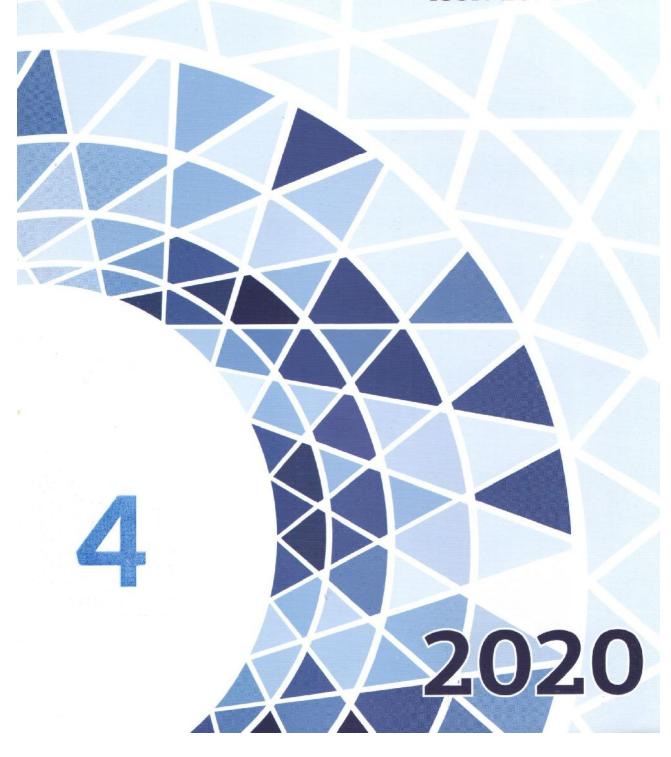


БГТУ им. В.Г. Шухова ISSN 2071-7318



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, 2020 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, производства строительных материалов и композитов специального назначения, химических технологий, машиностроения и машиноведения, освещающие актуальные проблемы отраслей знания, имеющие теоретическую или практическую значимость, а также направленные на внедрение результатов научных исследований в образовательную деятельность.

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

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

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

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

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/2558104627/

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 05.23.03 05.23.05 05.23.20 05.23.21 05.23.22	- - - -	Building structures, constructions and facilities (technical sciences) Heat supply, ventilation, air conditioning, gas supply and lighting (technical sciences) Building materials and products (technical sciences) Theory and history of architecture, restoration and reconstruction of historical and architectural heritage (architecture) Architecture of buildings and structures. Creative concepts of architectural activity (architecture) 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/

© Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov, 2020

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). Баженов 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. Севастополь).

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).

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

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

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

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

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

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 ($P\Phi$, г. Липецк).

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

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

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

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

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

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

Павлович Ненад, PhD, проректор по научной работе и издательской деятельности, проф. Машиностроительного факультета Государственного Нишского университета (Республика Сербия, г. Ниш). Перькова Маргарита Викторовна, д-р арх., проф., заведующий кафедрой архитектуры и градостроительства Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова (РФ, г. Белгород)

Пивинский Юрий Ефимович, д-р техн. наук, проф., научный руководитель ООО «Научно-внедренческая фирма «КЕРАМБЕТ-ОГ-НЕУПОР» (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 университет имени И.С. Тургенева (РФ, г. Орел).

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

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

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

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

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

Фишер Ханс-Бертрам, Dr.-Ing., 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).

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

CHIEF EDITOR

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

DEPUTY OF CHIEF EDITOR

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

MEMBER OF EDITORIAL BOARD

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

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

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).

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

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

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

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

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

Petr G. Grabovy, 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 NIIZHB 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).

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).

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).

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).

Margarita V. Per'kova, Doctor of Architecture, Professor, Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov (Russian Federation, Belgorod).

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. Strokova, 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).

СТРОИТЕ	ильство	И АРХИТЕКТУРА	Δ
			Ŀ.

011 0111 2012 0 12 111 1111 2 2 1 1 1 1	
Наруть В.В., Ларсен О.А., Самченко С.В., Александрова О.В., Булгаков Б.И. РАЗРАБОТКА СОСТАВОВ САМОУПЛОТНЯЮЩЕГОСЯ БЕТОНА НА ОСНОВЕ	
БЕТОННОГО ЛОМА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СТРУКТУРНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК Ядыкина В.В., Кузнецова Е.В., Лебедев М.С.	8
ИЗМЕНЕНИЕ СВОЙСТВ АСФАЛЬТОБЕТОНА ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ГИДРОФОБИЗИРОВАННОГО МИНЕРАЛЬНОГО ПОРОШКА	17
Егорова А.Д., Попов А.Л., Заровняев П.П., Дуюков Т.Т. ВЛИЯНИЕ МИКРОАРМИРОВАНИЯ ХРИЗОТИЛ-АСБЕСТОМ РАЗНЫХ МАРОК	
НА СВОЙСТВА И СТРУКТУРУ ПЕН	24
Серых И.Р., Чернышева Е.В., Дегтярь А.Н. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО МОСТА	32
Суслов Д.Ю., Рамазанов Р.С. МОДЕЛИРОВАНИЕ СЖИГАНИЯ БИОГАЗА В ИНЖЕКЦИОННОЙ ГОРЕЛКЕ С ТЕПЛОВЫМ РАССЕКАТЕЛЕМ	40
Скрябин П.В. ГРАДОСТРОИТЕЛЬНОЕ РАЗВИТИЕ ЮГА СИБИРИ: ФОРМИРОВАНИЕ КОММУНИКАЦИОННЫХ КОРИДОРОВ	48
Соланилья Медина Й.М. ФОРМИРОВАНИЕ АДАПТИВНОЙ АРХИТЕКТУРЫ НА ОСНОВЕ КОНСТРУКЦИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ БАМБУКА	57
Обласов Ю.А. АНАЛИЗ МАЛОЭТАЖНОЙ ЖИЛОЙ ЗАСТРОЙКИ ЛЕНИНГРАДА (НА ПРИМЕРЕ РАЙОНА УДЕЛЬНОЙ)	62
Чащина А.И., Скопинцев А.В. АНАЛИЗ СОВРЕМЕННОГО СОСТОЯНИЯ АРХИТЕКТУРНОЙ СРЕДЫ РОДИЛЬНЫХ ДОМОВ И ПЕРИНАТАЛЬНЫХ ЦЕНТРОВ (НА ПРИМЕРЕ ГОРОДОВ ЮГА РОССИИ)	74
химическая технология	
Кочергин Ю.С., Григоренко Т.И., Золотарева В.В. СВОЙСТВА КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ СМЕСЕЙ ЭПОКСИДНЫХ ПОЛИМЕРОВ И ОЛИГОСУЛЬФОНОВ. ЧАСТЬ 4. АДГЕЗИОННЫЕ СВОЙСТВА	84
МАШИНОСТРОЕНИЕ И МАШИНОВЕДЕНИЕ	
Богданов В.С., Анциферов С.И., Богданов Д.В., Vöth S., Кулаков Л.С. МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ КОНСТРУКЦИИ АЭРАЦИОННОГО УСТРОЙСТВА НА РАЗГРУЗКУ ПНЕВМОКАМЕРНОГО НАСОСА	94
Юдин К.А., Погосбеков А.А СОБЕННОСТИ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРИВОДНОГО УЗЛА СМЕСИТЕЛЯ С ДВУНАПРАВЛЕННЫМ ВРАЩАТЕЛЬНЫМ ВОЗДЕЙСТВИЕМ НА МАТЕРИАЛ Семикопенко И.А., Беляев Д.А., Воронов В.П.	101
ОПИСАНИЕ ПРОЦЕССА ИСТЕЧЕНИЯ ДВУХФАЗНОЙ СРЕДЫ ИЗ КАМЕРЫ ПОМОЛА ДЕЗИНТЕГРАТОРА В ПЛОСКОСТИ, ПЕРПЕНДИКУЛЯРНОЙ ОСИ ВРАЩЕНИЯ РОТОРОВ В ТАНГЕНЦИАЛЬНЫЙ ПОЛУБЕСКОНЕЧНЫЙ ПАТРУБОК	108
Кирилов И.В., Ханин С.И., Воронов В.П. ХАРАКТЕРИСТИКИ ВИБРОКОЛЕБАНИЙ ВЯЗКОЙ БЕТОННОЙ СРЕДЫ В ВИБРОФОРМЕ С ЦИЛИНДРИЧЕСКИМИ ПУАНСОНАМИ	114

CONSTRUCTION AND ARCHITECTURE	
Naruts V.V., Larsen O.A., Samchenko S.V., Aleksandrova O.V., Bulgakov B.I.	
USE OF STRUCTURAL CHARACTERISTICS IN SELF-COMPACTING CONCRETE	
MIX DESIGN WITH RECYCLED CONCRETE AGGREGATES	8
Yadykina V.V., Kuznetsova E.V., Lebedev M.S.	
CHANGE IN THE PROPERTIES OF ASPHALT CONCRETE WHEN USING	
HYDROPHOBIZED MINERAL POWDER	17
Egorova A.D., Popov A.L., Zarovnyaev P.P., Duyukov T.T. INFLUENCE OF CHRYSOTILE-ASBESTOS MICROREINFORCEMENT OF DIFFERENT MIXES	
ON THE PROPERTIES AND STRUCTURE OF FOAMS	24
Serykh I.R., Chernyshova E.V., Degtyar A.N.	∠ -1
DETERMINATION OF THE TECHNICAL CONDITION OF A RAILWAY BRIDGE	32
Suslov D.Y., Ramazanov R.S.	J 2
SIMULATION OF BIOGAS COMBUSTION IN INJECTION BURNER WITH HEAT DIVIDER	40
Skryabin P.V.	
URBAN DEVELOPMENT IN THE SOUTH OF SIBERIA: FORMATION	
OF COMMUNICATION CORRIDORS	48
Solanilla Medina Y.M.	
CREATING AN ADAPTIVE ARCHITECTURE BASED ON BAMBOO STRUCTURES	57
Oblasov Yu.A.	
ANALYSIS OF LOW-RISE RESIDENTIAL BUILDINGS OF LENINGRAD (ON THE EXAMPLE OF THE UDELNAYA DISTRICT)	62
Chashchina A.I., Skopintsev A.V.	02
ANALYSIS OF THE CURRENT STATE OF THE ARCHITECTURAL	
ENVIRONMENT OF MATERNITY HOSPITALS AND PERINATAL CENTERS	
(ON THE EXAMPLE OF CITIES OF THE SOUTH OF RUSSIA)	74
CHEMICAL TECHNOLOGY	
Kochergin Y.S., Grigorenko T.I., Zolotareva V.V. PROPERTIES OF COMPOSITE MATERIALS BASED ON MIXTURES OF EPOXY POLYMERS	
AND OLIGOSULFONES. PART 4. ADHESION PROPERTIES	84
AND OLIGOSOLFONES. TAKT 4. ADHESION FROTERTIES	04
MACHINE BUILDING AND ENGINEERING SCIENCE	₹
Bogdanov V.S., Anciferov S.Ig., Bogdanov D.V., Vöth S., Kulakov L.S.	_
MODELING THE INFLUENCE OF THE DESIGN OF THE AERATION DEVICE	
ON THE UNLOADING OF THE AIR PUMP	94
Yudin K.A., Pogosbekov A.A.	
FEATURES OF MODELING THE DRIVE UNIT OF THE MIXER WITH BIDIRECTIONAL	
ROTATIONAL IMPACT ON THE MATERIAL	101
Semikopenko I.A., Belyaev D.A., Voronov V.P.	
DESCRIPTION OF THE PROCESS OF A TWO-PHASE MEDIUM FLOW FROM	
THE DISINTEGRATOR GRINDING CHAMBER IN A PLANE PERPENDICULAR	
TO THE AXIS OF ROTATION OF THE ROTORS INTO A TANGENTIAL SEMI-INFINITE BRANCH PIPE	100
SEMI-INFINITE BRANCH PIPE Kirilov I.V., Khanin S.I., Voronov V.P.	108
CHARACTERISTICS OF VIBRATIONS OF VISCOUS CONCRETE MEDIUM	
IN A VIBROFORM WITH CYLINDRICAL PUNCHES	114

СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

DOI: 10.34031/2071-7318-2020-5-4-8-16

Наруть В.В., *Ларсен О.А., Самченко С.В., Александрова О.В., Булгаков Б.И.Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет *E-mail:larsen.osana@mail.ru

РАЗРАБОТКА СОСТАВОВ САМОУПЛОТНЯЮЩЕГОСЯ БЕТОНА НА ОСНОВЕ БЕТОННОГО ЛОМА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СТРУКТУРНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК

Аннотация. Развитие математических методов моделирования вызывает необходимость одновременного совершенствования критериев оценки материалов бетона как многокомпонентных, так и с отходами промышленности, которые позволили бы получить более точные количественные зависимости «состав – структура – технология – свойства». Это возможно только при формализации структуры бетона и установлении с помощью экспериментальных исследований количественных соотношений между характеристиками структуры бетонов и их свойствам. В статье приводиться методика подбора состава самоуплотняющегося бетона на основе продуктов дробления бетонного лома с использованием математических методов моделирования путем решения системы полученных уравнений соответствующих математических моделей. Аргументными характеристиками полученных математических моделей являются структурные характеристики бетона, определяемые к концу периода формирования структуры. Демонтаж ветхих зданий способствует образованию значительного количества бетонного и железобетонного лома. В исследовании проведен анализ продуктов дробления бетонного лома и установлена возможность его эффективного применения. В качестве исходных материалов для самоуплотняющегося бетона может служить щебень из дроблёного бетона и отсев его дробления. Определено оптимальное содержание микронаполнителя в составе самоуплотняющегося бетона. Установлен оптимальный режим помола отсева дробления, обусловленный условиями работы помольного оборудования для получения микронаполнителя заданной удельной поверхности. Запроектирован зерновой состав смеси кварцевого песка и щебня из дроблёного бетона фракции 5-10 мм исходя из условия максимального приближения к эталонной кривой Φ уллера.

Ключевые слова: самоуплотняющийся бетон, бетонный лом, щебень из дроблёного бетона, отсев дробления, активация, гранулометрия, структурные характеристики

Введение. В настоящее время бетон является наиболее широко используемым строительным материалом в России. По данным [1] в 2018 году было произведено 33 955,5 тыс. м³ товарного бетона. Количество углекислого газа, выделяемого при производстве портландцемента, составляет около 10 % общего количества, выделяемого в окружающую среду СО2. За последние десять лет в России резко возросло количество отходов строительства и сноса зданий, что связано с принятой в 2017 году программой реновации. Так, по данным [2], после разбора пятиэтажек образуется порядка 5 млн. тонн различных материалов.

Проблема утилизации и повторного использования строительных отходов актуальна не только для России, но и для зарубежных стран. Это в первую очередь связано с улучшением экологической ситуации, получением дешевых материалов для нового строительства, сокращением транспортных потоков, связанных с поставками заполнителей для бетона, сохранением природных ресурсов. Переработка отходов строитель-

ной индустрии и использование в качестве заполнителей дробленого бетона позволит ограничить потребление невозобновляемых природных ресурсов и свести к минимуму отходы и связанные с ними выбросы, что будет способствовать как сохранению окружающей среды, так и сохранению природных ресурсов [3].

В течение последних лет широкое применение получили исследования свойств бетонов с применением вторичных заполнителей из бетонного лома не только в России, но и во всем мире [4, 5, 6]. Введение вторичных заполнителей оказывает влияние на прочностные свойства бетонов и технологические свойства бетонных смесей [7]. Свойства вторичных заполнителей значительно отличаются от свойств заполнителей, изготовленных из прочных горных пород. Вследствие этого их применение ограничено в бетонах несущих конструкций. Такие заполнители могут эффективно использоваться в качестве исходного материала для изготовления неконструкционных бетонов [8] или для других целей. Отмечается применение вторичных заполнителей в конструкционных бетонных элементах при содержании растворной составляющей в заполнителе до 44 % [9–13]. Имеется опыт применения крупного заполнителя на основе дробленого бетона не только в обычных вибрированных бетонах [14, 15], но и в самоуплотняющихся, получивших широкое распространение в последние десятилетия [16]. Данные смеси способны самостоятельно, без внешнего побуждения, уплотнятся и вытеснять из своего объёма вовлеченный воздух за счёт высокой подвижности. Применение самоуплотняющихся бетонов значительно сокращает трудоёмкость работ, повышается качество изделий и конструкций. Накопленный за последнее время опыт позволяет изготавливать самоуплотняющиеся бетонные смеси на различных материалах и с различными характеристиками. Однако для получения эффекта самоуплотнения необходимо соблюдать определенные условия:

- применение большого количества вяжущего теста, включающего цемент и микронаполнитель;
- применение мелких фракций заполнителя и ограниченное количество крупного заполнителя;
- повышенная доля песка (r) в смеси заполнителей;
- необходим подбор оптимальной гранулометрии смеси заполнителей;

- применение высокоэффективных суперпластификаторов;
 - рациональный подбор воды затворения.

Основываясь на данных условиях, а также используя структурные характеристики бетона, авторами статьи была разработана методика определения состава самоуплотняющегося бетона на основе бетонного лома. Развитие математических методов моделирования вызывает необходимость одновременного совершенствования критериев оценки материалов бетона как многокомпонентных, так и с отходами промышленности, которые позволили бы получить более точные количественные зависимости «состав структура - технология - свойства». Это возможно только при формализации структуры бетона и установлении с помощью экспериментальных исследований количественных соотношений между характеристиками структуры бетонов и их свойствам.

Методология. В работе применялись следующие виды материалов:

- портландцемент ЦЕМ I 42,5Б, ПАО «Мордовцемент»;
- кварцевый карьерный песок с модулем крупности M_{κ} =1,8 ЗАО «Мансуровское карьероуправление» с гранулометрическим составом, представленным в табл. 1.

Таблица 1

Зерновой состав кварцевого песка

Размер ячейки сита, мм	10	5	2,5	1,25	0,63	0,315	0,16	0
Частные остатки, %			2,9	5,0	13,6	36,4	36,3	5,6
Полные остатки, %	0	0,2	2,9	7,9	21,5	57,9	94,2	100
,				Модуль	крупности	песка: 1,8	(«мелкий»)	

- суперплатификатор: Sika ViscoCrete E55, OOO «Зика»;
- сухой суперпластификатор: Melflux 5581F, BASF (Германия);
 - вода водопроводная;
- бетонный лом, полученный из внутренней стеновой панели 9BC1 жилого дома 1605/AM-5, демонтированного в микрорайоне Кунцево по программе реновации г. Москвы.

Бетонный лом подвергался лабораторной переработке путем дробления крупных кусков стеновой панели 9ВС1 на лабораторном прессе в цилиндре Ø 150 мм для испытания щебня на дробимость по ГОСТ 8269.0-97 и рассеивания полученного материала на наборе сит: 12,5; 10; 7,5; 5; 2,5 мм. Путем компоновки частных остатков на ситах дробленого щебня была получена фр.5-10 мм, отвечающая по зерновому составу

ГОСТ 32495-2013. В табл. 2 представлены результаты гранулометрического состава полученного щебня из бетонного лома фр. 5–10 мм.

Таблица 2

Зерновой состав полученного щебня из бетонного лома фр. 5–10 мм

Наименование	Остатки на ситах, % по массе						
остатков	12,5	10	7,5	5	2,5		
Частные	0,4	4,7	41,6	47	4,9		
Полные	0,4	5,1	46,7	93,7	98,6		

Физико-механические характеристики полученного щебня из дробленого бетона фр. 5-10 мм представлены в табл. 3.

Таблица 3 Физико-механические характеристики щебня из дробленого бетона фр. 5–10 мм

Характеристики	Размер- ность	Фактические значения
Прочность	марка	400
Содержание	%	0,8
пылевидных частиц	70	0,0
Содержание зёрен		
прочностью менее	%	9,6
20 MΠa		
Содержание зёрен		
пластинчатой	%	22,3
(лещадной)	/0	22,3
и игловатой формы		
Водопоглощение	%	3,8
(по массе)	/0	3,6
Засоряющие примеси		
неорганического	группа	I
происхождения		

Основная часть. В результате лабораторной переработки крупных кусков, помимо полученного щебня, образуется отсев дробления с фракцией 0–2,5 мм. Полученный отсев подвергался механохимической активации в вибромельнице совместно с сухим суперпластификатором поликарбоксилатного типа Melflux 5581F. Активация отсева дробления щебня из дроблёного бетона фр. 5–10 мм осуществлялась в лабораторной вибромельнице. Варьировалось величина времени активации и дозировка Melflux 5581F; количество и масса шаров, степень заполнения рабочей зоны камеры мельницы, скорость поступления и удаления материала оставались постоян-

ными. Диапазон бесперебойного времени измельчения выбран исходя из оптимальной производительности помольного оборудования без его перегрева и экстремальных условий работы.

Использование методов математического планирования эксперимента позволило установить оптимальную продолжительность активации в вибромельнице отсева дробления и оптимальную дозировку суперпластификатором Melflux 5581F. Установлено, что при продолжительности активации, равной 150 мин, совместно с суперпластификатором в количестве 0,5 % от массы микронаполнителя величина удельной поверхности полученного микронаполнителя составляет 4575 см²/г, при таком воздействии и введении в цементное тесто обеспечивается максимальный эффект водоредуцирования и увеличения прочности. При этом оптимальное содержание микронаполнителя в составе композиционного вяжущего соответствует 22 % [17].

