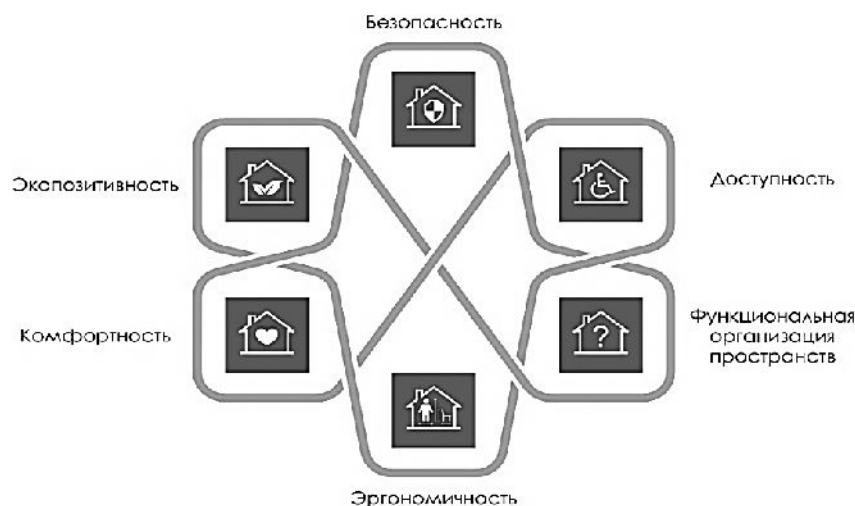


Рис. 4. Требования к архитектурной среде реабилитационных центров для детей и подростков

В рамках экспериментального проектирования был разработан проект реабилитационного центра для детей и подростков в Орловской области (см. рис. 5), который включает следующие объекты: главный корпус реабилитационного центра, гостиничный блок на территории комплекса, центр для занятий канис-терапией, питомник для собак с ветеринарным пунктом.

Главный корпус реабилитационного центра выполнен с детальной проработкой архитектурно-планировочной и конструктивной структуры. Для остальных объектов были разработаны планировочные решения для возможности их грамотного размещения на выбранном участке территории с соблюдением всех действующих норм и правил.

При разработке архитектурно-планировочных решений проектируемых объектов были решены следующие задачи:

- удобная функциональная взаимосвязь всех элементов архитектурной среды;
- доступность каждого архитектурного объекта для всех категорий детей и взрослых;
- удобство подъездов транспорта и пешеходных подходов;
- комплексный подход в организации реабилитационных мероприятий детей и подростков с учетом современных требований и возможностей посредством архитектуры;
- благоприятный психологический климат, формируемый средствами и приемами архитектуры.



Рис. 5. Проект реабилитационного центра для детей и подростков в Орловской области

Природно-климатические факторы были учтены при выборе территории, размещении всех проектируемых объектов, ориентации зданий и отдельных блоков по сторонам света согласно требованиям нормативной документации к естественному освещению и инсоляции, а также при подборе растений с учетом климатических особенностей Орловской области, требований к их ассортименту и условиям размещения от наружных стен здания со светопрозрачными проемами. Учитывались характеристики рельефа, риски подтопления территории и т.п. Особое внимание было уделено ветровому режиму, который определил размещение проектируемых объектов и отдельных корпусов относительно друг друга. Таким образом, ветровые потоки способствуют удалению возможных неприятных запахов от питомника для собак на свободную от застройки территорию с учетом действующих санитарно-гигиенических требований. Зонирование территории и организация рельефа выполнены с учетом санитарных и функциональных условий, повседневного обслуживания, требований инсоляции к игровым площадкам и т. д. с обеспечением допустимых уклонов дорожек и площадок в зависимости от климатического района. Все это в значительной мере определило форму здания. Вместе с тем, теплотехнический расчет ограждающих конструкций позволил подобрать наиболее оптимальный состав материалов наружных стен и покрытия в том числе с учетом требований пожарной безопасности.

Социально-экономические факторы оказали влияние на определение мощности проектируемого реабилитационного центра, которая вычислялась исходя из статистических данных о численности детей с инвалидностью в Орловской области. Также были изучены действующие учреждения данной направленности, их структура и основные характеристики, что обусловило актуальность проектирования комплекса. Предполагается, что таких центров в Орловской области будет несколько.

Нормативно-правовые факторы оказывали воздействие на всех этапах проектирования, регламентируя требования действующей нормативной документации к размещению проектируемых объектов, объемно-планировочным решениям, как с функциональной точки зрения, так и с точки зрения пожарной безопасности и инженерно-технического обеспечения, а также с учетом требований санитарно-гигиенических характеристик отдельных помещений и блоков зданий. Также были изучены меры государственной поддержки детей с ограниченными возможностями здоровья и инвалидностью для

анализа возможности их реализации путем создания сети реабилитационных центров в Орловской области.

Факторы научно-технического прогресса и инженерно-конструктивные факторы способствовали формированию целостной картины современных возможностей воплощения тех или иных архитектурных идей инженерно-конструктивными средствами, повлияли на выбор конструктивной системы, строительных материалов и оборудования.

Эколого-антропогенные факторы и градостроительные факторы наряду с природно-климатическими были учтены при выборе территории посредством анализа экологической обстановки, выражаемой в различных показателях, транспортной доступности, существующего окружения, характера озеленения и пр.; в проект включены элементы формирования экопозитивной среды [20].

Для грамотного зонирования территории и проектируемых объектов были проанализированы функционально-технологические факторы, которые позволили выявить взаимосвязи помещений и участков территории, интенсивность потоков движения людей. Были изучены существующие программы реабилитации детей различными нарушениями функций организма, нормативные документы по проектированию и организации медицинской деятельности средствами и приемами архитектуры. Благодаря чему, были сформированы оптимальный состав помещений и функционально-технологическое зонирование проектируемых объектов и территории для обеспечения комфортных условий реабилитационных мероприятий для детей и подростков.

Медико-эргономические и санитарно-гигиенические факторы совместно с нормативно-правовыми факторами повлияли на определение габаритов помещений, размещению отдельных групп помещений в структуре здания, выбор мебели и оборудования, материалов отделки, цветового решения фасадов и интерьеров.

Архитектурно-стилистические факторы способствовали использованию законов, методов и средств архитектурной композиции, а также пропорций детей, подростков и взрослых при формировании архитектурно-художественного облика проектируемого объекта, что помогло во взаимосвязи с другими факторами создать достаточно удачный облик реабилитационного центра.

Выводы. В настоящей работе сформулирована система факторов формирования реабилитационной среды для детей и подростков средствами и приемами архитектуры. Все факторы

делятся на внешние и внутренние. Внешние факторы не зависят от характера и степени взаимодействия ребенка с архитектурной средой реабилитационного центра, что и отличает их от внутренних. Вместе с тем, внешние и внутренние факторы находятся в постоянном взаимодействии друг с другом, обуславливая те или иные архитектурные решения в соответствии с основными требованиями: безопасности, функциональной организации пространств, доступности, эргономичности, комфортности.

Формирование благоприятной реабилитационной среды достигается путем создания целостной комфортной организации пространств интерьера и экстерьера и их предметного наполнения с адаптацией под определенные медико-эргономические требования ребенка. Выявленная система факторов позволяет наиболее комплексно подходить к решению задач архитектурной организации реабилитационных центров для детей и подростков при условии выполнения требований, предъявляемых ею к объекту проектирования.

Экспериментальная модель реабилитационного центра наглядно демонстрирует взаимосвязь выявленных факторов, их влияние на формирование рассматриваемого типа архитектурных объектов с учетом конкретных задач и выполнением определенных требований в зависимости от градостроительной ситуации и ее особенностей. Создание подобных экспериментальных проектов позволяет моделировать различные варианты размещения отдельных функциональных единиц и ядер объекта проектирования для выявления наиболее оптимального архитектурного решения с учетом характерных для той или иной местности особенностей, целей и задач реабилитационной деятельности.

Данное исследование положено в основу выявления и обоснования типологии реабилитационных центров для детей и подростков, а также принципов их архитектурного формирования.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Распределение инвалидов по полу и возрасту [Электронный ресурс]. URL: http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_main/rosstat/ru/statistics/population/disabilities/# (дата обращения 07.02.2019).
2. Деннер В.А., Федюнина П.С., Давлетшина О.В., Набатчикова М.В. Научный обзор вопроса детской инвалидности как медико-социальной проблемы // Молодой ученый. 2016. №20. С. 71–75.
3. Федеральный закон от 24.11.1995 N 181-ФЗ (ред. от 03.07.2018) «О социальной защите инвалидов в Российской Федерации» [Электронный ресурс]. URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_8559/ (дата обращения 30.10.2018).
4. Багданова К.И. Социальные предпосылки организации специализированных центров реабилитации для детей с особенностями психофизического развития / Сборник материалов 8 научно-практической конференции (с международным участием) «Современное строительство и архитектура. Энергосберегающие технологии» (24 ноября 2016 г.) // Бендеры, 2017 (ГУИПП «Бендерская типография «Полиграфист»). С. 100–102.
5. Реабилитация детей-инвалидов // Теория и практика сервиса: экономика, социальная сфера, технологии. 2013. № 2 (16). С. 79–85.
6. Приказ Министерства здравоохранения РФ от 29 декабря 2012 г. N 1705н «О Порядке организации медицинской реабилитации» [Электронный ресурс]. URL: <http://base.garant.ru/70330294/> (дата обращения 16.11.2018).
7. Лебедев С.А. Философия научного познания: основные концепции: М.: МПСУ, 2014. 263 с.
8. Yang Liu, Jian Kang, Ying Zhang, Dehua Wang, Linqing Mao. Visual comfort is affected by urban colorscape tones in hazy weather // Frontiers of Architectural Research. 2016. Vol. 5. Iss. 4. Pp. 453–465.
9. Catherine Dubois, Geneviève Cloutier, André Potvin, Luc Adolphe, Florent Joerin. Design support tools to sustain climate change adaptation at the local level: A review and reflection on their suitability // Frontiers of Architectural Research. 2015. Vol. 4. Iss. 1. Pp. 1–11.
10. Шепс Р.А., Яременко С.А., Агафонов М.В. Учет солнечной энергии при проектировании тепловой защиты зданий // Жилищное строительство. 2017. № 1-2. С. 29–32.
11. Xin Zhou, Da Yan, Xing Shi. Comparative research on different air conditioning systems for residential buildings // Frontiers of Architectural Research. 2017. Vol. 6, Iss. 1. Pp. 42–52.
12. Amany Ragheb, Hisham El-Shimy, Ghada Ragheb. Green Architecture: A Concept of Sustainability // Procedia - Social and Behavioral Sciences. 2016. Vol. 216. Pp. 778–787.
13. Гостева С.Р. Экологические факторы здоровья населения России // Берегиня. 777. Сова. 2018. №1 (36).
14. Пушилина Ю.Н. Организация и формирование искусственной среды на основе комплексного экологического подхода // Известия ТулГУ. Технические науки. 2016. №7-2.

15. Hossein Safari, Fataneh Fakouri Moridani, Sharifah Syed Mahdzar. Influence of geometry on legibility: An explanatory design study of visitors at the Kuala Lumpur City Center // *Frontiers of Architectural Research*. 2016. Vol. 5, Iss. 4. Pp. 499–507.

16. María-Jesús González-Díaz, Justo García-Navarro. Non-technical approach to the challenges of ecological architecture: Learning from Van der Laan // *Frontiers of Architectural Research*. 2016. Vol. 5, Iss. 2. Pp. 202–212.

17. Цветкова Л.А. Забалуева Т.Р. Сравнительный анализ российских и зарубежных норм регулирующих создание планировочных решений реабилитационных центров для людей с

нарушениями опорно-двигательного аппарата // *Международный научно-исследовательский журнал*. 2016. №3(45). Ч. 5. С. 43–47.

18. Вайзман Н.П. Реабилитационная педагогика: Медицинские-психологические-педагогические аспекты. М.: Статор, 1995. Вып. 1.95 с.

19. Азизян И.А., Добрицина И.А., Лебедева Г. Теория композиции как поэтика архитектуры М.: Прогресс-Традиция, 2002. 568 с.

20. Ильвицкая С.В., Лобкова Т.В. «Зеленая» архитектура жилища и GREEN BIM технологии // *Архитектура и строительство России*. 2018. № 1. С.100–113.

Информация об авторах

Колесникова Татьяна Николаевна, доктор архитектуры, доцент, заведующий кафедрой архитектуры. E-mail: kolesnikovoj@yandex.ru. Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева. Россия, 302026, Орел, ул. Комсомольская, д. 95.

Багданова Ксения Игоревна, аспирант кафедры архитектуры. E-mail: bagdanovaksenia@yandex.ru. Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева. Россия, 302026, Орел, ул. Комсомольская, д. 95.

Ильвицкая Светлана Валерьевна, доктор архитектуры, профессор, заведующий кафедрой архитектуры. E-mail: ilvitskaya@mail.ru. Государственный университет по землеустройству. Россия, 105064, Москва, ул. Казакова, д. 15

Этенко Вячеслав Павлович, доктор архитектуры, профессор кафедры архитектуры. E-mail: EVP100@mail.ru. Государственный университет по землеустройству. Россия, 105064, Москва, ул. Казакова, д. 15

Поступила в февраль 2019 г.

© Колесникова Т.Н., Багданова К.И., Ильвицкая С.В., Этенко В.П., 2019

^{1,*}Kolesnikova T.N., ¹Bagdanova K.I., ²Ilvitskaya S.V., ²Etenko V.P.

¹Oryol State University named after I.S. Turgeneva.

Russia, 302026, Oryol, st. Komsomolskaya, 95

²State University of Land Management

Russia, 105064, Moscow, st. Kazakova, 15

*E-mail: kolesnikovoj@yandex.ru

ARCHITECTURAL ENVIRONMENT OF REHABILITATION CENTERS FOR CHILDREN AND ADOLESCENTS

Abstract. The urgency of the issue under study is due to dynamics of the number of children with disabilities in the country and in particular regions. For instance, the total number of disabled children in Russia receiving social pensions between the ages of 0 and 18 was more than 655 thousand, as of January 1, 2018. At the same time, an increase of this indicator is observed constantly. The need to develop scientifically based recommendations for the establishment of rehabilitation centers is due to the fact, that in most cases this assistance is provided in the adapted premises. It is not possible to carry out correctional work effectively. The article's purpose is to identify factors in the formation of architectural environment of rehabilitation centers for children and adolescents with various disabilities. The systematic method of analyzing the objects in question is the leading approach to studying this problem. Identified factors are divided into external and internal. The external are natural, climatic and anthropogenic factors. Internal include functional and technological, medical and ergonomic, sanitary and hygienic, architectural and stylistic factors. All factors are interrelated. This is reflected in a pilot project of a rehabilitation center for children and adolescents in the Oryol Region. The materials of the article can be useful for architects when designing rehabilitation centers for children and adolescents with various disabilities.

Keywords: architectural environment, rehabilitation, rehabilitation centers, rehabilitation environment, factors, requirements, children.

REFERENCES

1. Distribution of persons with disabilities by sex and age. Federal State Statistics Service [*Raspredelenie invalidov po polu i vozrastu*]. URL: http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_main/rosstat/ru/statistics/population/disabilities/# (accessed 07.02.2019). (rus)
2. Denner V.A., Fedyunina P.S., Davletshina O.V., Nabatchikova M.V. Scientific review of the issue of children's disability as a medical and social problem [*Nauchnyy obzor voprosa detskoj invalidnosti kak mediko-social'noj problemy*]. Young Scientist. 2016. No. 20. Pp. 71–75. (rus)
3. Federal Law of 24.11.1995 N 181-ФЗ (as amended on 03.07.2018) "On the social protection of disabled people in the Russian Federation" [*Federal'nyy zakon ot 24.11.1995 N 181-FZ (red. ot 03.07.2018) «O social'noj zashchite invalidov v Rossijskoj Federacii»*]. URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_8559/ (accessed 30.10.2018). (rus)
4. Bagdanova K.I. Social prerequisites for the organization of specialized rehabilitation centers for children with psychophysical developmental features [*Social'nye predposylki organizacii specializirovannykh centrov reabilitacii dlya detej s osobennostyami psihofizicheskogo razvitiya*] Sbornik materialov 8 nauchno-prakticheskoy konferencii (s mezhdunarodnym uchastiem) «Sovremennoe stroitel'stvo i arhitektura. EHnergosberegayushchie tekhnologii» (24 noyabrya 2016 g.) . Bendery, 2017 (State Institute of Postgraduate Education "Bendery Printing House" Polygraphist), pp. 100–102. (rus)
5. Rehabilitation of children with disabilities [*Reabilitaciya detej-invalidov*]. Theory and practice of service: economics, social sphere, technology. 2013. No. 2 (16). Pp. 79–85. (rus)
6. Order of the Ministry of Health of the Russian Federation of December 29, 2012. N1705n "On the Procedure for the Organization of Medical Rehabilitation" [*Prikaz Ministerstva zdravooohraneniya RF ot 29 dekabrya 2012 g. N 1705n «O Poryadke organizacii medicinskoj reabilitacii»*]. URL: <http://base.garant.ru/70330294/> (accessed 11.16.2018). (rus)
7. Lebedev S.A. Philosophy of scientific knowledge: basic concepts: monograph [*Filosofiya nauchnogo poznaniya: osnovnye koncepcii*]. Russian Acad. Education, Moscow Psychological and Social University. Moscow: MPSU, 2014, 263 p. (rus)
8. Yang Liu, Jian Kang, Ying Zhang, Dehua Wang, Linqing Mao. Visual comfort is affected by urban colorscape tones in hazy weather. Frontiers of Architectural Research. 2016. Vol. 5. Iss. 4. Pp. 453–465.
9. Catherine Dubois, Geneviève Cloutier, André Potvin, Luc Adolphe, Florent Joerin. Design support tools to sustain climate change adaptation at the local level: A review and reflection on their suitability. Frontiers of Architectural Research. Frontiers of Architectural Research. 2015. Vol. 4. Iss. 1. Pp. 1–11.
10. Sheps R.A., Yaremenko S.A., Agafonov. M.V. Consideration of solar energy in the design of thermal protection of buildings [*Uchet solnechnoy ehnergii pri proektirovanii teplovoj zashchity zdaniy*]. Housing construction. 2017. No. 1-2. Pp. 29–32. (rus)
11. Xin Zhou, Da Yan, Xing Shi. Comparative research on different air conditioning systems for residential buildings. Frontiers of Architectural Research. Frontiers of Architectural Research. 2017. Vol. 6, Iss. 1. Pp. 42–52.
12. Amany Ragheb, Hisham El-Shimy, Ghada Ragheb. Green Architecture: A Concept of Sustainability. Procedia - Social and Behavioral Sciences. Volume 216, 6 January 2016, Pp. 778–787.
13. Gosteva S.R. Environmental factors in the health of the population of Russia. Bereginia [*Ekologicheskie faktory zdorov'ya naseleniya Rossii*]. 777. Sova. 2018. No.1 (36). (rus)
14. Pushilina Yu.N. Organization and formation of an artificial environment based on an integrated environmental approach [*Organizaciya i formirovanie iskusstvennoj sredy na osnove kompleksnogo ehkologicheskogo podhoda*]. News of TSU. Technical science. 2016, no. 7-2. (rus)
15. Hossein Safari, Fataneh Fakouri Moridani, Sharifah Syed Mahdzar. Influence of geometry on legibility: An explanatory design study of visitors at the Kuala Lumpur City Center. Frontiers of Architectural Research. 2016. Vol. 5, Iss. 4. Pp. 499–507.
16. María-Jesús González-Díaz, Justo García-Navarro. Non-technical approach to the challenges of ecological architecture: Learning from Van der Laan. Frontiers of Architectural Research. 2016. Vol. 5, Iss. 2. Pp. 202–212.
17. Tsvetkova, L.A., T.R. Zabalueva Comparative analysis of Russian and foreign norms regulating the creation of planning decisions of rehabilitation centers for people with disorders of the musculoskeletal system [*Sravnitel'nyy analiz rossijskih i zarubezhnykh norm reguliruyushchih sozdanie planirovochnykh reshenij reabilitacionnykh centrov dlya lyudej s narusheniyami oporno-dvigatel'nogo apparata*]. International Scientific Research Journal. 2016. No. 3 (45). Part 5. Pp. 43–47. (rus)
18. Weizman N.P. Rehabilitation pedagogy. Medical-psychological-pedagogical aspects [*Reabilitacionnaya pedagogika: Medicinskie-psihologicheskie-pedagogicheskie aspekty*]. Moscow: Stator, 1995. Vol. 1. 95 p. (rus)

19. Azizyan I.A., Dobritsina I.A., Lebedeva G. Theory of composition as a poetics of architecture [*Teoriya kompozicii kak poehtika arhitektury*]. Moscow: Progress-Tradition, 2002, 568 p. (rus)

20. Ilvitskaya S.V., Lobkova T.V. "Green" architecture of the dwelling and GREEN BIM technologies [*«Zelenaya» arhitektura zhilishcha i GREEN BIM tekhnologii*]. Architecture and construction of Russia. 2018. Vol. 1. Pp.100–113. (rus)

Information about the authors

Kolesnikova, Tatyana N. DSc, Assistant professor. E-mail: kolesnikovoj@yandex.ru. Oryol State University named after I.S. Turgenev. Russia, 302026, Orel, st. Komsomolskaya, d. 95.

Bagdanova, Ksenia I. Postgraduate student. E-mail: bagdanovaksenia@yandex.ru. Oryol State University named after I.S. Turgenev. Russia, 302026, Orel, st. Komsomolskaya, d. 95.

Ilvitskaya, Svetlana V. DSc, Professor. E-mail: ilvitskaya@mail.ru. State University of Land Management. Russia, 105064, Moscow, st. Kazakova 15.

Etenko, Vyacheslav P. DSc, Professor. E-mail: EVP100@mail.ru. State University of Land Management. Russia, 105064, Moscow, st. Kazakova 15

Received in February 2019

Для цитирования:

Колесникова Т.Н., Багданова К.И., Ильвицкая С.В., Этенко В.П. Архитектурная среда реабилитационных центров для детей и подростков // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2019. № 4. С. 110–121. DOI: 10.34031/article_5cb1e65bc19424.01950557

For citation:

Kolesnikova T.N., Bagdanova K.I., Ilvitskaya S.V., Etenko V.P. Architectural environment of rehabilitation centers for children and adolescents. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2019. No. 4. Pp. 110–121. DOI: 10.34031/article_5cb1e65bc19424.01950557

ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ

DOI: 10.34031/article_5cb1e65d077f65.54773394

¹Нецвет Д.Д., ¹*Нелубова В.В., ¹Строкова В.В.¹Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова
Россия, 308012, Белгородская область, г. Белгород, ул. Костюкова, д. 46

*E-mail: nelubova@list.ru, nelubova.vv@bstu.ru

КОМПОЗИЦИОННОЕ ВЯЖУЩЕЕ С МИНЕРАЛЬНЫМИ ДОБАВКАМИ ДЛЯ НЕАВТОКЛАВНЫХ ПЕНОБЕТОНОВ

Аннотация. Теоретически обоснована и экспериментально подтверждена возможность повышения эффективности пенобетонов неавтоклавного твердения за счет использования комплексного вяжущего с минеральными компонентами различного состава. Доказана возможность применения безводного сульфата кальция как модифицирующего компонента смеси, обеспечивающего ускорение схватывания смеси, что позволит «фиксировать» структуру ячеистобетонной смеси с минимальными усадочными деформациями. Показано, что совместное использование ангидрита и минеральной добавки в виде кварцевой суспензии, полученной постадийным измельчением песка в водной среде, приводит к разжижению смеси, что связано со снижением доли структуроформирующего компонента. С технологической точки зрения это позволит получать материалы с рациональной поровой структурой за счет оптимизации процессов поризации. Композиционное вяжущее с минеральными добавками отличается повышенной по сравнению с цементом прочностью при сниженной доли клинкерной составляющей. Все это в совокупности обеспечит минимизацию усадочных деформаций и повышение качества ячеистого бетона.

Ключевые слова: модификатор, ангидрит, цемент, композиционное вяжущее, физико-механические характеристики.

Введение. Неавтоклавные ячеистые бетоны, несмотря на значительный ряд положительных сторон, имеют недостатки, нивелирование и устранение которых позволит расширить спектр их применения и повысить качество при снижении затрат на производство. К числу основных недостатков данных материалов следует отнести низкую стабильность пенобетонных смесей, усадочные деформации и низкие прочностные показатели, а также высокую зависимость от соблюдения технологических режимов производства, качества сырья и подготовки материалов. При несоблюдении технологии или несоответствующем качестве сырьевых материалов возможно нарушение структуры и снижение прочности готового материала: вместо равномерно распределенных замкнутых пор в материале наблюдается «рваная» пористость и нарушение целостности матрицы композита.

Повышения качества ячеистых бетонов неавтоклавно твердения можно добиться оптимизацией порового пространства, а также упрочнением цементирующей матрицы композита. В разное время для решения обозначенных задач было предложено использование стабилизаторов пены и структуры ячеистобетонной смеси [1–4], микроармирующих компонентов для снижения усадочных деформаций [5–8], комплексной поризации [9–11], применение пуццолановых добавок и композиционных вяжущих и многие другие решения.

Одним из перспективных способов комплексной модификации ячеистобетонной смеси, обеспечивающих улучшение физико-механических и эксплуатационных характеристик готовых изделий, является использование разноразмерных химически активных минеральных компонентов. Их введение обеспечивает физическую стабильность пенной системы за счет «бронирования» (закупорки) каналов Плато-Гиббса, и химическую – за счет кристаллизации дополнительного цементирующего вещества как коагулянта естественных пор и пустот межпорового пространства бетона благодаря взаимодействию цемента и активного минерального компонента.

Для решения данных задач в настоящей работе предложено использование в качестве компонентов композиционного вяжущего: минерального модификатора на основе кварцевого песка, эффективность которого в бетонах различной структуры и способа твердения обоснована в ранее выполненных работах [12–16], а также безводного сульфата кальция – ангидрита. Это позволит получить материалы с улучшенными свойствами (повышенной прочностью, пониженной усадкой и др.) при сниженном расходе дорогостоящего портландцемента.

Методология. В качестве сырьевых компонентов использовали цемент ЦЕМ I 42.5Н производства ЗАО «Белгородский цемент», минеральный модификатор из кварцевого песка Ко-

рочанского месторождения, термический ангидрит, активаторы твердения ангидрита Na_2SO_4 и K_2SO_4 .

Минеральный модификатор (ММ) из кварцевого песка получали постадийным помолом сырья в шаровой мельнице по технологии высококонцентрированных вяжущих суспензий [17–20]. Получение осуществлялось на базе опытно-промышленного цеха Наноструктурированных композиционных материалов БГТУ им. В.Г. Шухова. Синтез осуществлялся в течение 11 часов в мельнице объемом 500 л с дозагрузкой материала через каждые 3 часа помола.

Ангидрит получали искусственным обжигом гипса строительного марки Г-5 Б II производства ОАО «Хабезский гипсовый завод». Обжиг гипса проводился в универсальной лабораторной электропечи SNOL 15/1200 при темпера-

туре 600 °С в течение 4 часов. После обжига полученный ангидрит охлаждался в муфельной печи и пересыпался в плотно закрывающиеся герметичные пластмассовые контейнеры для предотвращения реакции с влагой из воздуха.

В работе изучали влияние компонентного состава вяжущей системы на ее свойства (нормальная густота, сроки схватывания теста, калориметрия в начальные сроки гидратации, реология теста, кинетика набора прочности), анализируя композиции минеральных составляющих (табл. 1). Часть исследований выполнены при нормальной густоте цементного теста, часть – с повышенным водотвердым отношением для обеспечения заданной методиками эксперимента подвижности.

Таблица 1

Исследуемые составы вяжущих с минеральными компонентами

№ состава	Компоненты				
	Цемент	ММ ¹	Ангидрит ²	Na_2SO_4 ³	K_2SO_4 ³
1	100 %	–	–	–	–
2	100 %	–	5 %	–	–
3	100 %	–	–	1 %	–
4	100 %	–	–	–	1 %
5	100 %	–	5 %	1 %	–
6	100 %	–	5 %	–	1 %
7	80 %	20 %	–	–	–
8	80 %	20 %	–	1 %	–
9	80 %	20 %	–	–	1 %
10	80 %	20 %	5 %	–	–
11	80 %	20 %	5 %	1 %	–
12	80 %	20 %	5 %	–	1 %

Примечание:

1 – по сухому веществу; 2 – от массы цемента; 3 – от массы ангидрита

Предварительными исследованиями обосновано, что рациональная концентрация ангидрита в качестве добавки к цементу составляет 5 % от его массы. Сульфатные активаторы вводились в количестве 1 % от массы ангидрита.

Нормальная густота и сроки схватывания составов вяжущего определялись согласно ГОСТ 30744–2001. Прочность составов оценивали исследованием образцов-балок размерами 4×4×16 см в соответствии с ГОСТ 30744–2001.

Реологические характеристики вяжущих исследовались при помощи ротационного вискозиметра Rheotest RN4.1, в основе работы которого лежит цилиндрическая измерительная система. Опыт проводился с использованием регулируемого напряжения сдвига (CS). Съемку проводили при постоянном водотвердом отношении, равном 0,4, что приближено к технологическим параметрам производства ячеистых бетонов.

Оценка характеристик схватывания гидравлических связующих строительных материалов проводилась с помощью – дифференциального калориметра теплового потока ToniCAL модель 7338, производства Toni Technik Baustoffprüfsysteme GmbH Gustav-Meyer-Allee (Германия).

Основная часть. Согласно полученным данным, введение минеральных добавок к цементному тесту при постоянной нормальной густоте приводит к росту водотвердого отношения смесей (табл. 2). Это означает, что введение ММ приводит к увеличению количества воды, которое требуется для достижения требуемой консистенции, что объясняется его высокой удельной поверхностью и максимальным содержанием твердой фазы при максимальном разжижении.

Известно, что сульфаты калия и натрия применяются в промышленности в качестве

ускорителей твердения цемента за счет интенсификации растворимости соединений и коллоидации теста в присутствии добавок. Согласно полученным результатам, для цемента введение активаторов Na_2SO_4 и K_2SO_4 сокращает сроки схватывания (табл. 2, составы 3, 4) на 10 и 40 мин соответственно. Незначительное сокращение сроков схватывания в присутствии добавок обусловлено невысокой их концентрацией по отношению к цементу: 0,05 % при требуемой дозировке 1–3 %.

Таблица 2

**Свойства цементного теста
в зависимости от состава**

№ состава (по табл. 1)	В/Т	Сроки схватывания	
		начало, мин	конец, мин
1	0,27	210	275
2	0,28	90	180
3	0,28	200	265
4	0,28	170	240
5	0,28	90	180
6	0,28	85	165
7	0,32	210	280
8	0,32	120	215
9	0,32	105	170
10	0,32	130	230
11	0,31	150	230
12	0,31	145	210

Введение ангидрита приводит к резкому сокращению сроков схватывания (табл. 2, состав 2): в 2,3 раза для начала и 1,5 раза для конца схватывания. Столь значительное ускорение начального твердения системы, вероятно, обусловлено активацией кристаллизации ангидрита в присутствии щелочного компонента цемента (свободного гидроксида кальция), формируемого при его гидратации. Совместное использование ангидрита и активаторов практически не меняет сроки схватывания по сравнению с составом с ангидритом без активатора (табл. 2, составы 5, 6).

Введение минерального кварцевого модификатора не меняет характер зависимости: составы с активаторами схватываются быстрее (в 1,75 и в 2 раза при использовании Na_2SO_4 и K_2SO_4 соответственно) по сравнению с тестом только с ММ (табл. 2, составы 8, 9). Добавка ангидрита к смеси цемента и модификатора (табл. 2, состав 10) также обеспечивает сокращение начала и конца схватывания, однако, интенсификация первичного структурообразования не столь значительна по сравнению с составом только с ангидритом (табл. 2, состав 2): начало схватывания увеличивается на 45 % по сравнению с составом с ангидритом без ММ (состав 2) и сокращается почти на 40 % по сравнению с чистым цементом (состав 1). Аналогичные дан-

ные получены на составах с сульфатными добавками. Увеличение времени начального твердения по сравнению с составами с ангидритом в смесях с ММ обусловлено взаимодействием образующего гидроксида кальция с коллоидным высокоактивным веществом модификатора, в результате в системе формируется недостаток щелочного компонента как активатора твердения ангидрита.

Стоит отметить, что сокращение сроков схватывания цементного теста при использовании минеральных компонентов позволит дополнительно стабилизировать ячеистобетонную смесь, что снизит возможность усадки массивов при твердении матрицы, а также сократит длительность технологического цикла получения ячеистых бетонов.

Анализ кинетики тепловыделения при гидратации цементного теста различного состава свидетельствует о незначительном влиянии добавок на происходящие процессы в начальные сроки структурообразования (рис. 1). Характер тепловыделения в течение первых 36 часов твердения цементного камня практически не отличается. Отмечается резкий «всплеск» энергии в течение 5 минут после затворения системы водой, что связано с выделением теплоты при смачивании частиц цемента при адсорбции воды на их поверхности и формированием первичных гидратных связей. Такие связи образуют подобие оболочки вокруг минеральных составляющих, что препятствует дальнейшей гидратации частиц вяжущего и обуславливает наступление индукционного периода, который длится следующие 7–8 часов. В последующее время отмечается возрастание интенсивности тепловыделения после 8–9 часов гидратации и наступление периода так называемой ускоренной гидратации, что связано с гидролизом алита (C_3A) с выделением ионов кальция в раствор и последующим образованием гидратных фаз различного состава.

Несмотря на подобие характера тепловыделения во времени цементного теста различного состава, следует отметить некоторые различия в индукционный период гидратации, в основном, трехкальциевого силиката.

Так, введение сульфатных активаторов не изменяет количество тепла при экзотермической реакции алита, однако, отмечается сдвиг во времени (ускорение) пика его взаимодействия с водой по сравнению с чистым цементом: начало реакции происходит на 25 минут раньше для K_2SO_4 и на 45 минут для Na_2SO_4 . В смесях, содержащих ангидрит и активаторы, интенсификация гидратации более значительна: начало гидролиза алита наступает на 2 часа раньше в

случае K_2SO_4 и на 1,5 часа в случае Na_2SO_4 , что хорошо коррелирует с данными по срокам схва-

тывания данных составов (табл. 2).

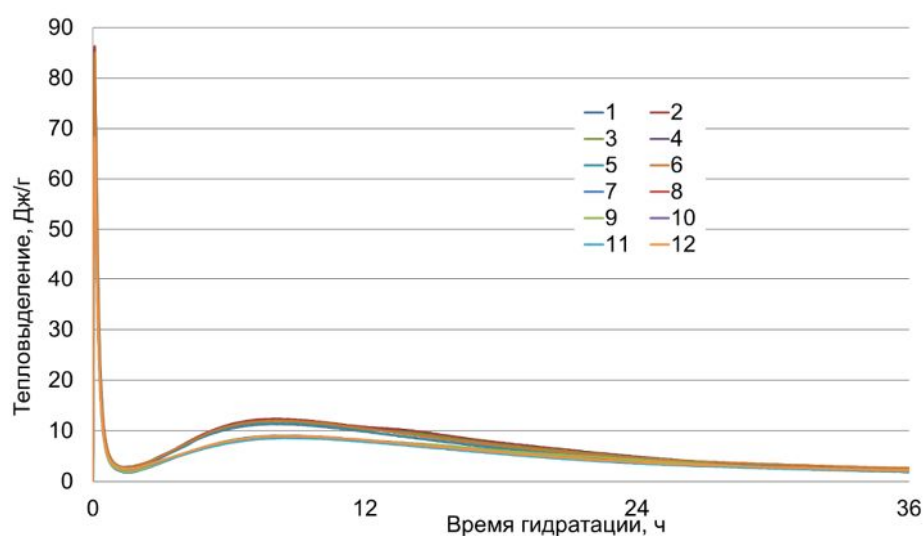


Рис. 1. Кинетика тепловыделения вяжущих в зависимости от состава:

- 1 – цемент; 2 – цемент+ Na_2SO_4 ; 3 – цемент+ K_2SO_4 ; 4 – цемент+ангидрит;
5 – цемент+ангидрит+ Na_2SO_4 ; 6 – цемент+ангидрит+ K_2SO_4 ; 7 – цемент+ММ;
8 – цемент+ММ+ Na_2SO_4 ; 9 – цемент+ММ+ K_2SO_4 ; 10 – цемент+ММ+ангидрит;
11 – цемент+ММ+ангидрит+ Na_2SO_4 ; 12 – цемент+ММ+ангидрит+ K_2SO_4

Таблица 3
Суммарное тепловыделение смесей
при гидратации

№ состава (по табл. 1)	Q(t), Дж/г
1	300,55
2	277,72
3	295,89
4	305,14
5	284,61
6	302,59
7	243,96
8	240,03
9	244,51
10	239,45
11	229,54
12	246,03

Добавка минерального модификатор к смесям приводит к снижению тепловыделения при интенсификации во времени гидролиза трехкальциевого силиката на 45–60 минут (рис. 1). Эти данные подтверждаются суммарным количеством теплоты, выделившейся в процессе гидратации (табл. 3) в среднем на 20–25 % для составов, содержащих ММ, что обусловлено не влиянием добавок на гидратационные процессы, а сокращением доли клинкерной составляющей в смесях при ее замене на кварцевый модификатор. Тем не менее, обозначенное явление является преимуществом, так как высокое значение

теплоты гидратации для бетона является негативным фактором ввиду высокого риска трещинообразования в результате значительного градиента температур. Снижение тепловыделения позволяет повысить трещиностойкость и обеспечить получение бездефектных ячеистых бетонов.

К числу важнейших факторов, обеспечивающих качество готовых ячеистых изделий, относится реология смеси: слишком подвижная смесь будет приводить к оседанию пенобетонной смеси; излишне жесткая смесь не обеспечит должной поризации системы и приведет к формированию более плотной матрицы.

Реологические параметры описываются начальной и конечной вязкостью, а также типом течения. Формирование первичной пространственной коагуляционной структуры, численно выражаемой значением начальной вязкости, обусловлено двумя процессами: распределением твердой фазы в объеме жидкой дисперсионной среды и первичной гидратацией цемента с формированием гелевидных фаз. Очевидно, что «разбавление» системы менее реакционно активным веществом приведет к изменению реологического поведения теста с его использованием.

Для всех составов характерен тиксотропный тип течения с плавным снижением вязкости при увеличении градиента скорости сдвига (рис. 2). При этом значения конечной вязкости для всех составов практически одинаковые.

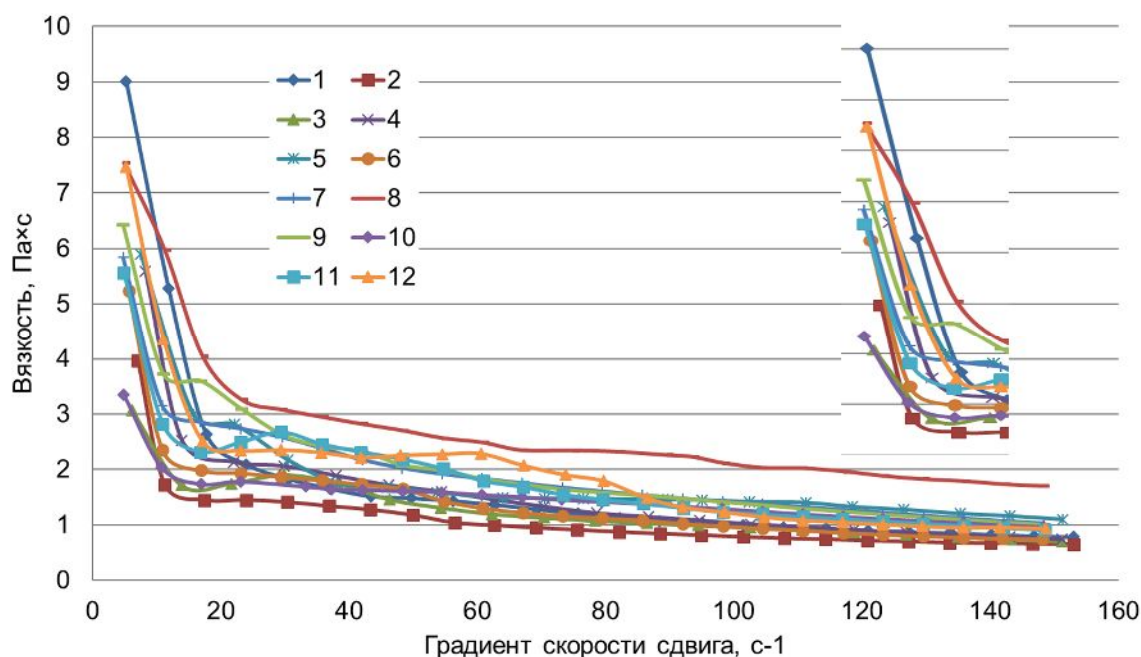


Рис. 2. Реограммы теста в зависимости от состава:

- 1 – цемент; 2 – цемент+ Na_2SO_4 ; 3 – цемент+ K_2SO_4 ; 4 – цемент+ангидрит;
 5 – цемент+ангидрит+ Na_2SO_4 ; 6 – цемент+ангидрит+ K_2SO_4 ; 7 – цемент+ММ;
 8 – цемент+ММ+ Na_2SO_4 ; 9 – цемент+ММ+ K_2SO_4 ; 10 – цемент+ММ+ангидрит;
 11 – цемент+ММ+ангидрит+ Na_2SO_4 ; 12 – цемент+ММ+ангидрит+ K_2SO_4

Добавка активаторов к цементному тесту приводит к снижению начальной вязкости системы: в 3 и 2,5 раза при использовании K_2SO_4 и Na_2SO_4 соответственно (рис. 2, состав 2 и 3), что обусловлено разжижающим действием сульфатных соединений натрия и калия.