Проектирование оптимального гранулометрического состава смеси заполнителей, включающего кварцевый песок и щебень из дробленого бетона фр. 5–10 мм, осуществлялось из условий максимального приближения кривых просеивания заполнителей к эталонной кривой распределения частиц Фуллера в интервале соотношений r=0,45-0,55. При этом обеспечивается минимальная пустотность смеси и наиболее благоприятные условия для создания текучести самоуплотняющейся бетонной смеси. В результате математической обработки полученных данных установлено наименьшее расхождение с эталонной кривой Фуллера, что составляет 14,12 % и достигается при r=0,458 (рис. 1).

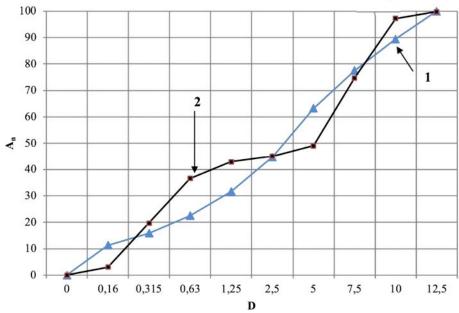


Рис. 1. Проектирование зернового состава заполнителей СУБ: D — диаметр отверстия сита (мм); A_n — полный проход через сито (%); 1 — эталонная кривая по Фуллеру; 2 — оптимальный состав с долей песка в смеси заполнителей (r)

Состав самоуплотняющегося бетона определялся с использованием математико-статистического метода. Зависимость «состав — структура — свойства» представлена в виде многофакторных математических моделей. В качестве характеристик согласования между математическими моделями применялись единые структурные характеристики бетона, сформулированные Горчаковым Г.И. и развитые в работах Баженова Ю.М., Алимова Л.А., Воронина В.В.

Согласно структурной теории процесс формирования структуры цементных систем связан с распределением воды на ранней стадии твердения. Заполнитель, введенный в цементное (вяжущее) тесто, существенно влияет на свойства бетонной смеси, причём тем в большей степени, чем выше его содержание. Заполнитель иммобилизирует воду затворения, при этом структура формируется при пониженном В/Ц (В/В), получившем название истинного (В/Цист или W). Вода, как бы отвлекаемая заполнителем, участвует как в перераспределении пор в сложившемся при W каркасе цементного камня, так и в создании пор контактной зоны между цементным камнем и заполнителем [18].

Количественным показателем содержания вяжущего является объёмная концентрация вяжущего в бетонной смеси (\mathcal{C}), определяемая по формуле:

$$C = \frac{\Pi}{1000} \left(\frac{1}{\rho} + W \right) \tag{1},$$

где Ц — расход цемента или вяжущего, кг; ρ — плотность вяжущего, т/м³; W — истинное водоцементное (или водовяжущее) отношение.

В работе определялись единые структурные характеристики бетона, определяемые к концу периода формирования структуры:

– объёмная концентрация вяжущего *С*, представляющая собой сумму цемента и микронаполнителя, которая определяет макроструктуру, т.е. формирование бетона как конгломерата, выражается в долях от объёма бетона;

- истинное водовяжущее отношение W, которое оказывает решающее влияние на макро- и микроструктуру, в частности, на объём и характер пор в цементном камне, а так же качество контактной зоны между цементным камнем и заполнителем:
- степень гидратации вяжущего α , показывает изменение прочности цементного камня в процессе твердения. Количество новообразований в цементном камне прямо пропорционально α , численно равной отношению прореагировавшей с водой части вяжущего к общей массе вяжущего.

Согласно структурной теории, все основные свойства бетонов являются функцией C, W и α . Величина C выражает соотношение между вяжущим и заполнителем, данная характеристика может быть принята в качестве показателя макроструктуры. Величины W и α совместно определяют объём пор в бетоне данного возраста, т.е. характеризуют микроструктуру бетона [19].

В исследовании предполагалось, что степень гидратации вяжущего α у всех составов проектируемого самоуплотняющегося бетона одинакова, поэтому третьим фактором варьирования принимался фактор количества суперплатификатора Sika ViscoCrete E55. Для получения статистикоматематических зависимостей свойств самоуплотняющегося бетона от его состава и структуры были проведены эксперименты с применением трёхфакторного плана на кубе типа B–D13. Факторы и уровни их варьирования представлены в табл. 4.

Составы и технологические свойства самоуплотняющихся бетонных смесей представлены в табл. 5 согласно расчёту и плану эксперимента.

В результате обработки данных с использованием специализированного программного обеспечения получены адекватные полиномиальные математические модели, описывающие свойства самоуплотняющегося бетона. Данные модели, после исключения незначимых коэффициентов, представлены в табл. 7.

Таблица 4

Значение факторов и уровни их варьирования

d	Рактор	Уровни варьирования			Инторрод		
	Обозначение					Интервал варьирования	
Наименование	Натуральные	Кодированные	-1	0	+1	варвирования	
	единицы	единицы единицы					
C	доли	X_1	0,33	0,355	0,38	0,025	
W	соотношение	X_2	0,25	0,26	0,27	0,01	
Дозировка SVC E55 по массе вяжущего	%	X_3	0,2	0,275	0,35	0,075	

Таблица 5

Составы и свойства самоуплотняющихся бетонных смесей

No		Расход материалов кг на 1 м ³						Технологические параметры бетонной смеси		
опыта/с остава	ЦЕМ I 42,5Б	МН	Песок	Щебень из дробленого бетона фр. 5–10 мм	Sika ViscoCrete E55	Вода	Расплыв конуса ¹ , мм	Вязкость $t_{500}^{\ 2}$, сек	Плот- ность, кг/м ³	
1	445	125	717	611	1,14	219	551	19	2118	
2	512	145	664	565	1,31	235	607	12	2120	
3	430	121	717	611	1,1	226	563	16	2105	
4	445	126	717	611	2	219	616	20	2120	
5	436	123	717	611	1,62	223	574	15	2110	
6	485	137	685	584	1,8	229	619	14	2120	
7	475	134	685	584	1,22	233	598	14	2112	
8	453	128	698	595	2,03	231	640	11	2106	
9	506	143	664	565	2,27	238	652	9	2118	
10	495	140	664	565	1,61	242	633	10	2108	

Примечание: водоотделение всех составов бетонных смесей не превышало 0,8 % в соответствии с ГОСТ 10181-2014

Таблица 6

Свойства самоуплотняющихся бетонов

	Прочності	и при сжатии, М	ІПа, сутки	Прочность		
№ со- става	3	7	28	на растяжение при изгибе, МПа (28 сутки)	F (циклы)	W (МПа)
1	16,0	26,2	33,6	3,52	100	0,4
2	21,8	34,3	42,9	4,17	150	0,8
3	14,5	24,6	31,6	3,37	75	0,4
4	17,0	29,0	36,4	3,77	75	0,6
5	16,5	27,6	35,8	3,79	75	0,6
6	19,7	33,2	40,8	3,99	150	0,6
7	18,1	32,2	38,9	3,88	150	0,8
8	17,5	30,3	37,7	3,83	100	0,6
9	21,9	37,0	45,0	4,33	200	0,8
10	20,7	33,6	41,5	4,18	150	0,8

Примечания:

Таблица 7

Математические модели свойств самоуплотняющегося бетона

№ п/п	Выходной параметр, (Ү)		Уравнение регрессии	
1	Расплыв обратного конуса,	ММ	$Y = 604,856 + 25,66 \cdot X_1 + 3,66 \cdot X_2 + 23,535 \cdot X_3 - 11,236 \cdot X_1^2 + +7,489 \cdot X_2^2 + 8,755 \cdot X_3^2 - 4,464 \cdot X_1 \cdot X_3 - 4,519 \cdot X_2 \cdot X_3$	(13)
2	Вязкость t500, сек		$Y = 12,666 -3,317 \cdot X_1 - 1,653 \cdot X_2 - 0,978 \cdot X_3 - 0,129 \cdot X_1^2 + 0,775 \cdot X_2^2 + 0,602 \cdot X_3^2 + 0,753 \cdot X_1 \cdot X_2 - 0,569 \cdot X_1 \cdot X_3 - 1,065 \cdot X_2 \cdot X_3$	(14)
	Производи при отполи	3 сутки	$Y = 18,641 + 2,607 \cdot X_1 - 0,694 \cdot X_2 + 0,49 \cdot X_3$	(15)
3	Прочности при сжатии, МПа	7 сутки	$Y = 32,445 + 3,983 \cdot X_1 - 0,92 \cdot X_2 + 1,039 \cdot X_3 - 0,865 \cdot X_1^2 - 1,175 \cdot X_2^2$	(16)
		28 сутки	$Y = 39,876 + 4,15 \cdot X_1 - 1,085 \cdot X_2 + 1,179 \cdot X_3 - 1,226 \cdot X_2^2$	(17)
4	Прочность на растяжение при изгибе, МПа (28 сутки)		$Y = 3,994 + 0,279 \cdot X_1 \cdot 0,049 \cdot X_2 + 0,09 \cdot X_3 - 0,117 \cdot X_2^2 - 0,054 \cdot X_1 \cdot X_3$	(18)
5	F, циклы		$Y = 134,96 + 46,425 \cdot X_1 - 9,442 \cdot X_2 - 20,067 \cdot X_2^2 + 15,083 \cdot X_1 \cdot X_3$	(19)
6	W, МПа		$Y = 0.571 + 0.11 \cdot X_1 - 0.046 \cdot X_3 + 0.134 \cdot X_1^2 - 0.068 \cdot X_1 \cdot X_3 - 0.124 \cdot X_2 \cdot X_3$	(20)

^{1.} Испытание проводилось по ГОСТ Р 58002-2017/EN 12350-8:2010 (часть 8);

^{2.} Испытания проводилось по ЕН 12350-8.

F – морозостойкость. Первый базовый метод ГОСТ 10060-2012

[—] W – водонепроницаемость. Метод «мокрого пятна» ГОСТ 12730.5-84

Использование моделей, представленных в табл. 7, позволяет проектировать составы самоуплотняющегося бетона на основе бетонного лома прочностью на сжатие 35-45 МПа, F_1150 – F_1200 , водонепроницаемостью W4–W8.