Введение в указанную систему ангидрита несколько повышает начальную вязкость (на 30 %) по сравнению со смесями, содержащими только активаторы (рис. 2, составы 4–6), тем не менее, вязкость теста ниже, чем «чистого» цемента. Это обусловлено с одной стороны добавкой дисперсного компонента, физически несколько загущающего систему, а с другой – возможными процессами коллоидации минеральных компонентов в присутствии сульфатов натрия или калия.

Добавка минерального модификатора в систему приводит к незначительному загущению системы по сравнению со смесью только с сульфатными добавками и с тестом с ангидритом. При этом во всех составах начальная вязкость суспензий выше (с разницей в пределах 10 %) при использовании в качестве активатора сульфата натрия.

Стоит отметить снижение начальной вязкости системы при введении модификатора по сравнению с исходным цементом (рис. 2, составы 7–9). При этом вязкость изменяется не аддитивно. При замене 20 % цемента на ММ начальная вязкость снижается на 30 % (рис. 2, состав 7). Введение дополнительно 5 % ангидрита

снижает вязкость на 62 % по сравнению с чистым цементом (рис. 2, состав 10) и на 42 % по сравнению с модифицированным вяжущим (рис. 2, состав 7).

Падение вязкости обусловлено рядом факторов. Благодаря специфике получения минерального модификатора, заключающейся в длительном поэтапном измельчении твердой фазы в присутствии стабилизаторов системы, в результате формируется суспензия с высокой концентрацией твердой фазы при минимально допустимой влажности. При этом дисперсная фаза (измельченные частицы песка) является по сути инертным по отношению к воде компонентом. Ангидрит, вводимый в систему, не является гидратным вяжущим. Все это в совокупности приводит к формированию системы с высокой долей твердой фракции в системе. В результате, несмотря на постоянное В/Т для всех смесей, в данном случае снижение вязкости объясняется сокращением доли компонента, способного образовывать прочные пространственные коагуляционные структуры за счет химического взаимодействия с водой, т.е. «разбавлением» активной твердой фазы инертным компонентом.

Стоит отметить, что снижение начальной вязкости в цементной системе с использованием минерального модификатора, ангидрита и активаторов является положительным фактором, поскольку поризация такой более подвижной смеси будет осуществляться при меньших трудовых затратах.

Важнейшей характеристикой любого вяжущего является его прочность, поскольку от нее зависят характеристики конечного продукта.

Согласно полученным данным, характер набора прочности практически идентичен и не зависит от состава вяжущего: происходит плавный рост прочности в течение всего срока твердения с набором порядка 50 % от конечного значения в первые 3 суток (рис. 3). Тем не менее, стоит отметить некоторые особенности кинетики твердения при введении минерального модификатора и сульфатных активаторов: про-

исходит рост прочности в течение первых трех суток, далее отмечается формирование «плато» вплоть до 14 суток, при котором прирост прочности незначительный (рис. 3). Однако, в следующие 14 суток происходит резкий рост прочности, конечное значение которой превосходит исходный контрольный цемент на 15–17 % в зависимости от состава исследуемого вяжущего. Вероятным объяснением такого поведения являются процессы перекристаллизации сформированного вещества в присутствии активной добавки.

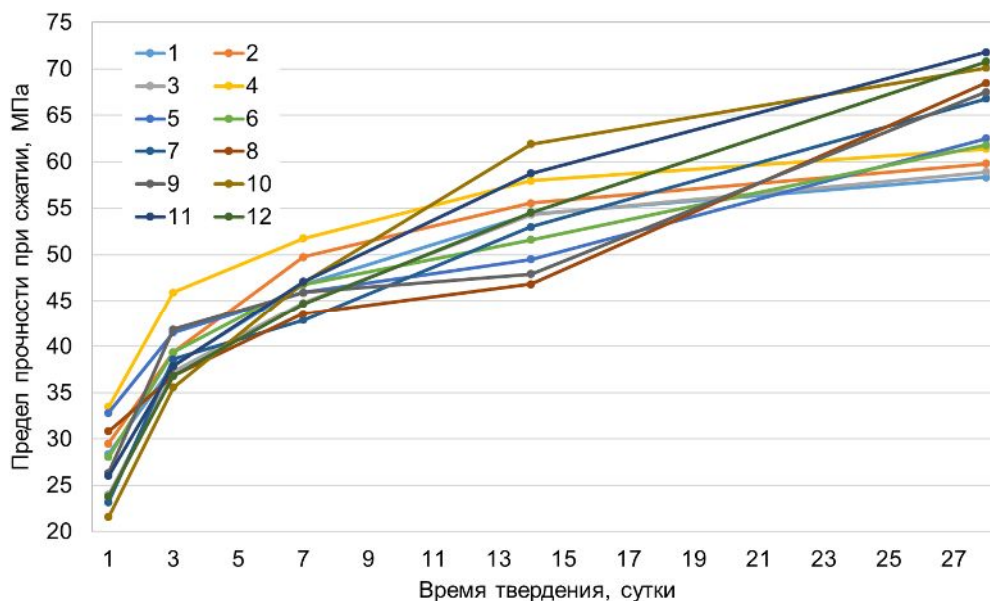


Рис. 3. Кинетика набора прочности цементного камня в зависимости от состава:

- 1 – цемент; 2 – цемент+ Na_2SO_4 ; 3 – цемент+ K_2SO_4 ;
 4 – цемент+ангидрит; 5 – цемент+ангидрит+ Na_2SO_4 ;
 6 – цемент+ангидрит+ K_2SO_4 ; 7 – цемент+ММ; 8 – цемент+ММ+ Na_2SO_4 ;
 9 – цемент+ММ+ K_2SO_4 ; 10 – цемент+ММ+ангидрит;
 11 – цемент+ММ+ангидрит+ Na_2SO_4 ; 12 – цемент+ММ+ангидрит+ K_2SO_4

Степень влияния состава композиционного вяжущего на прочность цементного камня можно ранжировать в следующей последовательности по возрастанию: чистый цементный камень → цементный камень с сульфатными добавками (ангидритом и/или активаторами) → цементный камень с минеральным модификатором и активаторами → цементный камень с модификатором, ангидритом и активаторами (рис. 3, табл. 4).

При введении сульфатных компонентов прирост прочности в возрасте 28 суток по сравнению с контрольным составом незначителен (табл. 4), что связано с малой дозировкой добавок в системе. Введение ангидрита совместно с сульфатами обеспечивает рост прочности в пределах 10 %. Добавка минерального модификатора и активаторов твердения приводит к более значительному приросту – на 15–17 %.

Максимальным приростом прочности отличаются составы, содержащие весь комплекс минеральных добавок: цементный камень на композиционном вяжущем отличается повышенной на 20 % прочностью при сниженной доле клинкерной составляющей.

Объяснением указанных явлений может служить высокая пуццоланическая активность минерального модификатора, обеспечивающего связывание избытка свободного гидроксида кальция в системе гидратирующегося цемента, а также активация процессов кристаллизации ангидрита в присутствии сульфатных активаторов и CaO из цемента. Кроме того, использование наполнителей разной granulometрии обеспечивает формирование высокоплотной упаковки твердой фазы при минимально допустимой пористости, что является физическим фактором упрочнения цементного камня.

Таблица 4

**Корреляция прочности образцов и
ее прироста**

Состав	Прочность на сжатие в возрасте 28 суток, МПа	Прирост по отношению к контроль- ному составу, %
чистый цемент	58,3	—
цемент с Na ₂ SO ₄	59,8	2,6
цемент с K ₂ SO ₄	58,9	1,0
цемент с ангид- ритом	61,4	5,3
цемент с ангид- ритом и Na ₂ SO ₄	62,5	7,2
цемент с ангид- ритом и K ₂ SO ₄	61,8	6,0
цемент с ММ	66,8	14,6
цемент с ММ и Na ₂ SO ₄	68,5	17,5
цемент с ММ и K ₂ SO ₄	67,5	15,8
цемент с ММ и ангидритом	70,1	20,2
цемент с ММ, ангидритом и Na ₂ SO ₄	71,8	23,2
цемент с ММ, ангидритом и K ₂ SO ₄	70,8	21,4

Выводы. Таким образом, в работе показана возможность получения композиционного вяжущего на основе портландцемента с использованием в качестве минеральных компонентов модификатора на основе кварцевого песка, сульфата кальция и активаторов твердения. Такое сочетание компонентов приводит к ускорению схватывания смеси в 1,5 раза, некоторое ее разжижение и упрочнение на 20 % при снижении доли клинкерной составляющей в смеси. Все это в совокупности обеспечит минимизацию усадочных деформаций и повышение качества пенобетона неавтоклавного твердения.

Источник финансирования. Грант Президента для молодых кандидатов МК-5980.2018.8.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Алфимова Н.И., Пириева С.Ю., Гудов Д.В., Шураков И.М., Корбут Е.Е. Оптимизация рецептурно-технологических параметров изготовления ячеистобетонной смеси // Строительные материалы и изделия. 2018. Том 1. №2. С. 30–36.
2. Аниканова Т.В., Погоромский А.С. Применение полуводного сульфата кальция для интенсификации процессов твердения конструктивно-теплоизоляционного пенобетона //

Строительные материалы и изделия. 2018. Том 1. №3. С. 25–32.

3. Нелюбова В.В., Строкова В.В., Бухало А.Б. Неавтоклавные ячеистые композиты с нанокompонентами. Состав, структура, свойства. Saarbrücken, 2017. 109 с.

4. Рахимбаев Ш.М., Дегтев И.А., Тарасенко В.Н., Аниканова Т.В. К вопросу снижения усадочных деформаций изделий из пенобетона // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2007. № 12 (588). С. 41–44.

5. Масанин О.О., Нелюбова В.В. Неорганическая фибра как эффективный элемент композитов // Инновационные материалы и технологии в дизайне. Тезисы докладов IV Всероссийской научно-практической конференции с участием молодых ученых. 2018. С. 36–37.

6. Попов А.Л., Нелюбова В.В., Безродных А.А. К вопросу о модификации ячеистых бетонов автоклавного твердения минеральными волокнами // Инновационные материалы и технологии в дизайне. Тезисы докладов IV Всероссийской научно-практической конференции с участием молодых ученых. 2018. С. 25–26.

7. Nelubova V.V., Babaev V.B., Popov A.L., Bezrodnyh A.A. Peculiarities of Structure Formation in System «Cement-Basaltic Fibre» // International Symposium Engineering and Earth Sciences: Applied and Fundamental Research (ISEES 2018). Atlantis Press, 2018. Pp. 328–332.

8. Павленко Н.В., Бухало А.Б., Капуста М.Н. Микроармированные ячеистые композиты на основе наноструктурированного вяжущего // Инновационные материалы и технологии (XX научные чтения). Материалы Международной научно-практической конференции. 2013. С. 172–175.

9. Мирюк О.А. Комплексная поризация бесцементных композиций // Наука и Мир. 2016. Т. 1. № 4 (32). С. 63–65.

10. Мирюк О.А. Бесцементные пеногазобетонные материалы // Наука и Мир. 2015. Т. 1. № 5. С. 81–84.

11. Завадский В.Ф., Дерябин П.П., Косач А.Ф. Технология получения пеногазобетона // Строительные материалы. 2009. № 6. С. 2.

12. Nelyubova V.V., Netsvet D.D., Bezdrodnykh A.A. Study of mineral components influence on foam system properties // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2018. 451(1), 012021.

13. Nelyubova V.V., Hou Pengkun, Strokova V.V., Singh L.P., Netsvet Daria, Bondarenko Diana. Complex study of modified binder properties // Proceedings Of The International Conference Actual Issues Of Mechanical Engineering 2017 (AIME 2017). AER-Advances in Engineering Research.

2017.

Volume 133. P. 543–548

14. Sivalneva M.N., Pavlenko N.V., Pastushkov P.P., Strokova V.V., Netsvet D.D., Shapovalov N.A. Steam curing characteristics of cellular concrete on the base of nanostructured binder // Journal of fundamental and applied sciences. 2016. Vol. 8. Special Issue SI. Supplement 3. P. 1480–1485.

15. Нецвет Д.Д., Серенков И.В., Сумин А.В. К вопросу влияния минеральных составляющих на свойства композиционного наноструктурированного вяжущего // Научно-практические проблемы в области химии и химических технологий. Материалы X Межрегиональной научно-технической конференции молодых ученых, специалистов и студентов вузов. 2016. С. 82–83.

16. Сумин А.В., Бухало А.Б., Дмитриев М.Ю. Некоторые особенности композиционного вяжущего с использованием наноструктурированного модификатора // Научные технологии и инновации. Юбилейная Международная

научно-практическая конференция, посвященная 60-летию БГТУ им. В.Г. Шухова (XXI научные чтения). 2014. С. 360–363.

17. Череватова М.С., Мирошников Е.В., Павленко Н.В. Бесцементное наноструктурированное вяжущее негидратационного типа // Технологии бетонов. 2012. № 5–6 (70–71). С. 21–22.

18. Череватова А.В. Теоретические аспекты создания наноструктурированных вяжущих на основе ВКВС // Керамика и огнеупоры: перспективные решения и нанотехнологии: сборник докладов. 2010. С. 115–119.

19. Череватова А.В., Жерновский И.В., Строкова В.В. Минеральные наноструктурированные вяжущие. Природа, технология и перспективы применения. Саарбрюкен, 2011. 170 с.

20. Strokova V.V., Cherevatova A.V., Pavlenko N.V., Nelubova V.V. Prospects of application of zero-cement binders of a nonhydration hardening type // World Applied Sciences Journal. 2013. T. 25. № 1. С. 119–123.

Информация об авторах

Нецвет Дарья Дмитриевна, аспирант кафедры материаловедения и технологии материалов. E-mail: netsvet_dd@mail.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

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

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

Поступила в марте 2019 г.

© Нецвет Д.Д., Нелубова В.В., Строкова В.В., 2019

¹*Netsvet D.D., ¹*Nelyubova V.V., ¹Strokova V.V.*

¹*Belgorod State Technological University named after V.G. Shoukhov*

Russia, 308012, Belgorod region, Belgorod, Kostukova st. 46

**E-mail: nelubova@list.ru*

COMPOSITE BINDER WITH MINERAL ADDITIVES FOR NON-AUTOCLAVE FOAM CONCRETE

Abstract. The possibility of increasing efficiency of non-autoclaved foam concrete due to the use of complex binder with mineral components of different composition has been theoretically substantiated and experimentally confirmed. The opportunity to use the anhydrous calcium sulphate as a modifying component of the mixture is proved, which accelerates the setting of the mixture. This allows to "fix" the structure of the aerated concrete mixture with minimal shrinkage deformations. It is shown that the combined use of anhydrite and a mineral additive in the form of a quartz suspension obtained by grinding sand in an aqueous medium leads to a liquefaction of the mixture, which is associated with a decrease in the share of the structure-forming component. From a technological point of view, this will allow obtaining materials with a rational pore structure by optimizing the processes of pores formation. Composite binder with mineral additives is characterized by increased strength with a reduced share of clinker component in comparison with cement.

In result, the minimization of shrinkable deformations and improvement of the quality of cellular concrete are ensured.

Keywords: *modifier, anhydrite, cement, composite binder, physicomechanical characteristics.*

REFERENCES

1. Alfimova N.I., Pirieva S.Yu., Gudov D.V., Shurakov I.M., Korbut E.E. Optimization of receptural-technological parameters of manufacture of cellular concrete mixture [*Optimizaciya recepturno-tekhnologicheskikh parametrov izgotovleniya yacheistobetonnoj smesi*]. Construction Materials and Products. 2018. Vol. 1. Iss. 2, Pp. 30–36. (rus)
2. Anikanova T.V., Pogoromsky A.S. The use of semi-aquatic calcium sulfate to intensify the processes of hardening of structural heat-insulating foamed concrete [*Primenenie poluvodnogo sul'fata kal'ciya dlya intensivatsii processov tverdeniya konstrukcionno-teploizolyacionnogo penobetona*]. Construction Materials and Products. 2018. Vol. 1. Iss. 3. Pp. 25–32. (rus)
3. Nelyubova V.V., Strokova V.V., Bukhalo A.B. Non-autoclaved cellular composites with nanocomponents [*Neavtoklavnye yacheistye kompozity s nano-komponentami*]. Composition, structure, properties. Saarbrücken, 2017. 109 p. (rus)
4. Rakhimbaev Sh.M., Degtev I.A., Tarasenko V.N., Anikanova T.V. On the issue of reducing shrinking deformation of foam concrete products [*K voprosu snizheniya usadochnykh deformacij izdelij iz penobetona*]. News of higher educational institutions. Construction. 2007. No. 12 (588). Pp. 41–44. (rus)
5. Masanin O.O., Nelyubova V.V. Inorganic fiber as an effective element of composites [*Neorganicheskaya fibra kak ehffektivnyj ehle-ment kompozitov*]. Innovacionnye materialy i tekhnologii v dizajne. Tezisy dokladov IV Vserossijskoj nauchno-prakticheskoy konferencii s uchastiem molodyh uchenykh. 2018. Pp. 36–37. (rus)
6. Popov A.L., Nelyubova V.V., Bezrodnykh A.A. On the question of modification of autoclaved hardening cellular concrete with mineral fibers. [*K voprosu o modifikatsii yacheistyh betonov avtoklavnogo tverdeniya mineral'nyimi voloknami*]. Innovacionnye materialy i tekhnologii v dizajne. Tezisy dokladov IV Vserossijskoj nauchno-prakticheskoy konferencii s uchastiem molodyh uchenykh. 2018. P. 25–26.
7. Nelubova V.V., Babaev V.B., Popov A.L., Bezrodnykh A.A. Peculiarities of Structure Formation in System «Cement-Basaltic Fibre». International Symposium Engineering and Earth Sciences: Applied and Fundamental Research (ISEES 2018). Atlantis Press, 2018. Pp. 328–332.
8. Pavlenko N.V., Bukhalo A.B., Kapusta M.N. Micro-reinforced cellular composites based on nanostructured binder [*Mikroarmirovannye yacheistye kompozity na osnove nanostrukturirovannogo vyazhushchego*]. Innovacionnye materialy i tekhnologii (HKH nauchnye chteniya). Materialy Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii. 2013, Pp. 172–175. (rus)
9. Miryuk O.A. Complex porisation of zero-cement compositions [*Kompleksnaya porizaciya bescementnykh kompozitsij*]. Science and World. 2016. Vol. 1. No. 4 (32). Pp. 63–65. (rus)
10. Miryuk O.A. Zero-cement foam concrete materials [*Bescementnye penogazobetonnye materialy*]. Science and World. 2015. Vol. 1. No. 5. Pp. 81–84. (rus)
11. Zavadsky V.F., Deryabin P.P., Kosach A.F. Technology of production of foam-gasconcrete. [*Tekhnologiya polucheniya penogazobetona*]. Construction materials. 2009. No. 6. Pp. 2. (rus)
12. Nelyubova V.V., Netsvet D.D., Bezrodnykh A.A. Study of mineral components influence on foam system properties. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2018. 451(1). 012021.
13. Nelyubova Viktoriya, Hou Pengkun, Strokova V.V., Singh L.P., Netsvet Daria, Bondarenko Diana. Complex study of modified binder properties. Proceedings Of The International Conference Actual Issues Of Mechanical Engineering 2017 (AIME 2017). AER-Advances in Engineering Research. 2017. Vol. 133. Pp. 543–548.
14. Sivalneva M.N., Pavlenko N.V., Pastushkov P.P., Strokova V.V., Netsvet D.D., Shapovalov N.A. Steam curing characteristics of cellular concrete on the base of nanostructured binder. Journal of fundamental and applied sciences. 2016, Vol. 8, Special Issue SI. Supplement 3. Pp. 1480–1485.
15. Netsvet D.D., Serenkov I.V., Sumin A.V. On the question of the influence of mineral components on the properties of composite nanostructured binder [*K voprosu vliyaniya mineral'nykh sostavlyayushchih na svojstva kompozicionnogo nano-strukturirovannogo vyazhushchego*]. Nauchno-prakticheskie problemy v oblasti himii i himicheskikh tekhnologij. Materialy X Mezhhregional'noj nauchno-tekhnicheskoy konferencii molodyh uchenykh, specialistov i studentov vuzov. 2016. Pp. 82–83. 9 (rus)
16. Sumin A.V., Bukhalo A.B., Dmitriev M.Yu. Some features of composite binder using nanostructured modifier [*Nekotorye osobennosti kompozicionnogo vyazhushchego s ispol'zovaniem nanostrukturirovannogo modifikatora*]. Naukoemkie tekhnologii i innovacii. Yubilejnaya

Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferenciya, posvyashchennaya 60-letiyu BGTU im. V.G. Shuhova (XXI nauchnye chteniya). Pp. 360–363. (rus)

17. Cherevatova M.S., Miroshnikov E.V., Pavlenko N.V. Zero-cement nanostructured binder of non-hydrational type [*Bescementnoe nanostrukturirovannoe vyazhushchee negidratatsionnogo tipa*]. Concrete technologies. 2012. No. 5–6 (70–71). Pp. 21–22. (rus)

18. Cherevatova A.V. Theoretical aspects of the creation of nanostructured binders based on HCBS. [*Teoreticheskie aspekty sozdaniya nanostrukturirovannyh vyazhushchih na osnove VKVS*].

Ceramics and refractories: promising solutions and nanotechnologies: collection of reports. 2010. Pp. 115–119. (rus)

19. Cherevatova A.V., Zhernovsky I.V., Strokova V.V. Mineral nanostructured binders. nature, technology and application prospects [*Mineral'nye nanostrukturirovannye vyazhushchie. Priroda, tekhnologiya i perspektivy primeneniya*]. Saarbrücken, 2011. 170 p. (rus)

20. Strokova V.V., Cherevatova A.V., Pavlenko N.V., Nelubova V.V. Prospects of application of zero-cement binders of a nonhydration hardening type. World Applied Sciences Journal. 2013. Vol. 25. No. 1. Pp. 119–123.

Information about the authors

Netsvet, Daria D. Postgraduate student. E-mail: netsvet_dd@mail.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Nelyubova, Viktoriya V. PhD, Assistant professor. E-mail: nelubova@list.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Strokova, Valeriya V. DSc, Head of department. E-mail: vvstrokova@gmail.com. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Received in March 2019

Для цитирования:

Нецвет Д.Д., Нелюбова В.В., Строкова В.В. Композиционное вяжущее с минеральными добавками для неавтоклавных пенобетонов // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2019. № 4. С. 122–131. DOI: 10.34031/article_5cb1e65d077f65.54773394

For citation:

Netsvet D.D., Nelyubova V.V., Strokova V.V. Composite binder with mineral additives for non-autoclave foam concrete. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2019. No. 4. Pp. 122–131. DOI: 10.34031/article_5cb1e65d077f65.54773394

DOI: 10.34031/article_5cb1e65a974873.72542352

^{1,*}Вострикова Г.Ю., ²Никулина Н.С., ³Никулин С.С.¹Воронежский государственный технический университет

Россия, 394006, Воронеж, ул. 20-летия Октября, 84

²Воронежский институт ГПС МЧС России

Россия, 394052, Воронеж, ул. Краснознаменная, 231, г.

³ВУНЦ ВВС Военно-воздушная академия им. проф. Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина

Россия, 394064, Воронеж, ул. Старых Большевиков, 54 «А»

*E-mail: vostr76-08@live.ru

ПЕРСПЕКТИВА ПРИМЕНЕНИЯ ОЛИГОМЕРА ИЗ ПОБОЧНЫХ ПРОДУКТОВ НЕФТЕХИМИИ, МОДИФИЦИРОВАННОГО ВТОРИЧНЫМ ПЕНОПОЛИСТИРОЛОМ ДЛЯ ЗАЩИТЫ ДРЕВЕСНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Аннотация. В век информационных технологий и век полимеров, задач в научно-исследовательских работах по химии и химической технологии не уменьшается, а наоборот с каждым разом становится все больше и больше. Объяснить такое явление можно с той позиции, что человек стал развиваться с очень высокой скоростью, а, следовательно, и потребности резко увеличиваются, а поэтому все объективно понимают, что природные ресурсы ежегодно растрачиваются. Наступит время, что природы для существования человека будет просто не хватать. Ведь вырастить дерево – это не дом построить, а на строительство деревянного дома требуется не одно дерево, которые растут годами. В данной работе авторы пытаются за счет отходов от производства продлить срок эксплуатации различных изделий и материалов, изготовленных из дешевых древесных пород, что возможно частично обеспечит сохранить природу.

В статье представлены результаты по применению олигомера из отходов нефтехимии для защитной обработки не только древесных материалов, но и древесно-волоконистых плит (ДВП). Дозировка вторичного пенополистирола в олигомер из побочных продуктов производства полибутадиена варьировали от 10 до 40 %. Полученные образцы ДВП, березы, липы и осины были исследованы на устойчивость к действию воды и влаги. Результаты свидетельствуют о том, что образцы обладают повышенными прочностными показателями и устойчивостью к действию воды и влаги. Таким образом, комплексное использование отходов и побочных продуктов позволяет утилизировать их и применять для защитной обработки изделий из древесины, что способствует повышению формостабильности и срока службы изделий.

Ключевые слова: отходы, модификация, олигомеры, обработка, древесные материалы, водопоглощение, формостабильность, гидрофобность.

Введение. В настоящее время на промышленном рынке стремительно растет разнообразие строительных и отделочных материалов. Из огромного ассортимента материалов с каждым годом все тяжелее выбрать те, которые бы сочетали два основных требования – качество и доступность. Зачастую дешевые строительные материалы не удовлетворяют потребителя своим качеством, однако и дорогие материалы не всегда соответствуют требованиям. Все мы понимаем, как формируется цена на продукцию, чем дешевле сырье, тем дешевле материал. Анализируя литературные данные, ранее в работах были предприняты попытки переработки и использования нефтесодержащих отходов [1–2]. Применение отходов от производства позволяют удешевлять конечный продукт.

В связи с этим группа профессорско-преподавательского состава из различных вузов г. Воронежа во главе с профессором Никулиным С.С. в последнее время большое внимание в своих исследованиях уделяет комплексной пе-

реработке отходов и побочных продуктов различных производств для создания наиболее качественных и доступных строительных материалов. Подход к решению данного вопроса позволяет решать ряд экологических задач, а также более полно и рационально использовать различные существующие отходы, которые до настоящего времени не нашли своего применения. Так, например, в промышленных масштабах был освоен выпуск низкомолекулярных полимерных продуктов (олигомеров) на основе побочных продуктов производства бутадиенового каучука (ПППБ), который в течение ряда лет использовали в производстве лакокрасочных материалов (ЛКМ) [3, 4]. Основными звеньями, входящими в структуру олигомера на основе ПППБ являлись – звенья стирола, 4-винилциклогексена (ВЦГ), циклодекатриена-1,5,9 (ЦДТ), н-додекатетраена-2,4,6,10 (НДТ) и др. [5–7].

Наилучшим комплексом свойств обладали олигомеры на основе ПППБ, полученные при

содержании стирола в исходной мономерной смеси 70–80 %. Снижение содержания дорогого и дефицитного стирола до 30–50 % приводит к ухудшению показателей качества получаемых ЛКМ. Из изложенного выше у профессорско-преподавательского состава (ППС) возникла идея олигомер на основе ПППБ, полученный при низком содержании стирола модифицировать вторичным пенополистиролом (ВППС), чтобы приблизить его к высокостирольному. Известно, что провести химическое совмещение двух видов полимерных отходов возможно на молекулярном уровне за счет проведения их совместной деструкции [8–10]. Возникает вопрос, где могли бы найти применение такие олигомеры. Одним из перспективных таких направлений может служить защитная обработка древесины и изделий на её основе, используемой в промышленном и гражданском строительстве [11–13].

Основная часть. Цель работы – модификация низкомолекулярного сополимера на основе побочных продуктов производства полибутадиена вторичным пенополистиролом и применение для защитной обработки древесных материалов. На основании выше-сказанного, олигомер ПППБ с содержанием стирола от 40 до 50 % в реакторе смешивали со ВППС в количествах 10, 20, 30 и 40 % на 100 % олигомера. Полученные смеси подвергали высокотемпературной обработке при 200 ± 5 °С в течение 3–5 часов в присутствии кислорода воздуха и нафтенатного сиккатива. Добавки сиккатива варьировались от 2 до 5 % и из системы не удалялись из-за создания условий для совместной деструкции полимерных отходов. Подразумевалось, что оставшийся сиккатив будет выполнять функцию структурирующего агента после обработки деструктированным композитом древесины и изделий на её основе. При данной обработке будут протекать два конкурирующих процесса: деструкция пенополистирола и олигомера, и структурирование между собой образующихся продуктов распада. В результате протекающих процессов происходит образование новых макромолекул, содержащих в своей структуре повышенное содержание стирола. В структуре получаемого олигомера появляются кислородсодержащие функциональные группы, повышающие его сродство к компонентам древесного вещества. Отмечено, что молекулярная масса синтезированных продуктов в результате увеличилась в два раза (от 5000 до 10000). К исследованию были представлены образцы древесины из относительно дешевых пород (березы, липы, осины) и древесно-волоконистых плит

(ДВП), которые пропитывали полимерным раствором и выдерживали в течение одного часа при температуре 80–90 °С. Пропитанные образцы древесины извлекали из раствора и после подсушки помещали в сушильный шкаф и выдерживали в течение 1–5 часов при температуре 90–110 °С для удаления растворителя. Время и температура для каждого вида породы древесины подбирались индивидуально. Подробные описания представлены в работах [14, 15]. После чего температуру повышали до 160–165 °С и при данной температуре выдерживали еще 3 часа. За данный промежуток времени происходила сшивка молекул олигомера в структурах древесины с образованием древесно-полимерного каркаса, а также образование эфирных связей между компонентами древесного вещества (целлюлозой, гемицеллюлозой и лигнином) окисленным модифицированным олигомером. Показатели испытаний древесины различных пород и ДВП на водопоглощение и разбухание представлены в табл. 1, 2.

Результаты и их обсуждение. Анализ экспериментальных данных показывает, что наилучшими показателями обладают образцы древесины липы, березы и осины, где в качестве пропитывающего состава использовали олигомер на основе ПППБ с добавками 40 % ВППС. Высокие показатели образцов древесины связаны с тем, что получаемый продукт содержит меньшее количество двойных связей, повышающих его гидрофильные свойства. Также необходимо отметить, что образцы ДВП, пропитанные таким модифицированным олигомерным составом, показали повышенную прочность и устойчивость к действию воды и влаги. С увеличением содержания ВППС в олигомере из ПППБ повышалась прочность ДВП, а водопоглощение и разбухание уменьшались.

Выводы. Таким образом, комплексное использование отходов и побочных продуктов позволяет целенаправленно утилизировать данные отходы. Полученные на основе побочных продуктов нефтехимии олигомерные материалы с успехом могут быть использованы для повышения формостабильности и гидрофобности изделий из древесины различных пород. Древесно-полимерные композиты могут быть использованы в производстве строительных материалов, эксплуатируемых в условиях повышенной влажности и действии других агрессивных сред.

Таблица 1

Влияние содержания вторичного пенополистирола в олигомере из ПППБ на водопоглощение и разбухания образцов древесины

Вид поро- ды дерева	Дозировка ВППС в ПППБ, %	Водопоглощение, %	Разбухание в ради- альном направлении, %	Разбухание в танген- циальном направле- нии, %
береза	0	$\frac{25,7}{68,0}$	$\frac{3,3}{6,5}$	$\frac{4,4}{8,4}$
	10	$\frac{25,0}{66,8}$	$\frac{3,3}{6,2}$	$\frac{4,0}{8,0}$
	20	$\frac{24,7}{65,1}$	$\frac{3,0}{5,8}$	$\frac{3,9}{7,9}$
	30	$\frac{23,0}{62,3}$	$\frac{2,7}{5,4}$	$\frac{3,7}{7,6}$
	40	$\frac{21,2}{59,0}$	$\frac{2,5}{5,1}$	$\frac{3,6}{7,5}$
липа	0	$\frac{19,1}{65,3}$	$\frac{3,0}{5,1}$	$\frac{4,9}{6,7}$
	10	$\frac{19,4}{63,8}$	$\frac{3,0}{4,9}$	$\frac{4,0}{6,9}$
	20	$\frac{18,6}{58,1}$	$\frac{2,7}{4,4}$	$\frac{3,5}{5,7}$
	30	$\frac{16,9}{55,9}$	$\frac{2,1}{3,7}$	$\frac{3,4}{5,6}$
	40	$\frac{15,8}{55,1}$	$\frac{2,0}{3,9}$	$\frac{3,7}{5,5}$
осина	0	$\frac{29,7}{72,0}$	$\frac{3,5}{6,7}$	$\frac{4,6}{8,6}$
	10	$\frac{28,0}{69,8}$	$\frac{3,4}{6,6}$	$\frac{4,3}{8,3}$
	20	$\frac{26,5}{68,1}$	$\frac{3,2}{6,1}$	$\frac{4,1}{7,9}$
	30	$\frac{25,0}{66,3}$	$\frac{2,9}{5,9}$	$\frac{3,9}{7,5}$
	40	$\frac{23,8}{61,5}$	$\frac{2,7}{5,6}$	$\frac{3,8}{7,7}$

Примечание: числитель – через 1 сутки; знаменатель – через 30 суток

Таблица 2

**Экспериментальные значения показателей образцов ДВП,
обработанных модифицированным олигомером на основе ПППБ**

	Дозировка вторичного пенополистирола в олигомер из ПППБ, %				
	0	10	20	30	40
Прочность при изгибе, МПа	45,1	47,5	50,7	54,9	55,1
Водопоглощение, %	14,3	13,3	12,1	11,4	11,1
Разбухание по толщине, %	11,7	10,9	10,0	10,3	9,3

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Соколов Л.И. Переработка и использование нефтесодержащих отходов. М.: Инфра-Инженерия, 2017. 128 с.

2. Булатов М.А. Комплексная переработка многокомпонентных жидких систем. М.: Мир, 2012. 304 с.

3. Никулин С.С., Сергеев Ю.А., Шеин В.С. Использование олигомеров бутадиена в лако-

красочной промышленности // Лакокрасочные материалы и их применение. 1986. № 4. С. 15–16.

4. Никулин С.С., Сергеев Ю.А., Тertyшник Г.В., Струкова И.Ю., Шаповалова Н.Н. Свойства пленкообразователей на основе отходов производства синтетического каучука // Лакокрасочные материалы и их применение. 1988. № 4. С. 26–28.

5. Никулина Н.С., Никулин С.С. Сополимеризация непредельных соединений, содержащихся в кубовом остатке очистки возвратного растворителя производства полибутадиена в присутствии хлорида алюминия // Промышленное производство и использование эластомеров. 2013. № 4. С. 41–43.

6. Никулин С.С., Седых В.А., Никулина Н.С. Пластификация полибутадиена олигомером, полученным на основе побочных продуктов производства растворного каучука // Химическая технологи. 2012. Т. 13. № 4. С. 210–215

7. Никулина Н.С., Стадник Л.Н., Пугачева И.Н., Никулин С.С. Утилизация отходов производства полибутадиена, содержащих 4-винилциклогексен // Химия в интересах устойчивого развития. 2015. Т. 23. № 1. С. 49–53.

8. Заиков Г.Е., Разумовский С.Д., Кочнев А.М., Стоянов О.В., Шкодич В.Ф., Наумов С.В. Деструкция как метод модификации полимерных изделий // Вестник Казанского технологического университета. 2012. Т. 15. № 6. С. 55–66.

9. Бадунова М.В., Прочухан Ю.А. Способы утилизации отходов полимеров // Вестник Башкирского университета. 2008. Т. 13. № 4. С. 875–885.

10. Зархина Т.С., Аксенова Н.А., Соловьева А.Б. Влияние безметалльных порфиринов на термоокислительную деструкцию биосовместимых

полимеров // Журнал физической химии. 2017. Т. 91. № 6. С. 945–950.

11. Никулин С.С., Филимонова О.Н., Никулина Н.С., Болдырев В.С. Применение низкомолекулярных сополимеров на основе побочных продуктов производства полибутадиена с низким содержанием стирола как модификаторов древесноволокнистых плит // Химическая промышленность сегодня. 2005. № 4. С. 15–17.

12. Никулина Н.С., Филимонова О.Н., Никулин С.С. Защитная обработка древесины низкомолекулярными сополимерами из отходов производства полибутадиена с пониженным содержанием стирола // Производство и использование эластомеров. 2005. №3. С. 16–19.

13. Черных О.Н., Никулин С.С. Модификация древесины окисленным стиролсодержащим олигомером из побочных продуктов производства полибутадиена // Известия вузов. Известия ВУЗов. Химия и химическая технология. 2007. Т. 50. Вып. 2. С. 65–69.

14. Никулина Н.С., Вострикова Г.Ю., Дмитренков А.И., Никулин С.С. Защитная обработка древесины олигомером из побочных продуктов производства полибутадиена, модифицированного пенополистиролом // В сборнике: Наука, образование и инновации в современном мире. Материалы национальной научно-практической конференции. 2018. С. 188–192.

15. Никулина Н.С., Вострикова Г.Ю., Дмитренков А.И., Никулин С.С. Применение олигомера из побочных продуктов производства полибутадиена, модифицированного вторичным пенополистиролом для защитной обработки древесных материалов // Химия, физика и механика материалов. 2018. № 1 (16). С. 24–32.

Поступила в февраль 2019 г.

© Вострикова Г.Ю., Никулина Н.С., Никулин С.С., 2019

Информация об авторах

Вострикова Галина Юрьевна, кандидат химических наук, доцент кафедры химии и химической технологии материалов. E-mail: vostr76-08@live.ru. Воронежский государственный технический университет. Россия, 394026, Воронеж, ул. 20-летия Октября, 84.

Никулина Надежда Сергеевна, кандидат технических наук, старший преподаватель, капитан внутренней службы кафедры пожарной безопасности объектов защиты. E-mail: Nikulin_sergey48@mail.ru. Воронежский институт ГПС МЧС России, Россия, 394052, Воронеж, ул. Краснознаменная, 231.

Никулин Сергей Саввович, доктор технических наук, профессор, старший научный сотрудник. E-mail: Nikulin_sergey48@mail.ru. ВУНЦ ВВС Военно-воздушная академия им. проф. Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина, Россия, 394064, Воронеж, ул. Старых Большевиков, 54 «А».

^{1,*}Vostrikova G.Yu., ²Nikulina N.S., ³Nikulin S.S.

¹Voronezh state technical University

Russia, 394006, Voronezh, street 20 years of October, 84

²Voronezh Institute of state fire service of EMERCOM of Russia

Russia, 394052, Voronezh, St. red banner, 231

³Air Force Academy. prof. N.E. Zhukovsky and Yu.A. Gagarin

Russia, 394064, Voronezh, ul. Old Bolsheviks, 54 "A"

*E-mail: vostr76-08@live.ru

THE PROSPECT OF USING AN OLIGOMER FROM PETROCHEMICAL BY-PRODUCTS MODIFIED WITH SECONDARY POLYSTYRENE FOAM TO PROTECT WOOD MATERIALS

Abstract. In the age of information technology and the age of polymers, there are more and more tasks in scientific researches on chemistry and chemical technology. Such a phenomenon is explained by the fact that humanity develops very quickly. Consequently, the needs are enhancing dramatically, and therefore everyone objectively understands that natural resources decrease annually. The time will come when nature will not be enough for human existence. To plant a tree is not to build a house, but the construction of a wooden house requires more than one tree that grows over the years. In this paper, the authors try to prolong the life of various products and materials made of cheap wood species by using waste from production, which may partially ensure the preservation of nature. The article presents the results on the use of oligomer from petrochemical waste for the protective treatment of wood materials and high-density fiberboard (HDF). The dosage of secondary expanded polystyrene to oligomer from polybutadiene by-products varies from 10 to 40 %. The obtained samples of fiberboard, birch, linden and aspen are examined for resistance to water and moisture. The results indicate that the samples have high strength properties and resistance to water and moisture. Thus, the integrated use of waste and by-products allows them to be disposed and to be used for protective treatment of wood products, which contributes to improving the formability and service life of products.

Keywords: waste, modification, oligomers, processing, wood materials, water absorption, formability.