Выводы. Принцип подбора состава основан на совместном рассмотрении (решении) полученных математических моделей. При этом выбираются соответствующие модели необходимых свойств самоуплотняющейся бетонной смеси и/или бетона. Структурные характеристики, а также количество суперпластификатора Sika ViscoCrete E55, находятся путём совместного решения соответствующих уравнений. Полученные значения должны одновременно удовлетворять предъявляемым требованиям. Перевод полученных значений уравнений в натуральный вид осуществляется по формулам:

$$x_1 = \frac{(C - 0.355)}{0.025}$$
 (1)
$$x_2 = \frac{(W - 0.26)}{0.01}$$
 (2)

$$x_2 = \frac{(W - 0.26)}{0.01} \tag{2}$$

$$x_3 = \frac{(SVC E55 - 0,275)}{0.075} \tag{3}$$

На основании проведённых исследований можно сделать следующие выводы:

- 1. При демонтаже ветхих жилых зданий образуется большое количество бетонного и железобетонного лома. Данный лом целесообразно подвергать переработки для последующего использования в технологии бетона, в том числе для получения высокоэффективных самоуплотняющихся бетонов:
- 2. При лабораторном дроблении из внутренней однослойной стеновой панели 9ВС1 получен щебень фр. 5–10 мм;
- 3. Побочным продуктом дробления является отсев 0-2,5мм. Данный отсев подвергался механохимической активации в вибромельнице сухим суперпластификатором совместно с Melflux 5581F. Оптимальное время активации – 150 мин., дозировка Melflux 5581F вводимая при активации – 0,5 % от массы отсева. Итогом активации является получение микронаполнителя (активной минеральной добавки). При содержании микронаполнителя в цементной системе в количестве 22 % наблюдается эффект водоредуцирования и увеличения прочности композита;
- 4. Проектирование зернового состава смеси заполнителей (песок, щебень из дробленого бетона фр. 5-10 мм) для самоуплотняющегося бетона осуществлялось из условия наибольшего приближения к эталонной кривой распределения частиц Фуллера в интервале соотношений г (доли песка в смеси заполнителей) = 0.45-0.55, что достигается при r = 0,458;

- 5. Проектирование состава самоуплотняющегося бетона целесообразно осуществлять математико-статистическим методом с применением структурных характеристик C, W и α;
- 6. Методом математического планирования эксперимента получены математические модели (уравнения) свойств самоуплотняющегося бетона, зависящие от структурных характеристик;
- 7. При решении соответствующих уравнений определяются структурные характеристики самоуплотняющегося бетона, зная которые можно получить бетон заданных свойств.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- 1. Россия в цифрах. 2019: Краткий статистический сборник. Росстат. М., 2019. 549 с. [Элекдоступа: тронный pecypc]. Режим https://www.gks.ru/storage/mediabank/rus19.pdf
- 2. Комплекс градостроительной политики и строительства города Москвы. Программа реновации в цифрах и фактах [Электронный ресурс]. доступа: https://stroi.mos.ru/mobile/infographics?tag=peновация+жилых+кварталов&sl ug=proghramma-rienovatsii-v-tsifrakh-i-faktakh
- 3. Larsen O.A., Samchenko S.V., Naruts V.V., Aleksandrova O.V., Bulgakov B.I. Environmental aspects of dismantling of old buildings during the reconstruction in Moscow // Proceedings of the XIX International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM. 2019. № 19. Issue 6.2. Pp. 115-122.
- 4. Ларсен О.А., Дмитриев Н.С., Наруть В.В., Швецова В.А. Повышение эффективности бетонов с использованием рециклингового заполнителя // Техника и технология силикатов. 2019. Том 26. №2. С. 46-52.
- 5. Гусев Б.В., Загурский В.А. Вторичное использование бетонов. М.: Стройиздат, 1988. 97 с.
- 6. Гусев Б.В., Кудрявцева В.Д. Дробление железобетонных изделий и вторичное использование бетона // Техника и технология силикатов. 2013. T. 20. № 2. C. 25–28.
- 7. Абдуллаев М.А.В., Абдуллаев А.М. Разработка нового вяжущего на основе отходов дробления бетонного лома и исследование его основных свойств // Актуальные проблемы современного материаловедения Сборник докладов. Грозный. 2015. С. 33-39.
- 8. Головин Н.Г., Алимов Л.А., Воронин В.В. Использование отсевов дробления бетонного лома // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. 2005. № 9 (80). С. 26–27.
- 9. Flora F., Mariano A.Z., Katya B., Carlo P. Valorization of co-combustion fly ash in concrete production // Materials Design. 2015. № 85. Pp. 687–694.
- 10.Majhi R.K., Nayak A.N., Mukharjee B.B. Development of sustainable concrete using recycled

coarse aggregate and ground granulated blast furnace slag // Construction and Building Materials. 2018. N_{\odot} 159. Pp. 417–430.

11.Jin R., Q Chen., Soboyejo A. Survey of the current status of sustainable concrete production in the U.S // Resources, Conservation and Recycling. 2015. № 105. Part A. Pp. 148–159.

12.Pereira-de-Oliveira L.A., Nepomuceno M.C.S., Castro-Gomes J.P., Vila M.F.C. Permeability properties of self-compacting concrete with coarse recycled aggregate // Construction and Building Materials. 2014. № 51. Pp. 113–120.

13.Grdic Z.J., Toplicic-Curcic G.A., Despotovic I. Ristic M., N.S. Properties of self-compacting concrete prepared with coarse recycled concrete aggregate // Construction and Building Materials. 2010. № 24. Pp. 1129–1133.

14.Воронин В.В., Алимов Л.А., Балакшин А.С. Малощебеночные бетоны на щебне из бетонного лома // Технология бетонов. 2010. № 3. С. 28.

15. Балакшин А. С. Свойства малощебеночного бетона с органоминеральной добавкой на основе отсевов дробления бетонного лома // Вестник МГСУ. 2011. № 1. С. 253–258.

16.Modani P.O., Mohitkar V. Self-compacting concrete with recycled aggregate: a solution for sustainable development // International Journal of Civil Structural Engineering. 2014. № 4. Pp. 430–440.

17. Наруть В. В., Ларсен О. А. Оценка качества продуктов дробления бетонного лома для его применения в технологии бетона // Бюллетень строительной техники. 2018. № 10. С. 47–49.

18. Баженов Ю.М., Горчаков Г.И., Алимов Л.А., Воронин В.В. Получение бетонов заданных свойств. М.: Стройиздат, 1978. 53 с.

19.Alimov L., Voronin V., Larsen O., Korovyakov V. Effect of the structural characteristics on frost resistance of concrete // Advances in Intelligent Systems and Computing. 2018. № 692. Pp. 601–607.

Информация об авторах

Ларсен Оксана Александровна, кандидат технических наук, доцент кафедры технологии вяжущих веществ и бетонов. E-mail: larsen.oksana@mail.ru. Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет. Россия, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26

Наруть Виталий Викторович, аспирант кафедры технологии вяжущих веществ и бетонов. E-mail: insolent88@mail.ru. Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет. Россия, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26

Самченко Светлана Васильевна, доктор технических наук, профессор кафедры технологии вяжущих веществ и бетонов. E-mail: samchenko@list.ru. Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет. Россия, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26

Александрова Ольга Владимировна, кандидат технических наук, доцент кафедры технологии вяжущих веществ и бетонов. E-mail: aleks_olvl@mail.ru. Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет. Россия, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26

Булгаков Борис Игоревич, кандидат технических наук, доцент кафедры технологии вяжущих веществ и бетонов. E-mail: fakultetst@mail.ru. Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет. Россия, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26

Поступила 24.01.2020.

© Наруть В.В., Ларсен О.А., Самченко С.В, Александрова О.В., Булгаков Б.И., 2020

Naruts V.V., *Larsen O.A., Samchenko S.V., Aleksandrova O.V., Bulgakov B.I.

National Research MoscowState University of Civil Engineering *E-mail:larsen.oksana@mail.ru

USE OF STRUCTURAL CHARACTERISTICS IN SELF-COMPACTING CONCRETE MIX DESIGN WITH RECYCLED CONCRETE AGGREGATES

Abstract. Huge amount of recycled concrete is formed when dismantling of buildings. The paper describes an efficient application of recycled concrete aggregates and concrete grinding fines to obtain technological, economic and ecological benefits. The possibility of effective application as materials for self-compacting concrete with the use of crushed concrete and recycled concrete fines is shown. The use of filler in self-compacting concrete mixtures obtained by activation of concrete grinding fines with polycarboxylate-based superplasticizer is shown. This paper presents the results of research of self-compacting concrete produced with

recycled concrete aggregates and activated filler. The physical and mechanical characteristics of coarse aggregate, grain distribution of aggregates and sand proportion in aggregate mix, design of self-compacting concrete mixture and its structure properties with use mathematical experiment planning method were carried out. This method applies in the design of the self-compacting concrete mixture by solving the system of equations. The equations obtained by corresponding mathematical models. The obtained mathematical models include argumentative characteristics defined by the end of structure formation. The optimal content of filler in self-compacting concrete mixture is determined. The optimal grinding mode of the equipment with specified specific surface area of the filler is obtained. The grain-size composition of mixture consisting of quartz sand and crushed concrete aggregate with fraction of 5–10 mm based on term of maximum approximation to the Fuller ideal gradation curve is designed.

Keywords: self-compacting concrete, recycled concrete, recycled concrete aggregates, activated filler, granulometry, structural characteristics.

REFERENCES

- 1. Russia in numbers. 2019: Short statistical collection. Rosstat. Moscow [Rossiya v cifrah. 2019: Kratkij statisticheskij sbornik. Rosstat], 2019. 549 p. [access Mode: https://www.gks.ru/storage/mediabank/rus19.pdf (rus)
- 2. Complex of urban planning policy and construction of the city of Moscow. Renovation figures and facts [Kompleks program in gradostroitel'noj politiki i stroitel'stva goroda Programma renovacii Moskvy. cifrah faktah] Mode: access https://stroi.mos.ru/mobile/infographics?tag
- 3. Larsen O.A., Samchenko S.V., Naruts V.V., Aleksandrova O.V., Bulgakov B.I. Environmental aspects of dismantling of old buildings during the reconstruction in Moscow. Proceedings of the XIX International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM. 2019. Vol. 19. Iss. 6.2. Pp. 115–122.
- 4. Larsen O.A., Dmitriev N.S., Naruts V.V., Shvetsova V.A. Improvement the efficiency of concrete with recycled aggregates [Povyshenie effektivnosti betonov s ispol'zovaniem reciklingovogo zapolnitelya]. Technique and technology of silicates. 2019. Vol. 26. No. 2. Pp. 46–52. (rus)
- 5. Gusev B.V., Zagursky V.A. Secondary use of concrete [Vtorichnoe ispol'zovanie betonov]. Moscow: Stroizdat. 1988, 97 p. (rus)
- 6. Gusev B.V., Kudryavtseva V.D. Crushing of reinforced concrete products and secondary use of concrete [Droblenie zhelezobetonnyh izdelij i vtorichnoe ispol'zovanie betona]. Technique and technology of silicates. 2013. Vol. 20. No. 2. Pp. 25–28. (rus)
- 7. Abdullaev M.A.V., Abdullaev A.M. Development of a new binder based on crashed concrete waste and research of its main properties [Razrabotka novogo vyazhushchego na osnove othodov drobleniya betonnogo loma i issledovanie ego osnovnyh svojstv]. Actual problems of modern materials science Sbornik dokladov. Grozny. 2015. Pp. 33–39. (rus)
- 8. Golovin N.G., Alimov L.A., Voronin V.V. Use of fines from recycled crashed concrete

- [Ispol'zovanie otsevov drobleniya betonnogo loma]. Construction materials, equipment, technologies of the XXI century. 2005. No. 9 (80). Pp. 26–27. (rus)
- 9. Flora F., Mariano A.Z., Katya B., Carlo P. Valorization of co-combustion fly ash in concrete production. Materials Design. 2015. Vol. 85. Pp. 687–694.
- 10.Majhi R.K., Nayak A.N., Mukharjee B.B. Development of sustainable concrete using recycled coarse aggregate and ground granulated blast furnace slag. Construction and Building Materials. 2018. Vol. 159. Pp. 417–430.
- 11. Jin R., Chen Q., Soboyejo A. Survey of the current status of sustainable concrete production in the U.S. Resources, Conservation and Recycling. 2015. Vol. 105. Part A. Pp. 148–159.
- 12.Pereira-de-Oliveira L.A., Nepomuceno M.C.S., Castro-Gomes J.P., Vila M.F.C. Permeability properties of self-compacting concrete with coarse recycled aggregate. Construction and Building Materials. 2014. Vol. 51. Pp. 113–120.
- 13.Grdic Z.J., Toplicic-Curcic G.A., Despotovic I., Ristic M., N.S. Properties of self-compacting concrete prepared with coarse recycled concrete aggregate. Construction and Building Materials. 2010. Vol. 24. Pp. 1129–1133.
- 14. Voronin V.V., Alimov L.A., Balakshin A.S. Concrete with low content of crashed concrete coarse aggregate [Maloshchebenochnye betony na shchebne iz betonnogo loma]. Concrete Technology. 2010. No. 3. Pp. 28–29. (rus)
- 15.Balakshin A.S. Properties of low-grade concrete with an organomineral additive based on waste recycled concrete [Svojstva maloshchebenochnogo betona s organomineral'noj dobavkoj na osnove otsevov drobleniya betonnogo loma]. Vestnik MGSU. 2011. No. 1. Pp. 253–258. (rus)
- 16.Modani P.O., Mohitkar V. Self-compacting concrete with recycled aggregate: a solution for sustainable development. International Journal of Civil Structural Engineering. 2014. Vol. 4. Pp. 430–440.
- 17.Naruts V.V., Larsen O.A. Assessment of the quality of crashed concrete products for their application in concrete technology [Ocenka kachestva produktov drobleniya betonnogo loma

dlya ego primeneniya v tekhnologii betona]. BST: Bulletin of building equipment. 2018. No. 10. Pp. 47–49. (rus)

18.Bazhenov Yu.M., Gorchakov G.I., Alimov L.A., Voronin V.V. Concrete with specified properties [Poluchenie betonov zadannyh svojstv].

Moscow: Stroizdat, 1978. 53 p. (rus)

19. Alimov L., Voronin V., Larsen O., Korovyakov V. Effect of the structural characteristics on frost resistance of concrete. Advances in Intelligent Systems and Computing. 2018. Vol. 692. Pp. 601–607.

Information about the authors

Larsen, Oksana A. PhD, Assistant professor. E-mail: larsen.oksana@mail.ru. National Research Moscow State University of Civil Engineering. Russia, 129337, Moscow, Yaroslavskoe shosse, 26.

Naruts, Vitaly V. Postgraduate student. E-mail: insolent88@mail.ru. National Research Moscow State University of Civil Engineering. Russia, 129337, Moscow, Yaroslavskoe shosse, 26.

Samchenko, Svetlana V. DSc, Professor. E-mail: samchenko@list.ru. National Research Moscow State University of Civil Engineering. Russia, 129337, Moscow, Yaroslavskoe shosse, 26.

Aleksandrova, Olga V. PhD, Assistant professor. E-mail: aleks_olvl@mail.ru. National Research Moscow State University of Civil Engineering. Russia, 129337, Moscow, Yaroslavskoe shosse, 26.

Bulgakov, Boris I. PhD, Assistant professor. E-mail: fakultetst@mail.ru. National Research Moscow State University of Civil Engineering. Russia, 129337, Moscow, Yaroslavskoe shosse, 26.

Received 24.01.2020

Для цитирования:

Наруть В.В., Ларсен О.А., Самченко С.В, Александрова О.В., Булгаков Б.И. Разработка составов самоуплотняющегося бетона на основе бетонного лома с использованием структурных характеристик // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2020. № 4. С. 8–16. DOI: 10.34031/2071-7318-2020-5-4-8-16

For citation:

Naruts V.V., Larsen O.A., Samchenko S.V., Aleksandrova O.V., Bulgakov B.I. Use of structural characteristics in self-compacting concrete mix design with recycled concrete aggregates. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2020. No. 4. Pp. 8–16. DOI: 10.34031/2071-7318-2020-5-4-8-16

DOI: 10.34031/2071-7318-2020-5-4-17-23

Ядыкина В.В., *Кузнецова Е.В., Лебедев М.С.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова *E-mail: kuznecova.k@inbox.ru

ИЗМЕНЕНИЕ СВОЙСТВ АСФАЛЬТОБЕТОНА ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ГИДРОФОБИЗИРОВАННОГО МИНЕРАЛЬНОГО ПОРОШКА

Аннотация. Одним из важнейших структурообразующих компонентов асфальтобетона является минеральный порошок, от качества которого зависят технические и эксплуатационные характеристики дорожного покрытия. Для улучшения эксплуатационных свойств асфальтобетона в России и за рубежом используются разные способы обработки минеральных материалов. В большинстве случаев применяют механоактивацию органическими веществами в процессе помола.

B статье приведены результаты исследований по влиянию обработки минерального порошка Препаратом $\Gamma\Phi$ -l на его характеристики и на изменение физико-механических свойств асфальтобетона, а также на показатели при длительном водонасыщении.

Показано, что в результате модифицирования минеральный порошок становится гидрофобным, что положительно отражается на физико-механических характеристиках асфальтобетона с его использованием. Установлено, что гидрофобизация минерального порошка значительно снижает показатели водонасыщения и набухания и повышает водостойкость при длительном водонасыщении (до 90 суток) образцов асфальтобетона. В результате гидрофобизации значительно увеличивается показатель температурной чувствительности асфальтобетона, следовательно, композит будет надежно работать в более широком температурном интервале.

Ключевые слова: минеральный порошок, Препарат $\Gamma\Phi$ -1, гидрофобизация минерального порошка, асфальтобетон, физико- механические характеристики, длительная водостойкость.

Введение. Условия движения современного автомобильного транспорта выдвигают задачу повышения качества и долговечности автомобильных дорог. Одной из основных причин преждевременного разрушения дорожного покрытия является несоответствующее качество применяемых асфальтобетонных смесей [1–2].

Неотъемлемой составной частью асфальтобетонных смесей является тонкодисперсный минеральный порошок, который представляет собой продукт тонкого измельчения известняков и доломитов, металлургических шлаков, другого техногенного сырья. На его долю приходится до 90–95 % суммарной поверхности минеральных зерен, входящих в состав асфальтобетона. Минеральный порошок, являясь активным структурирующим компонентом асфальтобетона, во многом предопределяет его эксплуатационные характеристики и срок службы всего дорожного покрытия [3–5].

Одним из способов улучшения физико-механических свойств асфальтобетона является применение высокачественных минеральных порошков. Для улучшения эксплуатационных свойств асфальтобетона в России и за рубежом используются различные способы обработки минеральных материалов, в том числе и минеральных порошков [3–9]. В большинстве случаев для увеличения структурирующего эффекта минерального порошка применяют физико-механическую обработку органическими веществами в процессе помола [6–9]. В нормативной, да и

научной литературе этот процесс называют активацией, а сами порошки активированными. В соответствии с ГОСТ-52129-2003 [3] активированные минеральные порошки должны быть гидрофобными. После обработки наполнители защищены от доступа влаги, и поэтому их гидрофобные свойства мало изменяются с течением времени. Благодаря изменению свойств поверхности зерен, гидрофобизированные минеральные порошки лучше смачиваются битумом, не впитывают влагу, не слеживаются при хранении и транспортировке, обладают пониженной пористостью.

Многочисленными исследованиями подтверждено [10–17], что использование гидрофобизированных минеральных материалов в различных композитах на органических и минеральных вяжущих улучшает их структуру, свойства, технологические и эксплуатационные свойства.

Целью настоящей работы явилось изучение влияния гидрофобизации минерального порошка из известняка на изменение физико-механических характеристик асфальтобетона, его длительную водостойкость, водонасыщение и набухание при длительном водонасыщении.

Методология. В качестве минерального порошка использовали известняковый порошок изготовителя ООО «Дробильно-сортировочный завод» Калужской области. В качестве гидрофобизатора использовали Препарат-ГФ производства ООО «Селена» [18]. Для приготовления гидрофо-

бизированного наполнителя известняковый минеральный порошок предварительно высушивали в сушильном барабане, затем в горячий порошок вводили гидрофобизатор и тщательно перемешивали.

Гидрофобность минерального порошка определяли по ГОСТ 32704-2014 [19] методом свободного флотирования и по изменению влагопоглощения.

Стеклянные стаканы заполняли дистиллированной водой на 50 мм ниже края. Около 2 г порошка ссыпали со шпателя на поверхность воды легкими постукиваниями шпателя по краю стакана. Стаканы с водой и порошком оставляли в покое на 24 ч. Порошок считается гидрофобным, если за 24 часа он не осядет на дно и не будет наблюдаться видимого смачивания его водой.

Суть метода определения влагопоглощения заключалась в том, что пробы гидрофобизированного и контрольного образцов минерального порошка взвешивали в бюксах на аналитических весах и помещали в эксикатор, заполненный дистиллированной водой. Взвешивание осуществ-

ляли каждые сутки до полного насыщения и рассчитывали влагопоглощение. Эксперимент проводили в течение 14 суток.

Для определения физико-механически характеристик асфальтобетона были изготовлены и испытаны по стандартным методикам согласно ГОСТ 12801-98 образцы из асфальтобетонной смеси непрерывного гранулометрического состава, подобранного в соответствии с ГОСТ 9128-2013. Помимо основных характеристик определяли водостойкость, водонасыщение и набухание после насыщения водой в течение 15, 30, 60, и 90 суток.

Основная часть. Научно-производственная компания ООО «Селена» выпускает гидрофобизатор для производства гидрофобных марок минерального порошка, под торговой маркой Препарат $\Gamma\Phi$ -1. Рекомендуемая дозировка от 0,13 до 0,6 % от массы минерального порошка.

На рис. 1 представлены фотографии контрольного известнякового минерального порошка, а также обработанного гидрофобизатором в количестве 0,4 %, которое, в соответствии с предыдущими исследованиями [20], является рациональным.





Рис. 1. Гидрофобность известнякого минерального порошка а) контрольной образец; б) после гидрофобизации

Из представленного рисунка видно, что известняковый минеральный порошок, обработанный Препаратом $\Gamma\Phi$ -1, становится полностью гидрофобными, то есть он не смачивается водой и плавает на поверхности, в отличии контрольного, необработанного образца, частички которого полностью осели на дно.