REFERENCES

1. Sokolov L.I. Recycling and use of oily waste [Pererabotka i ispol'zovanie neftesoderzhashchih othodov]. M.: Infra-Engineering. 2017, 128 p. (rus)
2. Bulatov M.A. Complex processing of multi-component liquid systems [Kompleksnaya pererabotka mnogokomponentnyh zhidkih sistem]. M.: Mir. 2012, 304 p. (rus)
3. Nikulin S.S., Sergeev Yu.A., Shein V.S. The use of oligomers of butadiene in the paint industry [Ispol'zovanie oligomerov butadiena v lakokraschoj promyshlennosti]. Paintwork materials and their application. 1986. No. 4. Pp. 15–16. (rus)
4. Nikulin S.S., Sergeev Yu.A., Tertysh-nik G.V., Strukova I.Yu., Shapovalova N.N. Properties of film formers based on waste production of synthetic rubber [Svoystva plenkoobrazovatelej na osnove othodov proizvodstva sinteticheskogo kauchuka]. Paintwork materials and their application. 1988. No. 4. Pp. 26–28. (rus)
5. Nikulin N.S., Nikulin S.S. Copolymerization of unsaturated compounds contained in the bottoms of the purification of the return solvent of polybutadiene production in the presence of aluminum chloride [Sopolimerizaciya nepredel'nyh soedinenij, soderzhashchihsva v kubovom ostatke ochistki vozvratnogo rastvoritelya proizvodstva polibutadiena v prisutstvii hlorigida alyuminiya]. Industrial production and use of elastomers. 2013. No. 4. Pp. 41–43. (rus)
6. Nikulin S.S., Sedykh V.A., Nikulin N.S. Plastification of polybutadiene by oligomer-rum, obtained on the basis of side products of mortar rubber production [Plastifikaciya polibutadiena oligomerom, poluchennym na osnove pobochnyh produktov proizvodstva rastvornogo kauchuka]. Chemical technology. 2012. Vol. 13. No. 4. Pp. 210–215 (rus)
7. Nikulin N.S., Stadnik L.N., Pugacheva I.N., Nikulin S.S. Disposal of polybutadiene production wastes containing 4-vinylcyclohexene [Utilizaciya othodov proizvodstva polibutadiena, soderzhashchih 4-vinilciklogeksen]. Chemistry for Sustainable Development. 2015. Vol. 23. No. 1. Pp. 49–53. (rus)
8. Zaikov G.E., Razumovsky S.D., Kochnev A.M., Stoyanov O.V., Shkodich V.F., Naumov S.V. Destruction as a method of modifying polymer products [Destrukcija kak metod modifikacii polimernyh izdelij]. Bulletin of Kazan Technical University, 2012. Vol. 15. No. 6. Pp. 55–66. (rus)
9. Bazunova M.V., Prochukhan Yu.A. Ways of utilization of waste polymers [Sposoby utilizacii othodov polimerov]. Bulletin of the Bashkir University. 2008. Vol. 13. No. 4. Pp. 875–885. (rus)

10. Zarkhina T.S., Aksenova N.A., Solovyova A.B. Influence of nonmetal porous fillers on thermo-oxidative destruction of biocompatible polymers [*Vliyaniye bezmetal'nykh porfirinov na termookislitel'nyuyu destruktsiyu biosovmestimyykh polimerov*]. Journal of Physical Chemistry. 2017. Vol. 91. No. 6. Pp. 945–950. (rus)

11. Nikulin S.S., Filimonova O.N., Nikulin N.S., Boldyrev V.S. Application of low molecular weight copolymers based on by-products of the production of polybutadiene with a low content of styrene as modifiers of fibreboards [*Primeneniye nizkomolekulyarnykh sopolimerov na osnove pobochnykh produktov proizvodstva polibutadiena s nizkim soderzhaniiem stirola kak modifikatorov drevesnovoloknistykh plit*]. Chemical industry today. 2005, No. 4. Pp. 15–17. (rus)

12. Nikulina N.S., Filimonova O.N., Nikulin S.S. Protective treatment of wood with low molecular weight copolymers from polybutadiene production wastes with lower styrene content [*Zashchitnaya obrabotka drevesiny nizkomolekulyarnymi sopolimerami iz othodov proizvodstva polibutadiena s ponizhennym soderzhaniiem stirola*]. Production and use of elastomers. 2005. No. 3. Pp. 16–19. (rus)

13. Chernykh O.N., Nikulin S.S. Modification of wood with oxidized styrene-containing oligomer

from by-products of polybutadiene production. Izvestiya VUZ. University news [*Modifikatsiya drevesiny okislennym stirolsoderzhashchim oligomerom iz pobochnykh produktov proizvodstva polibutadiena*]. Chemistry and chemical technology. 2007. Vol. 50. No. 2. Pp. 65–69. (rus)

14. Nikulin N.S., Vostrikova G.Yu., Dmitrenkov A.I., Nikulin S.S. Protective wood treatment with oligomer from by-products of polybutadiene production modified with polystyrene foam [*Zashchitnaya obrabotka drevesiny oligomerom iz pobochnykh produktov proizvodstva polibutadiena, modificirovannogo penopolistirolom*]. V sbornike: Nauka, obrazovanie i innovatsii v sovremennom mire. Materialy nacional'noy nauchno-prakticheskoy konferentsii. 2018, pp. 188–192. (rus)

15. Nikulin N.S., Vostrikova G.Yu., Dmitrenkov A.I., Nikulin S.S. The use of oligomer from by-products of the production of polybutadiene, modified by secondary polystyrene foam for the protective treatment of wood materials [*Primeneniye oligomera iz pobochnykh produktov proizvodstva polibutadiena, modificirovannogo vtorichnym penopolistirolom dlya zashchitnoy obrabotki drevesnykh materialov*]. Chemistry, Physics and Mechanics of Materials. 2018. No. 1 (16). Pp. 24–32. (rus)

Information about the authors

Vostrikova, Galina Yu. PhD, Assistant professor. E-mail: vostr76-08@live.ru. Voronezh state technical University, Russia, 394006, Voronezh, street 20 years of October, 84.

Nikulina, Nadezhda S. Senior lecturer. E-mail: Nikulin_sergey48@mail.ru. Voronezh Institute of state fire service of EMERCOM of Russia. Russia, 394052, Voronezh, St. red banner, 231.

Nikulin, Sergei S. DSc, Professor. E-mail: Nikulin_sergey48@mail.ru. Air Force Academy. prof. N.E. Zhukovsky and Yu.A. Gagarin. Russia, 394064, Voronezh, ul. Old Bolsheviks, 54 "A".

Received in February 2019

Для цитирования:

Вострикова Г.Ю., Никулина Н.С., Никулин С.С. Перспектива применения олигомера из побочных продуктов нефтехимии, модифицированного вторичным пенополистиролом для защиты древесных материалов // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2019. №4. С. 132–137. DOI: 10.34031/article_5cb1e65a974873.72542352

For citation:

Vostrikova G.Yu., Nikulina N.S., Nikulin S.S. The prospect of using an oligomer from petrochemical by-products modified with secondary polystyrene foam to protect wood materials. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2019. No. 2. Pp. 132–137. DOI: 10.34031/article_5cb1e65a974873.72542352

DOI: 10.34031/article_5cb1e65d798f87.83499465

¹Трепалина Ю.Н., ^{1,*}Кириллова Н.К.¹Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

*E-mail: kirillova_nk@edu.bstu.ru

КЕРАМИЧЕСКИЙ КИРПИЧ ИЗ СЫРЬЯ ЯКУТИИ С ДОБАВЛЕНИЕМ ТОНКОМОЛОТОГО СТЕКЛОБОЯ

Аннотация. Керамический кирпич на протяжении многих веков являлся основным строительным материалом при возведении жилых малоэтажных зданий и подсобных помещений, а также изделия строительной керамики отличаются своей долговечностью, высокими художественными характеристиками и полным отсутствием токсичности. Эти значения он не потерял и поныне. Объемы строительства в Республике Саха (Якутия) увеличиваются, спрос на строительный материал, как кирпич так же растет с каждым годом. При возведении объектов в Якутске используют керамический кирпич, ввозимый из-за пределов республики. Республика Саха (Якутия) располагает достаточно хорошей сырьевой базой глин и суглинков для производства керамических изделий. Особую важность имеет исследование основных свойств глинистого сырья для получения качественного продукта. Приведены результаты исследований использования глинистого сырья месторождения Санниковское, Республики Саха (Якутия), для дальнейшего производства керамического кирпича. Определены химический и минералогический составы глинистого сырья. Разработаны составы керамических масс с добавлением отходов стеклобоя в разном процентном содержании, для сокращения количества твердых отходов. Стеклобой использовался тарный, прозрачный. Исследованы технологические и основные физико-механические свойства полученных образцов.

Ключевые слова: керамический кирпич, глинистое сырье, месторождение Якутии, химический состав, минералогический состав, керамическая масса, тонкомолотый стеклобой.

Введение. Объемы индивидуального жилищного строительства в Якутии за последние десять лет выросли в два раза. Потребность в керамическом кирпиче очень высокая [1]. В настоящее время собственного производства керамического кирпича Республика не имеет [2].

При возведении объектов применяется керамический кирпич, который ввозится из-за пределов республики, из соседних регионов. Основной ввоз лицевого керамического строительного кирпича производится из Хабаровского края, г. Хабаровск. Расстояние от Хабаровска до Якутска составляет более 2000 км. По данным, полученным из территориальных управлений ФАС России, на территории Российской Федерации зарегистрировано 350 предприятий, осуществляющих производство и реализацию глиняного (керамического) кирпича. Самый большой объем производства, как рядового, так и облицовочного кирпича приходится на Центральный федеральный округ. А самый наименьший объем приходится на Дальневосточный федеральный округ. В Дальневосточном федеральном округе – 15 заводов, при этом в Сахалинской области, Республики Саха (Якутия), Магаданской области и Чукотском автономном округе производство глиняного (керамического) кирпича не осуществляется [3].

Сотрудники Северо-Восточного федерального университета им. М.К. Аммосова, г. Якутска исследовали, что ситуация с размещением

данных производств разрешима: Республика Саха (Якутия) располагает достаточными земельными и минерально-сырьевыми ресурсами для решения этой проблемы. В этой связи исследование основного сырья Якутии и разработка составов керамических масс для производства керамического кирпича более высокого качества с учетом специфики местного сырья имеют особую важность [4–8].

Главными задачами для производства керамического кирпича является энергосбережение на производстве, улучшение качества керамического кирпича, увеличение номенклатуры керамических изделий [9].

В этой связи исследование комплекса технологических и физико-химических особенностей глинистого сырья, а также разработка составов более высокого качества с учетом специфики местного сырья имеют особую важность [10, 11].

Целью исследования является исследование местного сырья Якутии и разработка составов керамических масс с добавлением тонкомолотого стеклобоя для производства керамического кирпича.

Методика. Рентгенограммы глин определены на рентгенофлуоресцентном спектрометре серии ARL 9900 WorkStation со встроенной системой дифракции.

Определены основные физико-механические свойства по методам испытания:

ГОСТ 530-2012 «Кирпич и камень керамические. Общие технические условия»; ГОСТ 7025-91 «Кирпич и камни керамические и силикатные. Методы определения водопоглощения, плотности и контроля морозостойкости».

Основная часть. Для разработки составов керамических масс для производства керамического кирпича использовали глины Санников-

ского месторождения. Санниковское месторождение расположено в двух километрах к западу от с. Намцы и в 84 км. к северу от г. Якутска [12].

Исследовали глинистое сырье Санниковского месторождения. По химическому составу характеризуются содержанием следующих видов оксидов, представленные в таблице 1.

Таблица 1

Химический состав глины Санниковского месторождения

Компоненты	Содержание оксидов, мас. %								
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	Na ₂ O	TiO ₂	ППП
Санниковское месторождение	55,29	16,93	4,81	4,31	4,17	2,63	1,79	0,65	8,7

По таблице 1 видно, что по химическому составу глинистое сырье Санниковского месторождения относится к легкоплавким глинам (так как низкое содержание оксида алюминия) с вы-

соким содержанием красящих оксидов (оксида железа).

Результаты рентгенофазового анализа глин месторождения Санниковское показано на рис. 1.

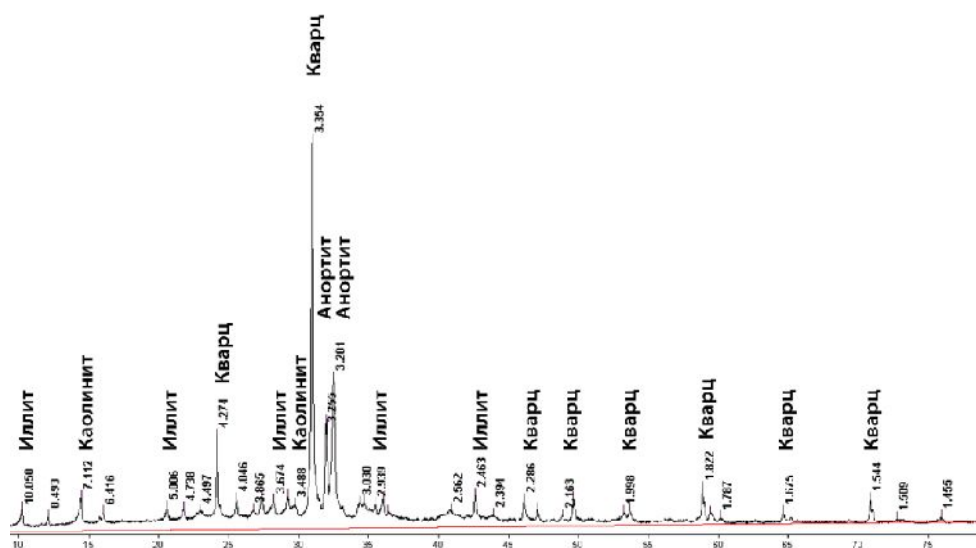


Рис. 1. Результаты рентгенофазового анализа глины Санниковского месторождения

По данным рентгенофазового анализа глины Санниковского месторождения относятся к каолинит-гидрослюдистым глинам, также присутствуют минералы примеси: кварц и анортит.

Технологические характеристики, такие как формовочная влажность, коэффициент чувствительности к сушке и воздушная линейная усадка представлены на таблице 2.

По табл. 2 видно, что Санниковская глина умереннопластичная и малочувствительная.

Для улучшения качества глинистого сырья ввели спекающую добавку. В качестве такой добавки использовали тонкомолотый бесцветный стеклобой тарного стекла, в разных соотношениях от 5–15 %. Измельчали мокрым по-

молот, в шаровой мельнице, до прохождения через сито 0,063 мм. Формовались образцы пластическим способом.

Таблица 2

Технологические характеристики глины Санниковского месторождения

Наименование показателей	Санниковская глина
Формовочная влажность, %	19
Коэффициент чувствительности к сушке	0,6
Воздушная линейная усадка, %	5,8

В России и за рубежом встает проблема утилизации твердых отходов, в том числе стек-

ла, так как они практически не утилизируются [13]. Стекольный бой – это ценное сырье. Частичная замена шихты стеклосилом позволяет сократить расход сырьевых материалов. По данным ряда экономистов, утилизация 1 миллиона бутылок позволяет сохранить 300 т. кварцевого стекольного песка и 100 т. кальцинированной соды. Введение стеклосило в состав шихты позволяет снижению энергетических затрат и экономии топлива, поскольку процессы силикато- и стеклообразования в расплаве протекают при более низких температурах, что подтверждается результатами многих исследователей [14].

Таблица 3

Наименование компонентов, разработанных составов, %.

Индексы масс	Санниковская глина	Стеклобой
1	100	-
2	95	5
3	90	10
4	85	15

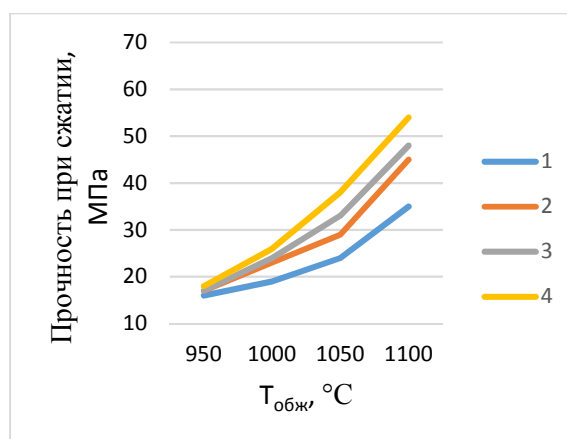
Обжигали образцы при температурах 950, 1000, 1050, 1100 °С, с выдержками 200 °С и 600 °С по часу. Определили основные физико-механические свойства образцов.

При добавлении тонкомолотого боя стекла к Санниковской глине, по сравнению с чистой глиной (состав 1) произошло значительное увеличение значения прочности на сжатие (рис. 2а). Наибольшее значение прочности на сжатие при добавлении 15 % стеклосило (состав 4) при температуре обжига 1100 °С равна 54 МПа.

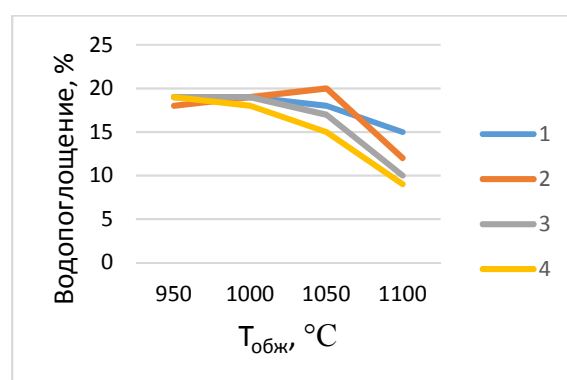
По данным приведенным на рисунке 2б видно, что при увеличении температуры значение водопоглощения снижается. При добавлении боя стекла наименьшее значение у состава 4 (Санниковская глина + 15 % боя стекла) при температуре обжига 1050 °С равна значению 15. При увеличении температуры обжига до 1100 °С значение водопоглощения уменьшается до 9 при добавлении 15 % боя стекла, 10 – при добавлении 10 % боя стекла и 12 – при добавлении 5 %.

По рис. 2в. видно, что при увеличении температуры обжига значение пористости образцов уменьшается. Наименьшее значение пористости у состава №19 (Санниковская глина + бой стекла 15 %), при температуре обжига 1050 °С равна 27. При увеличении температуры обжига до 1100 °С получили значения пористости при содержании 5 % боя стекла – 24; при 10 % боя стекла – 20 и при 15 % боя стекла – 19.

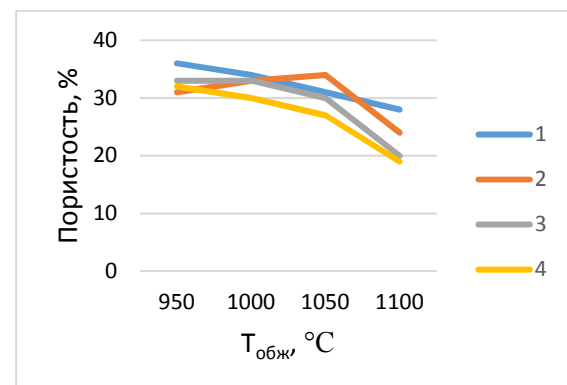
Добавка стеклосило к глинистому сырью способствует увеличению количества жидкой фазы в материале, что приводит к снижению пористости и водопоглощения, повышению механической прочности [15].



(а)



(б)



(в)

Рис. 2. Зависимости основных физико-механических свойств от температуры:

(а) – прочности при сжатии;

(б) – водопоглощения; (в) – пористости

Выводы. Введение тонкомолотого стеклосило повлияло на свойства в лучшую сторону. Происходит более плотное спекание, так как стекло действует, как плавень и способствует увеличению жидкой фазы.

По распоряжению Окружной администрации города Якутска с 1 февраля 2018 года организован отдельный сбор отходов, где также

включен сбор стекла. Добавляли бой тарного стекла. Таким образом, использование стеклобоя сократит количество твердых отходов, что имеет значение для окружающей среды.

В ходе исследования пришли к выводу, что при добавлении 15% тонкомолотого стеклобоя, при обжиге 1100 °С позволяет получить кирпич марки М200, соответствующий требованиям ГОСТа 530-2012 характерный для лицевого кирпича, что может способствовать применению в отделочных работах.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Софронов А.Ф., Колодезников К.Е., Уаров В.Ф. Полезные ископаемые Сунтарского района и перспективы их промышленного освоения. Якутск: ЯФ ГУ «Изд-во СО РАН», 2004. 143 с.
2. Буренина О.Н., Андреева А.В., Саввинова М.Е. Сырьевая база производства строительных материалов в Республике Саха (Якутия) // Инновации в науке. 2017. №5. С. 69–72.
3. Стратегия развития промышленности строительных материалов республики Саха (Якутия) на период до 2020 года // Доклад министерства архитектуры и строительного комплекса Республики Саха (Якутия). 2012. 43 с.
4. Местников А.Е., Егорова А.Д., Абрамова П.С. Сырьевые ресурсы для производства строительных материалов // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2012. №2. С. 39–41.
5. Осорова Р.С., Колесов М.В., Михайлов Д.А. Строительная керамика из сырья Якутии с модифицирующими добавками // Энергия молодых – строительному комплексу: сб. материалов конф. XI Всероссийской научно-техн. конф., (г. Братск, 19-21 мая 2017 г.). Братск: изд-во БрГУ, 2017. С. 81–84.
6. Егорова А.Д., Осорова Р.С., Слепцова Л.С. Актуальность организации производства керамического кирпича в Якутии // Современные проблемы строительства и жизнеобеспечения: безопасность, качество, энерго- и ресурсосбережение: сб. материалов конф. II Всероссийской научно-практич. конф., (г. Якутск, 27-28 октября 2014 г.). Киров: изд-во МЦНИП, 2014. С. 112–114.
7. Егорова А.Д., Потапова А.Ю., Сутакова Э.М. Применение керамического кирпича для строительства в Якутске // Промышленное и гражданское строительство. 2016. №8. С. 17–21.
8. Егорова А.Д., Колесов М.В., Михайлов Д.А. Строительная керамика из сырья Якутии, модифицированная стеклобоем // Фундаментальные основы строительного материаловедения: сб. докладов Междун. онлайн-конгресса, (г. Белгород, 06-11 октября 2017 г.). Белгород: изд-во БГТУ, 2017. С. 975–980.
9. Солопов С.В. Лицевой керамический кирпич на основе низкосортного глинистого сырья: Автореф. дис. на соиск. учен. степ. канд. техн. наук. Орел, 2010. 34 с.
10. Кара-Сал Б.К., Бичо-Ол Н.М. Повышение качества кирпича комбинированием составов глинистых пород // Строительные материалы. 2006. №2. С. 54–55.
11. Осорова Р.С., Колесов М.В., Егорова А.Д. Оптимизация строительно-эксплуатационных характеристик керамического кирпича из сырья Якутии // Современные проблемы строительства и жизнеобеспечения: безопасность, качество, энерго- и ресурсосбережение: сб. материалов конф. IV Всероссийской научно-практич. конф., (г. Якутск, 27-28 октября 2016 г.). Киров: изд-во МЦНИП, 2016. С. 78–82.
12. Борисов Н.Н., Кочнев Н.Н. Объяснительная записка к обзорной карте месторождений строительных материалов Якутской АССР масштаба 1:2500000. В 2-х томах. Том I. М.: Союзгеолфонд, 1988. 421 с.
13. Мелконян Р.Г. Стеклобой: необходимо наращивать объемы утилизации // Стекло мира. 1998. №4. С. 23–25.
14. Moore H. Glass container technology. // Glass Industry. 1983. №2. Pp. 14–17.
15. Чупрова Л.В. Отходы производства и потребления стекла как сырье для получения качественной продукции // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2016. № 12-4. С. 640–644.