В работе [20] исследовано влияние Препарата ГФ-1 на свойства минерального порошка. Установлено, что модифицирование наполнителя уменьшает его влагопоглощение, причем с увеличением концентрации гидрофобизатора эффективность обработки возрастает.

Влагопоглощение необработанного известнякового минерального порошка через 14 суток

составило 2,5 %, тогда как обработанного Препаратом — $\Gamma\Phi$, при его содержании в количестве равном 0,4 и 0,6 %, 1,6 и 1,55 % соответственно. Таким образом, влагопоглощение этих образцов снизилось на 36 и 38 % соответственно.

Полученные результаты по гидрофобности и влагопоглощению минеральных порошков, обработанных Препаратом ГФ-1, дают основание предполагать, что их использование будет способствовать повышению прочности в зоне контакта «минеральный наполнитель — битум», характеризоваться комплексом улучшенных физико-механических и деформационных свойств, а также эффективно противостоять агрессивным воздействиям атмосферных осадков и грунтовых вод.

Изучение влияния Препарата $\Gamma\Phi$ -1 на свойства дорожного композита проводили на примере асфальтобетонной смеси типа Γ марки III.

В состав асфальтобетонной смеси входили:

- $-\,$ отсев кварцитопесчаника Лебединского ГОКа фр. 0-5 мм $-\,92~\%$
- минеральный порошок из известняка 8 %
- битум БНД 60/90-6,50~% (сверх минеральной части)

Ранее было установлено, что оптимальное количество битума (сверх минеральной части) для состава с гидрофобизированным минеральным порошком на 0,6 % меньше, чем для состава с исходным минеральным порошком. Поэтому при использовании гидрофобизированного минерального порошка количество битума в смеси было уменьшено до 5,94 %.

Результаты исследования асфальтобетона представлены в таблице.

Таблица 1

Физико - механические свойства асфальтобетона

Наименование показателя	Требования	Минеральный порошок		
	ГОСТ 9128-2013	исходный	гидрофобиз.	
Предел прочности, МПа: при 20 °C				
не менее:	2,5	5,39	5,95	
при 50 °C				
не менее	1,3	3,14	3,56	
при 0 °С	11.0	10.62	0.57	
Не более	11,0	10,62	9,57	
Водостойкость, не менее:	0,90	0,91	0,96	
Водонасыщение %	=	1,9	1,06	
Набухание %	-	0,71	0,32	

Сравнение результатов испытаний образцов позволяет сделать вывод о том, что при использовании гидрофобизированного минерального порошка повышаются физико-механические характеристики асфальтобетона.

Прочность при 20 °С возросла на 14,4 %, при 50 °С — на 13,4 %, при 0 °С уменьшилась на 9,9 %, что должно положительно отразиться на эксплуатационных свойствах асфальтобетонного покрытия.

Большое влияние на качество асфальтобетона оказывает его поведение во влажных условиях. Результаты испытаний показали, что гидрофобизация минерального порошка исследуемым препаратом оказала значительное позитивное влияние на показатели водонасыщения, набухания, водостойкости. Так, водонасыщение образцов в результате гидрофобизации снизилось на 44,6 %, набухание – более чем в два раза, показатель водостойкости вырос с 0,91 до 0,96, водостойкость при длительном водонасыщении повысилась с 0,88 до 0,94.

В результате гидрофобизации более чем на $20\,\%$ увеличился показатель температурной чувствительности асфальтобетона (R_{50}/R_0) — с 0,3 до 0,37, следовательно, асфальтобетон будет надежно работать в более широком температурном интервале.

Свойства минерального порошка, обладающего наиболее развитой поверхностью по сравнению с другими минеральными компонентами асфальтобетонной смеси, оказывают большое влияние на коррозионную устойчивость асфальтобетона. При длительном увлажнении вода проникает в поры асфальтобетона, частично насыщает битум, проникает через дефектные места битумных слоев к поверхности минеральных зёрен. Это способствует отслаиванию битумных пленок, особенно при недостаточной адгезии их к поверхности минеральных частиц, что приводит к ослаблению структурных связей в асфальтобетоне и облегчает его разрушение под действием транспортных средств.

В связи с изложенным представляло интерес изучение устойчивости структуры асфальтобетона при длительном воздействии агрессивных факторов окружающей среды, а именно воздействии воды. Поскольку гидрофобизация минерального порошка направлена на увеличение его сцепления с битумом, следовало ожидать повышения устойчивости асфальтобетона к воздействию воды.

Исследовано изменение показателей водостойкости, водонасыщения и набухания в результате длительного насыщения водой до 90 суток (рис. 2–4).

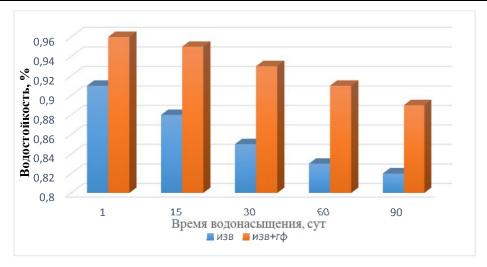


Рис. 2. Влияние гидрофобизации на длительную водостойкость асфальтобетона

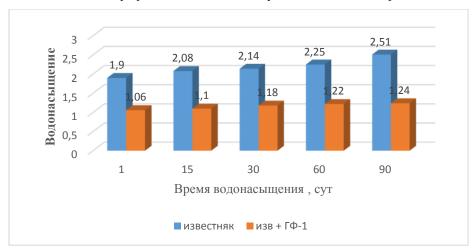


Рис. 3. Влияние гидрофобизации на водонасыщение асфальтобетона



Рис. 4. Влияние гидрофобизации на набухание асфальтобетона

Анализ представленных результатов (рис. 2—4) позволяет заключить, что в асфальтобетоне, приготовленном на основе известнякового минерального порошка, снижение водостойкости после 90 суток водонасыщения составило 11 %, тогда как обработка минерального порошка Препаратом-ГФ, позволяет снизить этот показатель лишь на 7,3 %. В наибольшей степени гидрофобизация минерального порошка оказала влияние на показатели водонасыщения и набухания. Так,

водонасыщение образцов асфальтобетона на исходном минеральном порошке после 90 суток нахождения в воде составило 2,51 %, тогда как на гидрофобизированном наполнителе — 1,24, то есть практически в два раза меньше. Аналогично изменился показатель набухания.

Выводы. Использование Препарата ГФ-1 для обработки минерального порошка приводит к гидрофобизации его поверхности, что положительно отражается на физико-механических характеристиках асфальтобетона.

Образцы асфальтобетона с использованием гидрофобизированного минерального порошка характеризуются более высокими показателями водостойкости при длительном водонасыщении, что свидетельствует об увеличении адгезии на границе раздела фаз «вяжущее — минеральный наполнитель». На основании этого можно прогнозировать более длительные сроки службы асфальтобетонных покрытий автомобильных дорог с использованием гидрофобизированного минерального порошка.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- 1. Гезенцвей Л.Б. Дорожный асфальтобетон. М.: Транспорт, 1985. 350 с.
- 2. Миронов В.А., Голубев А.И., Тимофеев А.Г. Улучшение качества асфальтобетона регулированием свойств сырьевых материалов // Строительные материалы. 2007. № 5. С. 26–27.
- 3. ГОСТ 52129-2003. Порошок минеральный для асфальтобетонных и органоминеральных смесей. Технические условия. Введ: 2003-06-27. \mathbb{N} 119. 33 с.
- 4. Горелышев Н.В. Гезенцвей Л.Б. Асфальтобетон из активированных минеральных материалов. М.: Стройиздат, 1971. 256 с.
- 5. Борисенко О.А. Влияние дисперсности и удельной поверхности минерального порошка на формирование структуры и физико- механических свойств асфальтобетона / Сб. науч.тр. Сев-КавГТУ. Серия «Естественнонаучная» // Северо-Кавказский гос.тех.ун-т. Ставрополь, 2004. С. 1–5.
- 6. Гезенцвей Л.Б. Асфальтовый бетон из активированных минеральных материалов. М.: Стройиздат, 1971. 255 с.
- 7. Ковалев Я.Н. Активационные технологии дорожных композиционных материалов (научнопрактические основы). Мн.: Белоруская Энцыклапедия, 2002. 334 с.
- 8. Траутваин А.И., Ядыкина В.В., Гридчин А.М. Повышение реакционной способности наполнителей в результате помола // Строительные материалы. 2010. №12. С. 82–85.
- 9. Пат. 2112759, Российская Федерация. Активированный минеральный порошок для асфальтобетонных смесей / Першин М.Н., Молодежкин С.О.; заявл. 08.01.1997; опубл.27.10.1998.
- 10. Курьянов В.В. Исследование способов активации минерального порошка завода «Красцветмет» // Сб. Материалов V11 Всерос. Научно-

техн.конф.сиудентов, аспирантов, и молодых учёных «Молодежь и наука». Красноярск: Сиб. федер.ун-т. 2011. С. 23–25.

- 11. Алексеенко В.В., Салтанова Ю.В. Использование модифицированных минеральных порошков при производстве горячего асфальтобетона // Вестник науки и образования Северо-Запада России. 2016. Т.2. №2. С. 1–5.
- 12.Пат. №2112759, Российская Федерация. Активированный минеральный порошок / Неуров Г.П.; заявл. 20.05.1997; опубл. 10.11.1998.
- 13.Пат. 2160238, Российская Федерация. Активированный минеральный порошок для асфальтобетонных смесей / А. И. Дунаев, В.В. Кунеевский, З.А. Файрузов, Д. И Косоренков, Р.З Хазипов; заявл. 14.12.1999; опубл. 10.12.2000.
- 14. Калашников В.И., Хвастунов В.Л., Нестеров В.Ю., Василик П.Г Органические гидрофобизаторы в минеральношлаковых композиционных материалах из горных пород // Строительные материалы. 2005. №4. С. 26–29.
- 15. Калашников В.И., Мороз М.Н. Теоретические основы смачиваемости мозаичных гидрофобно-гидрофильных поверхностей // Строительные материалы. 2008. №1. С. 47–49.
- 16.Копылов В.Е., Буренина О.Н., Павлова Е.А. Активация минеральных порошков, как способ улучшения физико-механических характеристик асфальтовых бетонов [Электронный ресурс] https://naukovedenie.ru/PDF/48TVN517.pdf
- 17. Мисников О.С., Белугин Д.Ю. Разработка метода гидрофобной модификации строительных материалов органическими добавками на основе торфа // Торф и бизнес. 2007. №1(7). С. 38—46.
- 18. Рекомендации по применению препарата ГФ (гидрофобизатор) для минеральных порошков // Инновационные дорожные материалы «ООО СЕЛЕНА». С.1–5.
- 19.ГОСТ 32704-2014. Дороги автомобильные общего пользования. Порошок минеральный. Метод определения гидрофобности. Введ. 2015-02-01. С. 1–6.
- 20. Кайдалова И.И., Кузнецова Е.В. Улучшения свойств минерального порошка в результате обработки гидрофобизатором // В сб.: Актуальные вопросы технических наук и техники: сб.науч.трудов по итогам Международ.науч.практ.конф. Белгород: изд-во БГТУ, 2017. С. 11–13.