Информация об авторах

Трепалина Юлия Николаевна, кандидат технических наук, доцент кафедры технологии стекла и керамики. E-mail: yulialin@mail.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Кириллова Наталья Константиновна, аспирант кафедры технологии стекла и керамики. E-mail: kirillova_nk@edu.bstu.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Поступила в февраль 2019 г.

© Трепалина Ю.Н., Кириллова Н.К., 2019

¹Trepalina Y.N., ^{1,*}Kirillova N.K.¹Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov
Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

*E-mail: kirillova_nk@edu.bstu.ru

CERAMIC BRICK FROM YAKUTIA RAW MATERIALS
WITH THE ADDITION OF GROUND CULLET

Abstract. For centuries, ceramic brick is the main building material in the construction of low-rise residential buildings and utility rooms. In addition, durability, high artistic features and the absence of toxicity characterize building ceramics. The volumes of construction in the Republic of Sakha (Yakutia) and the demand for bricks are increasing every year. Ceramic brick imported from outside the republic is used in the construction of facilities in Yakutsk. The Republic of Sakha possesses a good raw material base of clay and loam for the production of ceramic products. The study of basic properties of clay raw materials for obtaining a quality product is of particular importance. The results of studies on the use of raw materials from the Sannikovskoye clay deposit located in the Republic of Sakha (Yakutia) for the further production of ceramic bricks are presented. The chemical and mineralogical compositions of the clay raw materials are determined. Compositions of ceramic masses with the addition of waste cullet in different percentages are designed to reduce the amount of solid waste. The cullet used is tare and transparent. The technological and basic physicommechanical properties of the obtained samples are investigated.

Keywords: ceramic brick, clay raw materials, Yakutia deposit, chemical composition, mineralogical composition, ceramic mass, finely ground cullet.

REFERENCES

1. Sofronov A.F., Kolodeznikov K.E., Uarov V.F. Mineral resources of Suntarsky district and prospects for their industrial development [*Poleznye iskopaemye Suntarskogo rajona i perspektivy ih promyshlennogo osvoeniya*]. Yakutsk: Nuclear Physics Institute, Publishing House of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, 2004. 143 p. (rus)
2. Burenina O.N., Andreeva A.V., Savvinova M.E. The raw material base for the production of building materials in the Republic of Sakha (Yakutia) [*Syr'evaya baza proizvodstva stroitel'nykh materialov v Respublike Saha (Yakutiya)*]. Innovations in science. 2017. No. 5. Pp. 69–72. (rus)
3. The development strategy of the building materials industry of the Republic of Sakha (Yakutia) for the period up to 2020. [*Strategiya razvitiya promyshlennosti stroitel'nykh materialov respubliky Saha (Yakutiya) na period do 2020 goda*] Doklad ministerstva arhitektury i stroitel'nogo kompleksa Respubliki Saha (Yakutiya), 2012, 43 p. (rus)
4. Mestnikov A.E., Egorova A.D., Abramova P.S. Raw materials for the production of building materials [*Syr'evye resursy dlya proizvodstva stroitel'nykh materialov*]. International Journal of Applied and Fundamental Research, 2012. No. 2. Pp. 39–41. (rus)
5. Osorova R.S., Kolesov M.V., Mikhailov D.A. Building ceramics from raw materials of Yakutia with modifying additives [*Stroitel'naya keramika iz syr'ya Yakutii s modifiziruyushchimi dobavkami*] Energiya molodykh – stroitel'nomu kompleksu: sb. materialov konf. XI Vserossiyskoj nauchno-tekhn. konf., (g. Bratsk, 19-21 maya 2017 g.). Bratsk: publishing house of BrSU, 2017. Pp.81–84 (rus).
6. Egorova A.D., Osorova R.S., Sleptsova L.S. The relevance of the organization of the production of ceramic bricks in Yakutia [*Aktual'nost' organizatsii proizvodstva keramicheskogo kirpicha v Yakutii*]. Sovremennye problemy stroitel'stva i zhizneobespecheniya: bezopasnost', kachestvo, ehnergo- i resursosberezhenie: sb. materialov konf. II Vserossiyskoj nauchno-praktich. konf., (g. Yakutsk, 27-28 oktyabrya 2014 g.) Kirov: publishing house MCNIP, 2014, Pp. 112–114. (rus)
7. Egorova A.D., Potapova A.Yu., Sutakova E.M. The use of ceramic bricks for construction in Yakutsk [*Primenenie keramicheskogo kirpicha dlya stroitel'stva v Yakutske*]. Industrial and civil construction. 2016. No. 8. Pp. 17–21. (rus)
8. Egorova A.D., Kolesov M.V., Mikhailov D.A. Building ceramics from raw materials of Yakutia, modified by cullet [*Stroitel'naya keramika iz syr'ya Yakutii, modifizirovannaya stekloboem*] Fundamental'nye osnovy stroitel'nogo materialovedeniya: sb. dokladov Mezhdun. onlajnkongressa., (g. Belgorod, 06-11 oktyabrya 2017 g.). Belgorod: BSTU publishing house. V.G. Shukhov, 2017. Pp. 975–980. (rus)
9. Solopov S.V. Facing ceramic brick on the basis of low-grade clay raw materials [*Licevoj keramicheskij kirpich na osnove nizkosortnogo glinistogo syr'ya*]: author. dis. on the competition scholarly step. Cand. tech. Sciences. Orel, 2010. 34 p. (rus)
10. Kara-Sal B.K., Bicho-Ol N.M. Improving the quality of bricks by combining the compositions

of clay rocks [*Povyshenie kachestva kirpicha kombinirovaniem sostavov glinistyh porod*]. Construction materials. 2006. No. 2. Pp. 54–55. (rus)

11. Osorova R.S., Kolesov M.V., Egorova A.D. Optimization of construction and operational characteristics of ceramic bricks from raw materials of Yakutia [*Optimizaciya stroitel'no-ehkspluatacionnyh harakteristik keramicheskogo kirpicha iz syr'ya Yakutii*]. Sovremennye problemy stroitel'stva i zhizneobespecheniya: bezopasnost', kachestvo, ehnergo- i resursoberezhenie sb. materialov konf. IV Vserossijskoj nauchno-praktich. konf., (g. YAkutsk, 27-28 oktyabrya 2016 g.). Kirov: publishing house MCNIP, 2016. Pp. 78–82. (rus)

12. Borisov N.N., Kochnev N.N. Explanatory note to the overview map of the construction materials fields of the Yakut ASSR on a scale of 1:

2500000 [*Ob'yasnitel'naya zapiska k obzornoj karte mestorozhdenij stroitel'nyh materialov Yakutskoj ASSR masshtaba 1:2500000*]. In 2 volumes. Vol. I. M.: Soyu zgeolfond, 1988. 421 p. (rus)

13. Melkonyan R.G. Cullet: it is necessary to increase recycling volumes [*Stekloboj: neobhodimo narashchivat' ob'emny utilizacii*]. Glass of the world. 1998. No. 4. Pp. 23–25. (rus)

14. Moore H. Glass container technology. Glass Industry. 1983. No. 2. Pp. 14–17.

15. Chuprova L.V. Wastes from the production and consumption of glass as a raw material for obtaining quality products [*Othody proizvodstva i potrebleniya stekla kak syr'e dlya polucheniya kachestvennoj produkcii*]. International Journal of Applied and Fundamental Research. 2016. No. 12–4. Pp. 640–644. (rus)

Information about the author

Trepalina, Yuliya N. PhD, Assistant professor. E-mail: ylialin@mail.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Kirillova, Natalya K. Postgraduate student. E-mail: kirillova_nk@edu.bstu.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Received in February 2019

Для цитирования:

Трепалина Ю.Н., Кириллова Н.К. Керамический кирпич из сырья якутии с добавлением тонкомолотого стеклобоя // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2019. № 4. С. 138–143. DOI: 10.34031/article_5cb1e65d798f87.83499465

For citation:

Trepalina Y.N., Kirillova N.K. Ceramic brick from yakutia raw materials with the addition of ground cullet. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2019. No. 4. Pp. 138–143. DOI: 10.34031/article_5cb1e65d798f87.83499465

МАШИНОСТРОЕНИЕ И МАШИНОВЕДЕНИЕ

DOI: 10.34031/article_5cb1e65b635e41.79569989

^{1,*}Хуртасенко В.А., ¹Шрубченко И.В.¹Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова
Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46

*E-mail: kament31@mail.ru

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ ПАРАМЕТРОВ ОБРАБОТКИ ПОВЕРХНОСТЕЙ КАЧЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ АГРЕГАТОВ МОБИЛЬНЫМ ОБОРУДОВАНИЕМ

Аннотация. Восстановительная обработка крупногабаритных деталей вращающихся технологических агрегатов, к которым относятся бандажи и ролики обжиговых печей, в настоящее время выполняется с использованием встраиваемых станочных модулей. При этом периодическая обработка ведется в процессе работы агрегата без его остановки. Такая обработка требует особых технических и технологических подходов. Это связано не только с большими габаритами самих деталей, но и с непостоянством положения оси вращающейся детали, установленной на два опорных ролика и имеющей погрешность формы в поперечном сечении. Используемые технологии характеризуются недостаточной изученностью процесса формирования поверхности при механической обработке и произвольно задаваемыми режимами обработки. Актуальной задачей является разработка методик для поиска рациональных режимов, при которых будет обеспечиваться требуемая точность и производительность обработки. Особое место при этом занимают вопросы моделирования обработки для поиска оптимальных технологических режимов с учетом технических и физико-механических особенностей процесса. Разработка адекватных математических моделей при этом требует глубокого анализа функциональных особенностей оборудования и технологических особенностей процесса. Установлено, что для оптимизации режимов обработки необходимо ввести ряд ограничений, связанных с инструментом, приводом подачи, жесткостью технологической системы, качеством обработки. При этом в качестве целевой функции используется производительность обработки, а в качестве варьируемых параметров глубина и подача.

Ключевые слова: моделирование обработки, крупногабаритные детали, мобильное оборудование, технологические параметры, оптимизация.

Введение. В современной индустрии применяются вращающиеся технологические агрегаты, непрерывного производственного цикла. К таким агрегатам относятся вращающиеся печи. Они используются в цементной, металлургической, силикатной и химической, сахарной и пищевой промышленности, а также для утилизации отходов [1, 2]. В конструкциях вращающихся печей особое внимание уделяется прямолинейности оси вращения, настройка которой во многом зависит от точности формы деталей опор – бандажей и опорных роликов [3]. Так как в процессе эксплуатации вследствие высоких динамических и термических нагрузок происходит потеря точности формы как корпуса печи [4], так и поверхностей качения деталей опор, то возникает необходимость их периодической обработки с целью восстановления требуемой точности. В настоящее время для периодической обработки поверхностей качения в технологических агрегатах по производству строительных материалов, таких как сушильные барабаны,

вращающиеся печи и т.п., широко применяют технологии с использованием мобильного оборудования. Это позволяет восстановить их форму без остановки основного производственного процесса, что существенно влияет на технологичность процесса. При реализации известных схем обработки с использованием существующих образцов оборудования [5, 6, 7, 8, 9] глубина резания обеспечивается настройкой вылета режущего инструмента. Однако данный технологический параметр на различных участках обрабатываемой поверхности может существенно отличаться даже в процессе выполнения одного рабочего хода. В силу таких особенностей используемые технологические процессы, основанные на применении как лезвийной, так и абразивной обработки, не всегда позволяют обеспечивать требуемую точность поверхностей, особенно на поверхностях качения бандажей. Основной причиной здесь является недостаточная изученность процесса формирования поверхностей при обработке и произвольно зада-

ваемые режимы обработки. С учетом этого актуальной задачей является разработка методик поиска рациональных режимов, при которых будет обеспечиваться требуемая точность и производительность обработки. Наиболее применяемым видом мобильного оборудования для лезвийной обработки поверхностей качения бандажей и опорных роликов, является универсальный встраиваемый станок УВС-01М [9],

разработанный на кафедре технологии машиностроения Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова, элементы конструкции которого защищены патентами [5, 6].

Станок имеет опорные стойки, в которые установлена направляющая, несущая продольный и поперечный суппорта и оснащается приводом продольных подач (рис. 1).

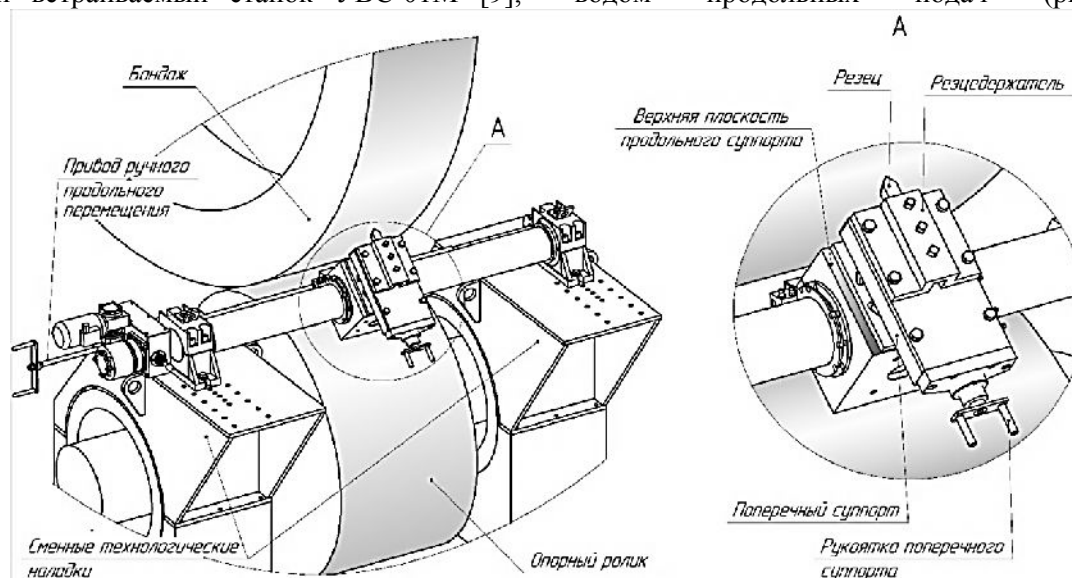


Рис. 1. Универсальный встраиваемый станок УВС-01М

Для установки станка на различные конструкции восстанавливаемых опор, применяют сменные технологические накладки, соответствующие конструктивным особенностям этих опор (рис. 2), и как бы встраивается в саму конструкцию опоры.

Наличие таких сменных технологических наладок позволяет обеспечить возможность применения станка модели УВС-01М на различных типоразмерах опор восстанавливаемых агрегатов, обеспечивая тем самым его универсальность.

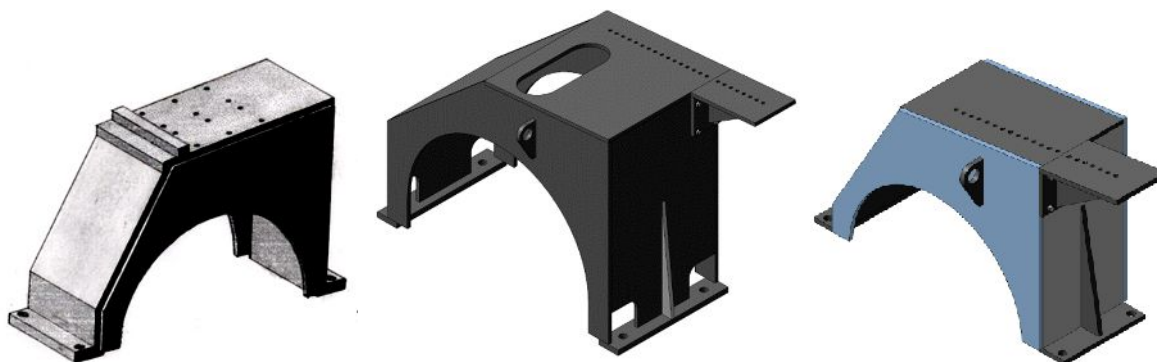


Рис. 2. Конструкции сменных технологических наладок для установки станка на корпуса подшипников

Основная часть. Использование такого технологического подхода с использованием мобильных станочных модулей и специальной технологической оснастки позволяет выполнить восстановительную обработку бандажей и роликом практически всех типоразмеров существующих опор. Однако, следует отметить, что различные технологические агрегаты имея широкий спектр типоразмеров, могут осуществлять еще и вращение с различной частотой. Так как

основным движением для условий обработки поверхностей качения будет являться вращение самого агрегата, то очевидно, и линейная скорость на различных типоразмерах агрегатов окажется различной. Например, для ряда типоразмеров вращающихся печей, линейная скорость вращения, а, следовательно, и скорость резания, будет иметь следующие значения: $V = 11,62; 12,25; 13,53; 15,23; 17,17; 19,15; 21,35; 26,53$ м/мин. Процесс обработки поверхностей, с

учетом их размеров и небольших скоростей, требует значительных затрат времени. Поэтому в качестве целевой функции следует выбрать производительность обработки. А в качестве варьируемых параметров: глубину резания и подачу. Для условий оптимизации режимов обработки поверхностей качения следует ввести ряд технических ограничений: по стойкости режущего инструмента; по допустимой силе резания, определяемой тяговой силой привода подачи; по минимальной и максимальной величине продольной подачи по характеристике привода подачи; по минимальной и максимальной величине снимаемого за рабочий ход припуска, определяемого условиями формообразования для бесцентровой схемы обработки бандажа; по минимальной и максимальной величине снимаемого за один рабочий ход припуска, определяющего точность обрабатываемой поверхности в продольном сечении; по допустимой прочности режущего инструмента; по жесткости режущего инструмента; по прочности механизма подачи; по допустимой шероховатости обрабатываемой поверхности. Далее приведены обоснования и расчетные зависимости для рассматриваемых ограничений.

Ограничение по требуемой стойкости инструмента. Связь варьируемых параметров с периодом стойкости инструмента, можно получить из следующей зависимости [10]:

$$V = \frac{C_v}{T^m \cdot t^{x_v} \cdot s^{y_v}} \cdot k_v, \quad (1)$$

где $C_v = 340$, $K_v = 0,83$, $x_v = 0,15$, $y_v = 0,45$, $m = 0,2$ – табличные значения для условий наружного продольного точения инструментом, оснащаемым твердосплавной пластиной; T – требуемый период стойкости инструмента, мин.

Табличное значение периода стойкости, при скорости резания – 150 м/мин, для токарных резцов составляет 60 мин. При таких условиях, путь резания составит – 9000 м. Для условий обработки бандажей и роликов мобильным оборудованием, при скорости резания – 20 м/мин, чтобы резец прошел путь резания – 9000 м, потребуется 450 мин. С учетом преобразований, получаем техническое ограничение в виде:

$$t^{x_v} \cdot s^{y_v} \leq \frac{C_v \cdot k_v}{T^m \cdot V} \quad (2)$$

Логарифмируя это выражение получим:

$$x_v \cdot \ln(t) + y_v \cdot \ln(s) \leq \ln\left(\frac{C_v \cdot k_v}{T^m \cdot V}\right) \quad (3)$$

И, приняв $\ln(t) = x_1$, $\ln(s) = x_2$, $\ln\left(\frac{C_v \cdot k_v}{T^m \cdot V}\right) = b_1$, получаем техническое ограничение, приведенное к линейному виду:

$$x_v \cdot x_1 + y_v \cdot x_2 \leq b_1 \quad (4)$$

Ограничение по допустимой силе резания, определяемой тяговой силой привода подачи. Для установления связи допустимой тяговой силы с варьируемыми параметрами, воспользуемся следующей зависимостью [10]:

$$P_x = 10 \cdot C_x \cdot t^{x_x} \cdot s^{y_x} \cdot V^{n_x} \cdot k_p, \quad (5)$$

где $C_x = 339$, $k_p = 0,74$, $x_x = 1$, $y_x = 0,5$, $n_x = -0,4$ – табличные значения коэффициентов, для условий обработки поверхностей качения.

После преобразований и логарифмирования, получаем:

$$x_x \cdot \ln(t) + y_x \cdot \ln(s) \leq \ln\left(\frac{P_x}{10 \cdot C_x \cdot V^{n_x} \cdot k_p}\right) \quad (6)$$

Производя соответствующие замены, получаем:

$$x_x \cdot x_1 + y_x \cdot x_2 \leq b_2 \quad (7)$$

Ограничение по минимальной и максимальной величине продольной подачи зависящее от характеристик привода подачи. Это ограничение будет определяться характеристиками самого привода продольных подач, т.е.

$$x_2 \leq b_3, \quad x_2 \geq b_4 \quad (8)$$

Ограничение по минимальной и максимальной величине припуска, снимаемого за рабочий ход, определяемого условиями формообразования для бесцентровой схемы обработки поверхностей качения бандажей, глубина резания будет оказывать существенное влияние на процесс формообразования [11]. При неправильном задании величины снимаемого припуска, возможно даже дальнейшее искажения профиля, а не его исправление. Поэтому на каждый рабочий ход должна задаваться требуемая величина снимаемого припуска, которую мы можем получить по результатам предварительного моделирования процесса формообразования. Такое ограничение по минимальной и максимальной величине припуска, мы можем задать так же в виде двух неравенств:

$$x_1 \leq b_5, \quad x_1 \leq b_6 \quad (9)$$

Ограничение по максимально допустимой величине припуска, снимаемого за один рабочий ход, определяющего точность обрабатываемой поверхности в продольном сечении будет также зависеть от величины отжаты в технологической системе. Для условий технологической системы с применением мобильного оборудования, максимальное влияние на величину отжаты, будет оказывать жесткость элементов самого применяемого станка. Таким образом, для определения максимальной и минимальной глу-

бины резания и подачи, которые обеспечат точность формы в продольном сечении, в пределах допусков, мы можем применить предварительное моделирование напряженно деформированного состояния элементов технологической системы с применением метода конечных элементов в САЕ приложениях [12].

Ограничение по минимально и максимально допустимой величине подачи, определяемой характеристиками привода продольных подач станка УВС-01. Данное ограничение также можно представить в виде двух неравенств:

$$x_2 \leq b_7, \quad x_2 \leq b_8 \quad (10)$$

Ограничение по прочности режущего инструмента. Это ограничение мы можем получить из зависимости по определению предела прочности материала державки резца, на изгиб:

$$\sigma_u \geq \frac{M_{изг.} \cdot k_{з.н.}}{W}, \quad (11)$$

где $M_{изг.}$ – величина изгибающего момента при вылете резца – $l_{в.р.} = 150$ мм, $M_{изг.} = P_z \cdot l_{в.р.}$; $k_{з.н.} = 2,4$ – коэффициент запаса прочности; W – момент сопротивления державки резца, мм³ (для прямоугольного сечения державки резца, шириной $B_o = 25$ мм и высотой $H_o = 40$ мм, $W = \frac{B_o \cdot H_o^2}{6}$). После соответствующих подстановок и преобразований, получаем:

$$t^{x_z} \cdot s^{y_z} \leq \frac{240 \cdot B_o \cdot H_o^2}{60 \cdot C_z \cdot V^{n_z} \cdot k_z \cdot l_{в.р.} \cdot k_{з.н.}} \quad (12)$$

Логарифмируя и производя соответствующие замены, получаем следующее техническое ограничение:

$$x_z \cdot x_1 + y_z \cdot x_2 \leq b_9 \quad (13)$$

Ограничение по жесткости инструмента. Это ограничение устанавливает взаимосвязь между глубиной резания, подачей и жесткостью режущего инструмента. Максимальная нагрузка, допускаемая жесткостью резца, может быть определена по известной зависимости [13]:

$$P_{ж.дон.} = \frac{3 \cdot f \cdot E \cdot I_M}{l_{в.р.}^3}, \quad (13)$$

где $f = 0,1$ мм – допустимая стрела прогиба для чернового точения, мм; $E = (2 \dots 2,5) \cdot 10^5$ МПа; I – момент инерции сечения державки резца, мм⁴ (для прямоугольного сечения державки шириной $B_o = 25$ мм и высотой $H_o = 40$ мм $I = \frac{B_o \cdot H_o^3}{12}$).

Из условия соотношения окружной составляющей P_z и максимальной нагрузки, допускаемой жесткостью резца, имеем:

$$P_z \leq P_{ж.дон.}, \quad (14)$$

$$t^{x_z} \cdot s^{y_z} \leq \frac{3 \cdot f \cdot E \cdot B_o \cdot H_o^3}{120 \cdot C_z \cdot V^{n_z} \cdot k_z \cdot l_{в.р.}^3}, \quad (15)$$

$$x_z \cdot x_1 + y_z \cdot x_2 \leq b_{10} \quad (16)$$

Ограничение по допустимой шероховатости поверхности. Это ограничение устанавливает взаимосвязь между варьируемыми параметрами и шероховатостью поверхности [10]. Ожидаемую шероховатость поверхности мы можем вычислить по следующей зависимости:

$$Ra = \frac{0,85 \cdot t^{0,31} \cdot s^{0,58} \cdot \varphi^{0,4} \cdot \varphi_1^{0,4}}{V^{0,06} \cdot r^{0,65} \cdot HB^{0,05}}, \quad (17)$$

где $\varphi = 45^\circ$, $\varphi_1 = 45^\circ$, $r = 2$ мм – параметры геометрии режущей части инструмента; $HB = 145$ – твердость обрабатываемой поверхности.

После соответствующих преобразований выражения, с учетом обеспечения требуемого параметра шероховатости, получаем:

$$t^{0,31} \cdot s^{0,58} = \frac{Ra \cdot V^{0,06} \cdot r^{0,65} \cdot HB^{0,05}}{0,85 \cdot \varphi^{0,4} \cdot \varphi_1^{0,4}} \quad (18)$$

После соответствующей замены, получим:

$$0,31 \cdot x_1 + 0,58 \cdot x_2 \leq b_{11} \quad (19)$$

Представление полученных ограничений в виде системы неравенств, в совокупности с оценочной функцией, дает математическую модель процесса лезвийной обработки бандажей и роликов вращающихся печей.

$$\left\{ \begin{array}{l} x_v \cdot x_1 + y_v \cdot x_2 \leq b_1 \\ x_x \cdot x_1 + y_x \cdot x_2 \leq b_2 \\ x_2 \leq b_3 \\ x_2 \geq b_4 \\ x_2 \geq b_5 \\ x_2 \geq b_6 \\ x_2 \geq b_7 \\ x_2 \geq b_8 \\ x_z \cdot x_1 + y_z \cdot x_2 \leq b_9 \\ x_z \cdot x_1 + y_z \cdot x_2 \leq b_{10} \\ k_4 \cdot x_1 + k_3 \cdot x_2 \leq b_{11} \\ f_o = (x_1 + x_2)_{\max} \end{array} \right. \quad (20)$$

Задача определения оптимальных параметров технологической системы сводится к отысканию среди всех возможных неотрицательных значений x_1 и x_2 системы таких значений

x_{1onm} и x_{2onm} , при которых линейная функция принимает максимальное значение (f_{0max}). После определения координат x_{1onm} и x_{2onm} можно вычислить и оптимальные значения варьируемых параметров:

$$t_{onm} = e^{x_{1onm}}, (21)$$

$$s_{onm} = e^{x_{2onm}} (22)$$

Выводы: Полученная модель, позволяет определять оптимальные значения технологических параметров для условий бесцентровой лезвийной обработки крупногабаритных деталей, базирующихся на два опорных ролика непосредственно на работающих агрегатах, на основе применения встраиваемых станочных модулей. Используемые в модели зависимости учитывают основные значимые факторы, которые будут оказывать наиболее существенное влияние на качество поверхности для рассматриваемых условий обработки. Применение такой модели возможно, как на этапе проектирования элементов обрабатывающего оборудования и технологической оснастки, так и на этапе реализации восстановительной обработки для настройки технологических параметров оборудования и управления технологическими режимами при многопроходной обработке. Принципиальный подход к построению модели позволяет адаптировать её также для условий других видов обработки резанием, например, для шлифования, применяемого на чистовых операциях 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. Boateng A.A. Rotary Kilns. Elsevier Inc. Publ., 2015, 390 p.
3. Mogilny S., Sholomitskii A. Precision Analysis of Geometric Parameters for Rotating Machines during Cold Alignmen // Procedia Engineering. Vol. 206. 2017. Pp. 1709–1715.
4. 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.

5. Шрубченко И.В., Мурыгина Л.В., Рыбалко В.Ю. Станок для обработки бандажей. Пат. № 125499, Российская Федерация, опубл. 10.03.2013.
6. Санин С.Н., Бондаренко В.Н., Погонин А.А. Следящий суппорт. Пат. № 58420, Российская Федерация, МПК В23Q1/76 (2006.01). опубл. 27.11.2006.
7. Шрубченко И.В., Мурыгина Л.В., Рыбалко В.Ю., Черняев А.С. Станок для обработки бандажей и роликов. Пат. № 118235, Российская Федерация, МПК В23В 5/00 (2006.01), опубл. 20.07.2012.
8. 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.
9. Универсальный встраиваемый станок УВС-01 / Федеральный каталог высокотехнологичного оборудования и объектов научного потенциала России. [Электронный ресурс]. Режим доступа: URL: <https://каталог-нп.рф/project/281>.
10. Справочник технолога-машиностроителя. В 2-х т. Т. 1. Под ред. А.М. Дальского, А.Г. Косиловой, Р.К. Мещерякова, А.Г. Суслова. 5-е изд., перераб. и доп. М.: Машиностроение-1, 2001. 912 с.
11. Тимофеев С.П., Хуртасенко В.А., Шрубченко И.В. Расчет глубины резания при обработке поверхностей крупногабаритных деталей с нестационарной осью вращения // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2018. № 2. С. 68–74.
12. Гончаров М.С., Шрубченко И.В., Мурыгина Л.В., Щетинин Н.А. Моделирование технологической системы мобильного оборудования // Научные чтения (XXI Научные чтения): Междунар. науч.-практ. конф., (Белгород, 9–10 октября 2014 г.) Изд-во БГТУ, 2014, Ч.4. С. 223–228
13. Справочник конструктора-инструментальщика: Под общ. ред. В.И. Баранчикова. М.: Машиностроение, 1994. 560 с.

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 Владислав Андреевич, аспирант кафедры технологии машиностроения. E-mail: kament31@mail.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Поступила в феврале 2019 г.

© Хуртасенко В.А., Шрубченко И.В., 2019

^{1,*}**Khurtasenko V.A., ¹Shrubchenko I.V.**

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

Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

*E-mail: kament31@mail.ru

MATHEMATICAL MODEL FOR OPTIMIZATION OF PROCESSING PARAMETERS OF ROLLING SURFACE OF TECHNOLOGICAL UNITS BY MOBILE EQUIPMENT

Abstract. Restorative processing of large-sized parts of rotating technological units, which include bandages and kiln rollers, is currently performed using embedded machine modules. At the same time, periodic processing is carried out during the operation of the unit without stopping. This processing requires special technical and technological approaches. This is due to the large dimensions of the parts and the inconstancy of the position of the axis of the rotating part, installed on two support rollers and having an error in shape in cross section. The technologies used are characterized by insufficient study of surface formation process during machining and arbitrarily set processing modes. An urgent task is to develop methods for finding rational modes in which the required accuracy and processing performance will be provided. A special place is occupied by the issues of processing modeling to find the optimal technological modes, taking into account the technical and physico-mechanical features of the process. The development of adequate mathematical models requires a deep analysis of the functional features of the equipment and technological features of the process. It is established that for optimization of processing modes it is necessary to enter a number of restrictions related to the tool, the driving feed, the rigidity of technological system, the quality of processing. In this case, the processing capacity is used as the target function; the depth and feed are used as varied parameters.

Keywords: processing modeling, large-sized parts, mobile equipment, technological parameters, optimization.

REFERENCES

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. Boateng A.A. Rotary Kilns. Elsevier Inc. Publ., 2015, 390 p.

3. Mogilny S., Sholomitskii A. Precision Analysis of Geometric Parameters for Rotating Machines during Cold Alignment. Procedia Engineering. Vol. 206. 2017. Pp. 1709–1715.

4. 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.

5. Shrubchenko I.V., Murygina L.V., Rybalko V.U. The machine for processing of bandages. Patent RF, № 125499, 2013. (rus)

6. Sanin S.N., Bondarenko V.N., Pogonin A.A. The watching support. Patent RF, № 58420, 2006. (rus)

7. Shrubchenko I.V., Murygina L.V., Rybalko V.U., Chernyaev A.S. The machine for processing of bandages and rollers. Patent RF, № 118235, 2012. (rus)

8. Sanin S.N., Onikienko D.A. Development of the concept of a mobile stand for the mechanical processing of rotary kiln bands with basing on the end surface and the hole [Razrabotka koncepcii mo-

bil'nogo stenda dlya mekhanicheskoy obrabotki bandazhej vrashchayushchihsya pechej s bazirovaniem po torcовой poverhnosti i otverstiyu]. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2016. No. 2. Pp. 104–109. (rus)

9. Universal Embedded Machine UEM-01 / Federal catalog of high-tech equipment and objects of scientific potential of Russia [Universal'nyj vstraivaemyj stanok UVS-01 / Federal'nyj katalog vysokotekhnologichnogo oborudovaniya i ob"ektov nauchnogo potenciala Rossii]. Access mode: URL: <https://каталог-нп.рф/project/281>. (rus)

10. Reference technologist-mechanical engineer [Spravochnik tekhnologa-mashinostroitelya]. T. 1. Ed. A.M. Dalsky, A.G. Kosilova, R.K. Meshcheryakov, A.G. Suslov. Moscow: Mashinostroyeniye-1 Publ., 2001, 912 p. (rus).

11. Timofeev S.P., Khurtasenko V.A., Shrubchenko I.V. Calculation of the depth of cut when machining surfaces of large parts with non-stationary axis of rotation [Raschet glubiny rezaniya pri obrabotke poverhnostej krupnogabaritnykh detalej s nestacionarnoj os'yu vrashcheniya]. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2018. No. 2. Pp. 68–74. (rus)

12. Goncharov M.S., Shrubchenko I.V., Murygina L.V., Schetinin N.A. Simulation of the technological system of mobile equipment [Modelirovaniye tekhnologicheskoy sistemy mobil'nogo oborudovaniya]. Naukoemkie tekhnologii innovacii

(XXI Nauchnye chteniya): Mezhdunar. nauch.-prakt. konf., (Belgorod, 9–10 oktyabrya 2014 g.) Pp. 223–228. (rus)

13. Reference Tool Designer. Ed. V.I. Baranchikov [*Spravochnik konstruktora-instrumental'shchika*]. Moscow: Mashinostroyeniye Publ., 1994, 560 p. (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, Vladislav A. Postgraduate student. E-mail: kament31@mail.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Received in February 2019

Для цитирования:

Хуртасенко В.А., Шрубченко И.В. Математическая модель для оптимизации параметров обработки поверхностей качения технологических агрегатов мобильным оборудованием // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2019. № 4. С. 144–150. DOI: 10.34031/article_5cb1e65b635e41.79569989

For citation:

Khurtasenko V.A., Shrubchenko I.V. Mathematical model for optimization of processing parameters of rolling surface of technological units by mobile equipment. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2019. No. 4. Pp. 144–150. DOI: 10.34031/article_5cb1e65b635e41.79569989

DOI: 10.34031/article_5cb1e65b01af79.09622645

¹Кайтуков Б.А., ¹*Скель В.И., ¹Горайнова П.О.¹Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет
Россия, 129337, Москва, ул. Ярославское шоссе, д. 26.

*E-mail: SkelVI@mgsu.ru

РАЗРАБОТКА УНИФИЦИРОВАННЫХ МЕХАНИЗМОВ ПРИВОДА БЕТОНОСМЕСИТЕЛЕЙ ПРИНУДИТЕЛЬНОГО ДЕЙСТВИЯ

Аннотация. Рассмотрена проблема выбора рационального ряда механизмов привода бетоносмесителей принудительного действия на базе унификации. Проведен анализ методик унификации различных систем, представленный последовательностью логических шагов, обеспечивающий рациональный подход к созданию перспективных конструкций и повышению технического уровня смесителей. Предложенная методика унификации механизмов роторных бетоносмесителей позволяет разработать новые производительные, энергосберегающие смесители с надежными механизмами привода рабочих органов. Описан процесс перемешивания в роторных смесителях, отличающиеся особенностью конструкции и режима работы рабочего органа, что позволило выбрать оптимальный скоростной режим работы. Анализ конструкции зарубежных перспективных роторных бетоносмесителей с планетарными механизмами привода, позволил предложить в качестве привода унифицированный модульный планетарный редуктор, позволяющий оптимально компоновать конструкцию бетоносмесителя, снизить массу, затраты на ТО и ремонт, за счет повышения качества изготовления и надежности работы.

Ключевые слова: бетоносмеситель принудительного действия, унификация, ротор, лопастной аппарат, блок-модуль, планетарный редуктор, специализация.

Введение. Приготовление качественных бетонов со свойствами, отвечающими требованиям потребителей, можно, используя надежное оборудование при перемешивании смесей. Совершенствование технологии приготовления прогрессивных бетонов предполагает интенсификацию рабочих процессов перемешивания компонентов смеси. В этой связи, разработка нового производительного, энергосберегающего смесительного оборудования с надежными механизмами привода их рабочих органов на основе передовых методов проектирования и изготовления является актуальной задачей. Конструктивные решения, которые были заложены ранее при разработке бетоносмесителей принудительного действия, наряду с положительным эффектом, на многие годы обусловили сохранение серьезных недостатков. Комплекующие элементы некоторых бетоносмесителей производились на специализированных заводах, но большинство деталей и узлов изготавливалось на старом оборудовании самими заводами, производящими смесители. Редукторы, которые выпускались на специализированных заводах, не удовлетворяли техническим требованиям проектировщиков. Они выпускались как законченные агрегаты, что лишало конструкторов возможности рационально учесть особенности создаваемой конструкции. Система редукторов общемашиностроительного производства состояла из рядов, построенных по принципу геометрической прогрессии, что не учитывает

различную плотность потребности редукторов по ряду.

Методология. Анализ рынка бетоносмесителей позволяет утверждать, что рациональное и эффективное решение вопросов унификации деталей и механизмов бетоносмесителей принудительного действия остается актуальным [1–5].

Под унификацией в технике понимают приведение разных видов, средств и продукции к наименьшему числу типоразмеров, форм и марок. При разработке унифицированных механизмов бетоносмесителей необходимо реализовать следующие задачи: обосновать необходимость производства требуемых типоразмеров смесителей; установить зависимость качества смесей от конструктивных параметров; создать унифицированные и надежные механизмы привода для рабочих органов смесителей на основе планетарных модулей. Анализ различных источников показал, что конструкции бетоносмесителей классифицируют по признакам: режиму работы и принципу смешивания компонентов. По принципу смешивания различают бетоносмесители принудительного действия, часто их называют роторными и гравитационные [1–9].

Процесс перемешивания в роторных смесителях отличается от процессов, происходящих в других смесителях. В этих смесителях орбиты составляющих отличаются вынужденным характером, обусловленным движением лопастей; чем больше частиц вовлекается в

движение, тем интенсивнее и процесс смешивания. В процессе смешивания преодолевается сила тяжести, кроме этого на частицы действуют силы инерции, силы внутреннего и внешнего трения.

К преимуществам бетоносмесителей роторного типа можно отнести активность процесса, а к недостаткам – энергоёмкость и ограниченное применение крупных заполнителей. Исследования по отечественным и зарубежным роторным бетоносмесителям с объемом загрузки от 100 до 3000 л, позволили установить скорости движения роторов отечественных смесителей в пределах от 1,4 до 3,6 м/с, а зарубежных от 1,8 до 3,5 м/с.

Лидерами по числу фирм и разнообразию выпуска бетоносмесителей роторного типа являются Германия, Италия, Китай, Швеция и Россия. Причем Россия в этом ряду занимает отдельную нишу.

В табл. 1 приведены технические характеристики бетоносмесителей принудительного действия, выпускаемые в России [1–11].

Эти бетоносмесители имеют оптимальные параметры в части размеров рабочих органов, схем лопастного аппарата и скорости движения ротора. По стандартам можно установить основные параметры смесителей и их ряды, причем в них регламентированы: объем, масса, мощность, но не оговорены скорости движения ротора.

Таблица 1

Характеристики бетоносмесителей принудительного действия

Технические характеристики	Марка бетоносмесителя					
	СБ-80	СБ-141	СБ-146	СБ-152	СБ-138	СБ-138А
Емкость смесительной чаши по загрузке, л	250	300	750	1000	1500	1500
Объем готового замеса, л	165	250	500	750	1000	1000
Количество циклов работы в час	40	40	40	40	40	40
Угловая скорость смесительного устройства, мин ⁻¹	31	27	32	15	20	20
Мощность электродвигателя, кВт	5,5	11	22	15	37	37
Угловая скорость ротора электродвигателя, мин ⁻¹	1440	1500	1520	975	1460	980
Внутренний диаметр чаши, мм	1400	1350	2200	2200	2600	2600
Скорость движения ротора, м/с	2,28	1,92	3,6	1,7	2,7	2,7

Задача определения оптимальной скорости вращения ротора решена в работах [10, 11]. Некоторые бетоносмесители комплектуются элементами иностранного производства. Рассмотрев кинематические схемы установили, что большая конструкторская деятельность по созданию роторных бетоносмесителей привела к многообразию схем и компоновок, что сдерживает повышение технического уровня смесителей и их комплектующих элементов.