Информация об авторах

Ядыкина Валентина Васильевна, доктор технических наук, профессор. E-mail: vvya@intbel.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Кузнецова Екатерина Викторовна, аспирант кафедры автомобильных и железных дорог. E-mail: kuznecova.k@inbox.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Лебедев Михаил Сергеевич, кандидат технических наук, научный сотрудник ЦВТ. E-mail: michaell1987@yandex.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Поступила 25.12.2019.

© Ядыкина В.В., Кузнецова Е.В., Лебедев М.С., 2020

Yadykina V.V., *Kuznetsova E.V., Lebedev M.S.

Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov *E-mail: kuznecova.k@inbox.ru

CHANGE IN THE PROPERTIES OF ASPHALT CONCRETE WHEN USING HYDROPHOBIZED MINERAL POWDER

Abstract. One of the main factors is the structure of asphalt concrete. The most important structural component in asphalt concrete is mineral powder, the quality of which depends on the technical and operational characteristics of the road surface. Different methods of processing mineral materials are used to improve the performance of asphalt concrete in Russia and abroad. In most cases, mechanical activation with organic substances is used during the grinding process.

The article presents the results of research on the effect of treatment of mineral powder with the preparation GF-1 on its characteristics and on changes in the physical and mechanical properties of asphalt concrete, as well as on indicators for long-term water saturation.

It is shown that as a result of modification, the mineral powder becomes hydrophobic, which has a positive effect on the physical and mechanical characteristics of asphalt concrete with its use. It is found that hydrophobization of mineral powder significantly reduces water saturation and swelling; increases water resistance during long-term water saturation (up to 90 days) of asphalt concrete samples. As a result of hydrophobization, the temperature sensitivity of asphalt concrete increases significantly. Therefore, the composite will work reliably in a wider temperature range.

Keyword: mineral powder, GF-1 preparation, hydrophobization of mineral powder, asphalt concrete, physical and mechanical characteristics, long-term water resistance.

REFERENCES

- 1. Gesenzwey L.B. Road asphalt concrete [Dorozhnyj asfal'tobeton]. M: Transport, 1985. 350 p. (rus)
- 2. Mironov V.A., Golubev A.I., Timofeev A.G. Improving the quality of asphalt concrete by regulating the properties of raw materials [Uluchshenie kachestva asfal'tobetona regulirovaniem svojstv syr'evyh materialov]. Building materials. 2007. No. 5. Pp. 26–27. (rus)
- 3. GOST 52129-2003 "Mineral Powder for asphalt concrete and organomineral mixtures. Technical conditions [Poroshok mineralnyi dlia asfaltobetonnykh i organomineralnykh smesei Tekhnicheskie usloviia]. 2003-06-27. No. 119. 33 p. (rus)
- 4. Gorelyshev N.V. Gezentsvey L.B. Asphalt concrete made of activated mineral materials [Asfal'tobeton iz aktivirovannyh mineral'nyh materialov]. M.: Stroyizdat, 1971. 256 p.(rus)
- 5. Borisenko O.A. Influence of dispersion and specific surface of mineral powder on formation of structure and physical and mechanical properties of

- asphalt concrete [Vliyanie dispersnosti i udel'noj poverhnosti mineral'nogo poroshka na formirovanie struktury i fiziko- mekhanicheskih svojstv asfal'tobetona] tr. Sevkavgtu. Series "natural Science" North Caucasus state technical University-Stavropol, 2004. Pp. 1–5. (rus)
- 6. Gezentsvey L.B. Asphalt concrete made of activated mineral materials [Asfal'tovyj beton iz aktivirovannyh mineral'nyh materialov]. M: Stroizdat, 1971. 255 p. (rus)
- 7. Kopylov V.E., Burenina O.N., Pavlova E.A. Activation of mineral powders as a way to improve the physical and mechanical characteristics of asphalt concretes [Aktivaciya mineral'nyh poroshkov, kak sposob uluchsheniya fiziko-mekhanicheskih harakteristik asfal'tovyh betonov] https://naukovedenie.ru/PDF/48TVN517.pdf. (rus)
- 8. Kovalev Y.N. Activation technology road composite materials (scientific and practical bases) [Aktivacionnye tekhnologii dorozhnyh kompozicionnyh materialov (nauchno-prakticheskie osnovy]. Mn.: Belarusian Encyclapedia, 2002. 334 p. (rus)

- 9. Trautwein A.I., Yadykina V.V., Gridchin A.M. Enhancement of the reactivity of the fillers as a result of grinding [Povyshenie reakcionnoj sposobnosti napolnitelej v rezul'tate pomola. Materials]. 2010. No. 12. Pp. 82–85. (rus)
- 10. Pershin M.N., Vladicin S.O. Activated mineral powder for asphalt mixtures [Aktivirovannyj mineral'nyj poroshok dlya asfal'tobetonnyh smesej]. Patent RF, no 2112759; Appl. 08.01.1997; publ.27.10.1998. (rus)
- 11.Kuryanov V.V. Research of ways of activation of mineral powder of plant "Krastsvetmet [Issledovanie sposobov aktivacii mineral'nogo poroshka zavoda «Krascvetmet]. Sb.Materialov V11 Vseros. Nauchno-tekhn.konf.siudentov, aspirantov, i molodyh uchyonyh « Molodezh' i nauka». Krasnoyarsk: Sib. feder.un-t. 2011. Pp. 23–25.
- 12. Alekseenko V.V., Saltanova Y.V. The use of modified mineral powders in the production of hot asphalt concrete [Ispol'zovanie modificirovannyh mineral'nyh poroshkov pri proizvodstve goryachego asfal'tobetona]. Vestnik nauki i obrazovaniya Severo-Zapada Rossii. 2016. Vol.2. No. 2. Pp. 1–5. (rus)
- 13.Neurov G.P Activated mineral powder [Aktivirovannyj mineral'nyj poroshok]. Patent RF. no. 2112759, 1998. (rus)
- 14.. Dunaev A.I., Kosorenkov R.Z. Kuneevsky V.V., Activated mineral powder for asphalt concrete mixtures [Aktivirovannyj mineral'nyj poroshok dlya asfal'tobetonnyh smesej]. Patent RF. 2160238, 2000. (rus)
- 15.Kalashnikov V.I., Khvastunov V.L., Nesterov V.Yu., Vasilik P.G. Organic hydrophobizers in mineral slag composite materials from rocks

[Organicheskie gidrofobizatory v mineral'noshlakovyh kompozicionnyh materialah iz gornyh porod]. Building materials. 2005. No. 4. Pp. 26–29. (rus)

- 16.Kalashnikov V.I., Moroz M.N. Theoretical bases of wettability of mosaic hydrophobic-hydrophilic surfaces. [Teoreticheskie osnovy smachivae-mosti mozaichnyh gidrofobno-gidrofil'nyh pover-hnostej]. Building materials. 2008. No. 1. Pp. 47–49. (rus)
- 17.Misnkov O.S., Belugin D.Yu. Development of a method of hydrophobic modification of building materials by organic additives on the basis of peat [Razrabotka metoda gidrofobnoj modifikacii stroitel'nyh materialov organicheskimi dobavkami na osnove torfa]. Peat and business. 2007. No. 1(7). Pp. 38–46. (rus)
- 18.Recommendations for use of the preparation GF (hydrophobizer) for mineral powders [Rekomendacii po primeneniyu preparata GF (gidrofobizator) dlya mineral'nyh poroshkov]. Innovacionnye dorozhnye materialy «OOO SELENA». Pp. 1–5. (rus)
- 19.GOST 32704-2014 Public roads. Mineral powder. Method for determining hydrophobicity [Dorogi avtomobilnye obshchego polzovaniia Poroshok mineralnyi Metod opredeleniia gidrofobnosti]. 2015-02-01. Pp. 1–6. (rus)
- 20. Kaidalova I.I., Kuznetsova E.V. Improving the Properties of mineral powder as a result of treatment with a hydrobosizer [Uluchsheniya svojstv mineral'nogo poroshka v rezul'tate obrabotki gidrofobizatorom] V sb.: Aktual'nye voprosy tekhnicheskih nauk i tekhniki: sb.nauch.trudov po itogam Mezhdunarod.nauch. prakt. konf. Belgorod: izd-vo BGTU, 2017. Pp. 11–13. (rus)

Information about the authors

Yadykina, Valentina V. DSc, Professor. E-mail: vvya@intbel.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. 46 Kostyukova str., Belgorod, 308012, Russia.

Kuznetsova, Ekaterina V. Postgraduate student. E-mail: kuznecova.k@inbox.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. 46 Kostyukova str., Belgorod, 308012, Russia.

Lebedev, Mikhail S. Researcher of the Central research University E-mail: michaell1987@yandex.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. 46 Kostyukova str., Belgorod, 308012, Russia.

Received 25.12.2019

Для цитирования:

Ядыкина В.В., Кузнецова Е.В., Лебедев М.С. Изменение свойств асфальтобетона при использовании гидрофобизированного минерального порошка // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2020. № 4. С. 17–23. DOI: 10.34031/2071-7318-2020-5-4-17-23

For citation:

Yadykina V.V., Kuznetsova E.V., Lebedev M.S. Change in the properties of asphalt concrete when using hydrophobized mineral powder. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2020. No. 4. Pp. 17–23. DOI: 10.34031/2071-7318-2020-5-4-17-23

DOI: 10.34031/2071-7318-2020-5-4-24-31

Егорова А.Д., *Попов А.Л., Заровняев П.П., Дуюков Т.Т.

Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова *E-mail: surrukin@gmail.com

ВЛИЯНИЕ МИКРОАРМИРОВАНИЯ ХРИЗОТИЛ-АСБЕСТОМ РАЗНЫХ МАРОК НА СВОЙСТВА И СТРУКТУРУ ПЕН

Аннотация. В работе обоснована эффективность и перспективность исследований в направлении микроармирования минеральными волокнами ячеистых материалов. В связи с зависимостью качества пенобетона от качества применяемой пены, в работе рассматривается микроармирование пены как прием, повышающий её качественные показатели. Так, рассматривается влияние на физикомеханические свойства пен добавки хризотил-асбеста в виде смесей волокон различного фракционного состава. Смеси хризотил-асбеста представляют собой тонкие волокна и пряди, что прогнозирует их равномерное распределение, по матрище строительных композитов, улучшая их структурную стойкость и повышая прочностные характеристики. В статье исследованы влияние концентрации и фракционного состава хризотил-асбеста на кратность и стойкость пен. А также показаны особенности синерезиса и структуры микроармированных хризотил-асбестом пен. Показано, что микроармирование пен волокнами хризотил-асбеста повышает их структурную стойкость, замедляя синерезис системы и предотвращая осаждение столба пены, но снижает её кратность относительно раствора пенообразователя. Также микроармирование повышает стойкость пены в поризованном растворе, характеризуемой сохранением пеной изначального объема в составе цементной смеси. В статье обоснован выбор наиболее эффективной марки хризотил-асбеста и его дозировки для повышения свойств пены

Ключевые слова: хризотил-асбест, минеральные волокна, пенообразователь, пена, пенобетон.