Зарубежные фирмы при конструировании смесителей подходят с предположением, чем меньше деталей базовых элементов применяется при создании серии смесителей, тем проще и дешевле производство. Любой смеситель, предназначенный для выполнения работ, состоит из частей, объединенных совокупностью предложенных конструкторами технических решений. Повысить технический уровень бетоносмесителя, повышая надежность механизмов возможно, если разработать единые конструктивно-унифицированные модульные ряды, например, механизмов привода на основе планетарных

модулей [10, 11]. Создаваемая система унифицированных модульных планетарных редукторов механизмов привода роторных бетоносмесителей должна удовлетворять и отвечать критериям: дополнять существующую систему редукторов по номенклатуре и компоновке; давать возможность создать систему мотор-редукторов; позволить повысить надежность, снизить трудоемкость приготовления, энергоёмкость и металлоёмкость бетоносмесителей.

Модуль – основная наиболее технологически сложная и трудоемкая зубчатая часть механизма привода бетоносмесителя. Чтобы снизить трудоемкость изготовления деталей, необходимо спроектировать редуктор так, что модуль будет включать максимальное число одинаковых, небольших по размерам зубчатых колес, а такому требованию отвечает планетарный модуль. Важным аргументом в пользу принятия в качестве планетарного модуля в механизмах привода бетоносмесителей роторного типа является тот факт, что многие фирмы, например, Германии, Франции и Швеции применяют уни-

фицированные планетарные редукторы, производимые фирмой "Zahuradfabrik", Германия. Фирма заказчикам предлагает механизмы привода из планетарных модулей с различными размерами, нагрузочными характеристиками, передаточными числами и отношением, высокого качества и надежности.

Основная часть. При разработке унифицированных механизмов привода для отечественных роторных бетоносмесителей задача формулируется так, чтобы создать механизмы, которые малым количеством типоразмеров модулей охватили весь спектр механизмов роторных бетоносмесителей. Следует отметить, что применение планетарного редуктора позволяет снизить габаритные размеры, а при равной долговечности и одинаковом выходном моменте, например, с цилиндрическими и другими редукторами, позволяет снизить массу в три раза.

Для решения этих задач необходимо рассмотреть конструкции смесителей и выбрать схемы наиболее рациональные с точки зрения размещения планетарных редукторов. При привязке крышки смесительного барабана к роторному бетоносмесителю, сама крышка является силовым элементом и выполнена в виде жесткой сварной рамы. При малых размерах смесителя и небольших диаметрах смесительного барабана, такое конструктивное исполнение позволяет обеспечить минимальную материалоемкость. Такая конструкция используется в смесителях с объемом до 300 л. Недостаток этой конструкции является недоиспользование объема смесительного барабана. При конструктивном исполнении, когда привязка привода бетоносмесителя осуществляется на днище барабана через подшипниковую опору, расположенную внутри центрального стакана, привод может быть выполнен отдельно и заодно с подшипниковой опорой.

Крышка такой конструкции не является силовым элементом и может быть выполнена достаточно легкой, что очень важно для больших диаметров смесительного барабана. Преимущество этой конструкции заключается в том, что использовано пустующее пространство внутри центрального стакана, а это уменьшает осевой габарит. Такое исполнение часто используется в бетоносмесителях с объемом загрузки от 500 до 4500 л. Конструкция, когда привязка привода осуществляется к крышке смесительного барабана и привязкой смесительного механизма к днищу барабана используется в отечественных бетоносмесителях с объемом готового замеса в пределах от 300 до 1000 л. Конструкция позволяет крепление смесительного механизма на днище через подшип-

никовую опору, воспринимающую все нагрузки на смесительный механизм при перемешивании, кроме крутящего момента. Привод смесителя крепится на крышку, при этом крышка воспринимает нагрузку только от веса привода и от реактивного крутящего момента, поэтому может быть выполнен легкой ввиду малой нагруженности.

Рассмотрим далее для роторных бетоносмесителей два исполнения: с базировкой механизма привода на крышку смесителя и на днище чаши. При вращении ротора электродвигателя, вращается корпус планетарного редуктора относительно неподвижной части редуктора, закрепленной на крышке смесительного барабана. К корпусу редуктора жестко прикреплен ротор смесительного барабана, причем ротор вращается относительно неподвижных крышки барабана и самого барабана. Когда базирование осуществляется на дно чаши, через подшипниковую опору, планетарный редуктор с электродвигателем закреплен на ротор сверху. Подвижная часть редуктора установлена на крышку. При вращении ротора электродвигателя вращается подвижная часть планетарного механизма. Все усилия при перемешивании, кроме реактивного крутящего момента передаются подшипниковой опорой на днище смесительного барабана, а реактивный крутящий момент передается неподвижной частью редуктора на крышку. В таком исполнении важно то, что применен принцип базирования смесителя на один стержень, что позволяет упростить технологию изготовления, сборки элементов смесителя и повышает точность изготовления деталей. Подшипниковая опора выполнена без подвижных уплотнений, что повышает надежность механизма привода, такое исполнение позволяет оптимально вписать в механизмы привода бетоносмесителей принудительного действия унифицированный модульный планетарный редуктор [10, 11]. Анализ нагрузочных характеристик, крутящих моментов и передаточных отношений редукторов, выпускаемых бетоносмесителях роторного типа показал, что рационально принять в качестве редуктора планетарный модульный двухступенчатый (рядный) оформленный из блок-модулей. Все механизмы бетоносмесителей в табл.1, можно обеспечить несколькими типоразмерами планетарных модулей, принимая в качестве механизма привода модули с одинаковыми размерами эпициклов. Этот подход позволяет уменьшить массу, снизить трудоемкость и мощность бетоносмесителя и повысить несущую способность привода.

В табл. 2 представлены некоторые характеристики бетоносмесителей принудительного действия.

Планетарные модули выбираются из ряда модулей, табл. 3 [10, 11].

Таблица 2

Технические характеристики бетоносмесителей принудительного действия, отечественного производства

Марка смесителя	СБ-141	СБ-146	СБ-152	СБ-138
Параметры				
Объем по загрузке, л	375	750	1000	1500
Объем готового замеса, л	250	500	650	1000
Максимальная крупность заполнителя, мм	70	70	70	70
Мощность двигателя, кВт	11	22	30	37
Число оборотов ротора, 1/мин	31	28	26	23
**Параметры редуктора	$U_{ред}$	42,8	51,1	57,1
	$T_{кр}$, кгм	310	380	945
*Предлагаемая схема редуктора	50×92	50×110	80×128	80×128

* – обозначение двухступенчатого планетарного модульного редуктора, например, 50×92, где $a_{w1}=50$ мм и $a_{w2}=92$ мм

** U – передаточное число редуктора; $T_{кр}$, кгм – крутящий момент

Таблица 3

Технические параметры зубчатых планетарных модулей

Радиус осей сателлитов, r мм или межосевое расстояние a_w , мм	Передаточное число i	Ширина зубчатого венца, b_w , мм	
		Исполнение 1	Исполнение 2
40±1,6	6,0±0,2	25	20
50±2,0	7,5±0,25	30	25
80±3,2	8,5±0,35	45	35
90±3,6	5,6±0,22	50	35
112±4,4	6,7±0,16	60	40
125±5	7,5±0,25	75	45

Планетарные модули для двухступенчатых планетарных редукторов выбираются из ряда модулей (табл. 3), где оптимальным параметром типоразмера является радиус расположения осей сателлитов – r , мм или межосевое расстояние – a_w , мм. Конструктивно модули отличаются исполнением, которое характеризуется рабочей шириной зубчатых передач b_w , мм. Чтобы подобрать планетарный модуль, необходимо сравнить нагрузочные характеристики, передаточные отношения и скорости движения ротора с табличными данными модулей.

Для бетоносмесителя с объемом готового замеса 250 л, СБ-141, числом оборотов ротора $U_{рт}=31$ 1/мин, мощностью двигателя 11 кВт, $n_{дв}=1460$ 1/мин, принимаем в качестве первой ступени модуль – $a_{w1}=50$ мм, а второй ступени – $a_{w2}=92$ мм, тогда передаточное число двухступенчатого модульного планетарного редуктора (50×92) будет, $U_{пл}=42,79$, что позволяет получить число оборотов ротора $U_p=31,1$ 1/мин.

В табл. 2 приведены предполагаемые схемы планетарных модульных редукторов для СБ-146 (50×110); СБ-152 (80×128) и СБ-138 (80×128). Важной задачей при разработке конструкции этих смесителей является полное отсутствие подвижных уплотнений на выходном валу. На рис. 1 представлена схема двухступенчатого планетарного редуктора, выполняемого в виде сочетания двух планетарных модулей.

При вращении входной вал-шестерни (рис.1), вращение передается на сателлит 2, так как эпициклическая шестерня 3 остановлена, то вращается водило 7. С водилом 7 связана солнечная шестерня второго ряда 4, приводящее во вращение сателлит второго ряда 5. Эпицикл второго ряда остановлен, поэтому вращается водило второго ряда 6, выполненное за одно целое с корпусом редуктора. Конструкция планетарного редуктора не имеет ни одного подвижного уплотнения, через которые могут внутрь попасть абразивные частицы.

Для получения оптимальной конструкции бетоносмесителя, необходимо корпус планетарного редуктора соединить с осью с возможностью вращения, ротор соединяется жестко с корпусом редуктора, водило связано с двигателем, установлен в корпусе с возможностью вращения и соединена с чашей.

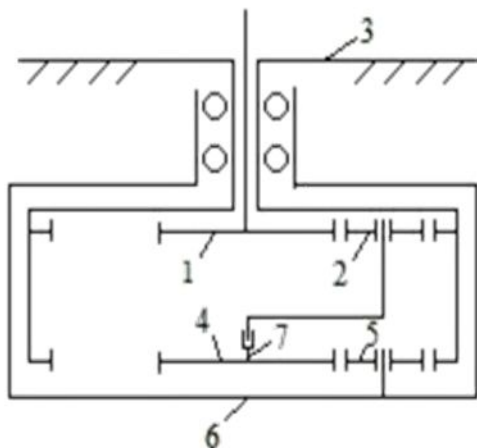


Рис. 1. Кинематическая схема двухступенчатого планетарного редуктора: 1 – вал-шестерня 1^{ой} ступени; 2 – сателлит 1^{ой} ступени; 3 – эпициклическое колесо; 4 – шестерня 2^{ой} ступени; 5 – сателлит 2^{ой} ступени; 6 – водило 2^{ой} ступени; 7 – водило 1^{ой} ступени

На рис. 2 представлена кинематическая схема планетарного двухступенчатого модульного редуктора для бетоносмесителя роторного типа, со схемой соединения модулей 125×125, числом оборотов ротора $n_p=23,85$ 1/мин, моментом на тихоходном валу $T_{кр}=1368,7$ кгм и $a_{w1}=a_{w2}=125$ мм.

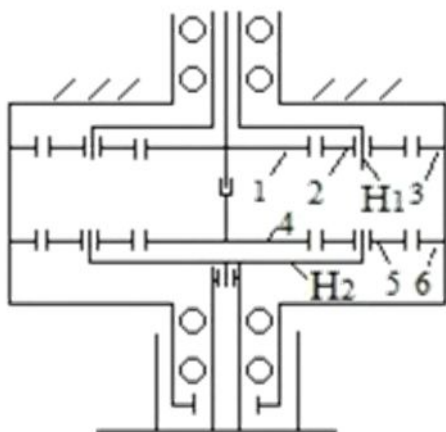


Рис. 2. Кинематическая схема планетарного двухступенчатого модульного редуктора бетоносмесителя: 1 – вал-шестерня 1^{ой} ступени; 2 – сателлит 1^{ой} ступени; 3 – эпициклическое колесо 1^{ой} ступени; 4 – вал-шестерня 2^{ой} ступени; 5 – сателлит 2^{ой} ступени; 6 – эпициклическое колесо 2^{ой} ступени; H_1 – водило 1^{ой} ступени; H_2 – водило 2^{ой} ступени

Выводы. Данная работа является технической подготовкой к применению планетарных модульных редукторов в механизмах привода бетоносмесителей и возможной организацией кооперации или производства на специализированном участке.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Густов Ю.И., Степанов М.А., Кайтуков Б.А. Анализ конструктивно-расчетных схем бетоносмесителя // Механизация строительства. 2013. №12. С. 10–12.
2. Королев К.М. Перспективы развития бетоносмесителей // Строительные и дорожные машины. 1984. №3. С. 10–12.
3. Густов Ю.И., Кайтуков Б.А., Григорьева М.Н. Повышение эффективности работы роторного бетоносмесителя принудительного действия // Механизация строительства. 2016. №11. С. 26–29.
4. Дейн Ф., Оргасс М. Влияние технологии приготовления бетонной смеси на характеристики высококачественных бетонов // Бетонный завод 2006. №1. С. 42–46.
5. Богомолов А.А. Теоретические и технические основы совершенствования смесительных машин для приготовления строительных смесей. Монография. Белгород, 2010.
6. Теличенко В.И., Кайтуков Б.А., Скель В.И. К вопросу производительности роторных бетоносмесителей // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова 2017. №2. С. 178–180.
7. Шарпов Р.Р., Уваров В.А., Орехова Т.Н. Теория наземных транспортно-технологических машин. Учебное пособие. Белгород, 2014.
8. Юдин К.А., Харин Н.П. Проектирование смесителя с двунаправленным вращательным воздействием на материал // Автоматизированное проектирование в машиностроении. 2016. № 4. С. 66–67.
9. Кайтуков Б.А., Скель В.И., Гоева Е.М. Повышение эффективности работы гравитационных бетоносмесителей // Механизация строительства 2017. №12. С. 50–53.
10. Теличенко В.И., Кайтуков Б.А., Скель В.И. К вопросу производительности и унификации гравитационных бетоносмесителей // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2017. №11. С. 138–143.
11. Теличенко В.И., Кайтуков Б.А., Скель В.И. Определение оптимальных скоростей движения лопастей роторных бетоносмесителей // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2017. №3. С. 80–84.

Информация об авторах

Кайтуков Батраз Амурханович, кандидат технических наук, доцент кафедры механизации строительства. E-mail: KaitukovBA@mgsu.ru. Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет. Россия, 129337, Москва, ул. Ярославское шоссе, д. 26.

Скель Владимир Израилевич, кандидат технических наук, доцент кафедры механизации строительства. Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет. E-mail: skelvi@mgsu.ru. Россия, 129337, Москва, ул. Ярославское шоссе, д. 26.

Горайнова Полина Олеговна, студент. E-mail: GoryainovaPO@mgsu.ru. Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет. Россия, 129337, Москва, ул. Ярославское шоссе, д. 26.

Поступила в ноябре 2019 г.

© Кайтуков Б.А., Скель В.И., Горайнова П.О., 2019

¹Kaytukov B.A., ^{1,*}Skel V.I., ¹Goryaynova P.O.

¹Moscow State University of Civil Engineering (National Research University)

Russia, 129337, Moscow, Yaroslavl highway, 26.

*E-mail: SkelVI@mgsu.ru

DEVELOPMENT OF UNIFIED MECHANISMS OF THE DRIVER OF THE CONCRETE MIXERS OF FORCING ACTION

Abstract. The issue of choosing a rational number of drive mechanisms of concrete mixers of forcing action based on unification is considered. The analysis of unification methods of various systems is carried out. It is represented by successive logical steps that provide a rational approach to the creation of promising designs and an increase in the technical level of mixers. The proposed methodology for unifying the mechanisms of rotary mixers allows the development of new, productive, energy-saving mixers with reliable mechanisms for driving working bodies.

The mixing process in rotary mixers is described. It is distinguished by the design feature and operating mode of the working body, which made it possible to choose the optimal speed mode of operation. Analysis of the design of foreign promising rotary mixers with planetary drive mechanisms allows offering a unified modular planetary gearbox as a drive. It allows optimal composing of the concrete mixer design, reducing weight, maintenance and repair costs, by improving the quality of workmanship and reliability.

Keywords: forced action concrete mixer, unification, rotor, paddle apparatus, block module, planetary gearbox, specialization.

REFERENCES

1. Gustov Yu.I., Stepanov M.A., Kaytukov B.A. Analysis of design and design schemes of concrete mixers [Analiz konstruktivno-raschetnykh skhem betonosmesiteley]. Mechanization of construction. 2013. No. 12. Pp. 10–12. (rus)
2. Korolev K.M. Prospects for the development of concrete mixers [Perspektivy razvitiya betonosmesiteley]. Construction and road machines. 1984. No. 3. Pp. 10–12. (rus)
3. Gustov Yu.I., Kaytukov B.A., Grigorieva M.N. Improving the efficiency of the rotary concrete mixer forced action [Povyshenie effektivnosti raboty rotornogo betonosmesitelya prinuditel'nogo dejstviya]. Mechanization of construction. 2016. No.11. Pp. 26–29.
4. Dane F., Orgass M. The Effect of Concrete Mixing Technology on the Characteristics of High-Quality Concrete [Vliyaniye tekhnologii prigotovleniya betonnoy smesi na harakteristiki vysokokachestvennykh betonov]. Concrete Plant. 2006. No.1. Pp. 42–46.
5. Bogomolov A.A. Theoretical and technical bases of improvement of mixing machines for preparation of construction mixes [Teoreticheskie i tekhnicheskie osnovy sovershenstvovaniya smesitel'nykh mashin dlya prigotovleniya stroitel'nykh smesey]. Belgorod, 2010. (rus)
6. Telichenko V.I., Kaytukov B.A., Skel V.I. On the performance of rotary mixers [K voprosu proizvoditel'nosti rotornykh betonosmesiteley]. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov 2017. No. 2. Pp. 178–180. (rus).
7. Sharapov R.R., Uvarov V.A., Orekhova T.N. Theory of land transport and technological machines [Teoriya nazemnykh transportno-tekhnologicheskikh mashin]. Textbook. Belgorod, 2014. (rus)

8. Yudin K., Kharin N. P. Design of a mixer with bidirectional rotational effect on the material. [*Proektirovanie smesitelya s dvunapravlenным vrashchatel'nyim vozdeystviem na material*]. Computer-aided design in mechanical engineering, 2016. No. 4. Pp. 66–67. (rus)

9. Kaytukov B.A., Skel V.I., Goeva E.M. Improving the efficiency of gravity mixers [*Povyshenie ehffektivnosti raboty gravitacionnyh betonosmesitelej*]. Mechanization of construction. 2017. No.12. Pp. 50–53.

10. Telichenko V.I., Kaytukov B.A., Skel V.I. On the issue of productivity and unification of gravity mixers [*K voprosu proizvoditel'nosti i unifikacii gravitacionnyh betonosmesitelej*]. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2017. No. 11. Pp. 138–143. (rus)

11. Telichenko V.I., Kaytukov B.A., Skel V.I. Determination of the optimal speeds of the rotor blades of concrete mixers [*Opredelenie optimal'nyh skorostej dvizheniya lopastej rotoornyh betonosmesitelej*]. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2017. No. 3. Pp. 80–84.

Information about the authors

Kaytukov, Batraz A. PhD, Associate Professor. Mechanization. E-mail: KaitukovBA@mgsu.ru. National Research Moscow State University of Civil Engineering. Russia, 129337, Moscow, st. Yaroslavl highway, 26.

Skel, Vladimir I. PhD, Associate Professor. E-mail: skelvi@mgsu.ru. National Research Moscow State University of Civil Engineering. Russia, 129337, Moscow, st. Yaroslavl highway, 26.

Goryainova, Polina O. student. E-mail: GoryainovaPO@mgsu.ru. National Research Moscow State University of Civil Engineering. Russia, 129337, Moscow, st. Yaroslavl highway, 26.

Received in November 2019

Для цитирования:

Кайтуков Б.А., Скуль В.И., Горайнова П.О. Разработка унифицированных механизмов привода бетоносмесителей принудительного действия // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2019. № 4. С. 151–157. DOI: 10.34031/article_5cb1e65b01af79.09622645

For citation:

Kaytukov B.A., Skel V.I., Goryaynova P.O. Development of unified mechanisms of the driver of the concrete mixers of forcing action. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2019. No. 4. Pp. 151–157. DOI: 10.34031/article_5cb1e65b01af79.09622645

Научное издание
«Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова»
№ 4, 2019 г.

Научно-теоретический журнал

Координатор журнала
Алфимова Наталия Ивановна

Редактор журнала
Агеева Марина Сергеевна

Компьютерная верстка
Яшкина Светлана Юрьевна

Перевод на английский язык
Колесник Оксана Юрьевна

Учредитель журнала – Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова»
(БГТУ им. В.Г. Шухова)

Журнал зарегистрирован Министерством РФ по делам печати, телерадиовещания и средств массовой информации ПИ №ФС77-26533

Сдано в набор 9.03.19. Подписано в печать 15.04.19. Формат 60×84/8
Усл. печ. л. 18,83. Уч.-изд. л. 20,25
Тираж 500 экз. Заказ 47. Цена договорная.
Все публикуемые материалы представлены в авторской редакции.

Адрес редакции: г. Белгород, ул. Костюкова, 46, оф. 724/4 Гк.
Номер сверстан в редакции научно-теоретического журнала
«Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова».
Отпечатано в РИЦ БГТУ им. В.Г. Шухова