Введение. Одним из наиболее актуальных вопросов в области ячеистых бетонов является повышение их эффективных свойств, в том числе с применением местного регионального сырья [1–8]. Российский и зарубежный опыт показывает, что наиболее перспективным и широко применяемым методом улучшения характеристик пенобетонов является микроармирование дисперсными волокнами [9–13]. Исходя из этого, для расширения сырьевой базы применяемых компонентов для получения ячеистых бетонов, необходимы научные исследования, направленные на изучение возможности применения микроармирующих волокон различного происхождения и состава в технологии пенобетона.

Известно, что свойства пенобетона по большей части зависят от качества применяемых пен [14, 15]. Пена для пенобетонов – это высококонцентрированная дисперсная система с газовой дисперсной фазой и жидкой дисперсионной средой. Качество пен определяются физико-механическими свойствами – кратностью, стойкостью, коэффициентом синерезиса, а также размером пор. Исследованиями авторов показано [14], что повышение стойкости пен возможно микроармированием пены дисперсными волокнами, которые способствуют более медленному синерезису т.е. вододелению в пене за счёт закупорки каналов стекания жидкости, что способствует более длительному сохранению пены в исходном мел-

копористом состоянии. В данной работе предлагается рассмотрение в качестве микроармирующей добавки волокон хризотил-асбеста. Главное преимущество хризотил-асбеста это его способность делиться на тонкие волокна и пряди, вплоть до элементарных кристаллов, с сохранением высокой прочности на разрыв (до 350 кг/мм^3), что прогнозирует его равномерное распределение, по матрице строительных композитов, улучшая их структурную стойкость и повышая прочностные характеристики. Такое преимущество хризотила в совокупности с достаточно большой распространённостью месторождений асбеста на территории России, делает его перспективным материалом для производства пенобетонов.

Методология. Основными характеристиками пенообразователей являются кратность, стойкость во времени и стойкость в поризуемом растворе определяемые по формулам 1–4 согласно ГОСТ Р 50588–2012 и ГОСТ 6948–81.

Кратность пены определяется значением отношения объема полученной пены к объему использованного для её формирования раствора пенообразователя:

$$K = \frac{V_n}{V_{no}}; \tag{1}$$

где V_{π} – объем полученной пены, л; $V_{\pi\sigma}$ – объем раствора пенообразователя из которого была получена пена, л.

Стойкость пены определяется временем, в течение которого не происходит осаждения столба пены, однако из-за значительного влияния на стойкость пены микроармирования, для более чистого эксперимента стойкость пены оценивалось временем выделения из пены жидкости в количестве 50 % от раствора пенообразователя, использованного для формирования испытываемой пены.

Кроме выше обозначенных показателей, стойкость пены определяется коэффициентами стойкости по синерезису (K_c^{Π}) и объему (K_V^{Π}), характеризующие процессы водотделения:

$$K_c^{\Pi} = 1 - \frac{M_c}{\rho_{\Pi}}; \qquad (2)$$

$$K_V^C = 1 - \frac{V_H - V_\tau}{V_W};$$
 (3)

где $\rm M_c$ — масса синерезиса 1 л пены (количество выделившейся воды), г; $\rho_{\rm \Pi}$ — плотность пены, г/л; $V_{\rm T}$ — изменяемый во времени объем пены, л; $V_{\rm H}$ — начальный объем пены, л.

Физический смысл явления синерезиса состоит в стекании избыточной жидкости из плёнок пены в места их стыков и последующем вытекании под действием гравитации в нижние слои пены. Таким образом, утончение плёнок приводит к коалесценции пузырьков пены и укрупнению ячеистой структуры. Итогом указанного процесса становится снижение устойчивости пены и сокращение времени ее «жизни».

Стойкость пены в поризованном растворе рассчитывается отношением объема полученной пеносмеси к сумме исходных объемов пены и цементного раствора в раздельности:

$$C_{\text{il}T}^{\Pi} = \frac{V_{\text{il}T}^{\text{nop}}}{V_{\text{il}T} + V_{\text{neh}}};$$
 (4)

где $V_{\rm цT}^{\rm nop}$ – объем полученного поризованного теста, л; $V_{\rm цT}$ – объем цементного теста, л; $V_{\rm neh}$ – объем пены, л.

Определение данного показателя осуществляется по следующей методике. Для формирования 1 л поризованной смеси смешивается цементное тесто с В/Ц=0,27 и пена. Далее производится перемешивание смеси в течение 1 минуты и замер высоты ее столба. После по формуле 1 рассчитывается значение стойкости пены в поризованном растворе. Пену следует считать удовлетворительной, если значение C_{IIT}^{Π} =0,8–0,85, качественной – если C_{IIT}^{Π} >0,95.

Основная часть. В работе использовался хризотил-асбест Киембаевского месторождения, предоставленный для исследования ООО «Комбинат «Волна», являющийся смесью волокон различной длины соответствующих маркам – 3–60; 4–30; 5–70; 6К-30; 6-50; согласно ГОСТ

12871-2013. Фракционный состав хризотил-асбеста приведён в таблице 1. Пенообразователь белкового происхождения производства Foamsem (Италия) представляющий собой жидкость темно-вишнёвого цвета, с плотностью 1150 кг/м³, показателем кислотности рН равным 6,7±0,3.

Таблица 1 Фракционный состав хризотил-асбеста

Марка	Массовая доля остатка			Macco-
	волокна на ситах с разме-			вая доля
	ром стороны ячейки в			фракции
	свету, %			менее
	4,8 мм	1,35	0,4 мм	0,4 мм,
		MM		%
3-60	60	30	7,2	2,8
4-30	30	50	16	4,0
5-70	-	70	22	8,0
6-55	-	50	39	11,0
6К-30	-	30	49,8	20,20

Контрольную пену получали путем перемешивания водного раствора пенообразователя в концентрации 2,7 г/л рекомендованной производителем. Для получения микроармированной пены волокна подвергались предварительной распушке в воде раствора в количестве 5 % от массы воды для лучшего их распределения в пене, затем добавлялся пенообразователь. Перемешивание проводилось с использованием лабораторной верхнеприводной мешалки WiseStir HS-30D в течение 3 минут при 3000 об/мин, до формирования стойкой однородной пены. Результаты определения кратности и стойкости пены в зависимости от марки хризотил-асбеста и фракционного состава приведены на рисунке 1.

Согласно результатам, введение хризотиласбеста вне зависимости от фракционного состава снижает кратность и увеличивает стойкость пенных структур по отношению к контрольной пене. Увеличение стойкости связано с тем, что волокна, попадающие в межпузырьковые каналы пены, способствуют более медленной миграции воды обусловленной силой тяжести, что в контрольной пене и приводит к более быстрому расслоению и синерезису. Снижение кратности происходит по причине создания в пене волокнами дополнительных напряжений препятствующих возникновению пленок пены. Как видно из рис. 1 лучшей стойкостью, за счёт закупорки каналов миграции воды характеризуются волокна хризотил-асбеста марок 3-60, 4-30 и 5-70 с укрупненным фракционным составом. Однако они же и способствует более сильному снижению кратности. Напротив, хризотил-асбест с более мелким фракционным составом марок 6-50 и 6К-30 чуть меньше влияют на кратность, но и меньше повышают стойкость пен.

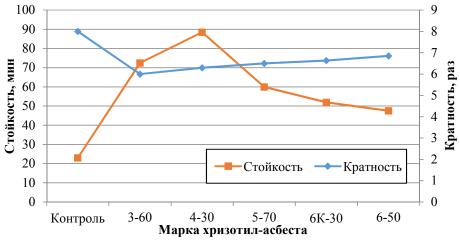


Рис. 1. Зависимость кратности и стойкости пены от марки хризотил-асбеста

Согласно результатам наблюдения процессов водоотделения (рис. 2) и осаждения столба пены (рис. 3), подтверждается, что среди рассматриваемых марок хризотил-асбеста прослеживается зависимость – чем крупнее фракцион-

ный состав, тем медленнее процессы водоотделения и как следствие медленнее осаждение столба. В случае хризотил-асбеста марок 3–60 и 4–30 схлопывания пены не происходит и на следующие сутки.

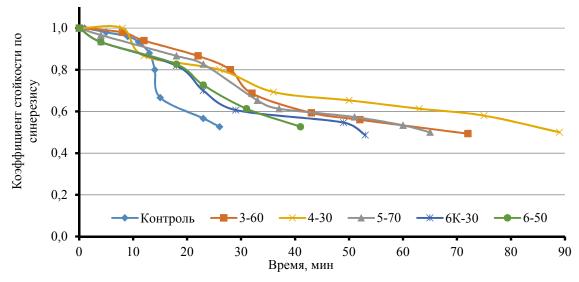


Рис. 2. Кинетика устойчивости пен во времени по синерезису в зависимости от марки хризотила

Таким образом, рассмотренные марки хризотил-асбеста можно разделить на 2 группы, более крупного фракционного состава, которые повышают стойкость, но сильнее снижают кратность пен — это 3–60 и 4–30, и более мелкого фракционного состава, которые не так сильно повышают стойкость, но и не сильно влияют на кратность — 5–70, 6К-30 и 6–50. При этом хризотил-асбест марки 4-30 обладает преимуществами обеих групп, не сильным снижением кратности пены, но высоком повышением стойкости. С учетом вышеописанного для дальнейших исследований выбраны марки хризотил-асбеста 3–60, 4–30 и 6К-30.

Для определения стойкости в поризуемом растворе, в качестве растворов применяли порт-

ландцементное тесто с В/Ц равным 0,27. Физический смысл эксперимента в сохранении ячеистой структуры пены при её смешении с поризуемым компонентом. Так, пониженная стойкость (менее 0,8) говорит об увеличении плотности, обусловленной низкой структурной прочностью пены.

Согласно полученным данным (табл. 2) микроармирующая добавка хризотил-асбеста марки 4—30 способствует увеличению стойкости пены делая её качественной, так как значение $C_{\rm цT}^{\rm п}$ равно 0,95, при том что коэффициент стойкости чистой пены равен 0,81. Влияние хризотил-асбеста марок 3—60 и 6К-30 менее значительно, первый увеличивает стойкость до 0,83, второй напротив снижает до 0,79, делая пену неудовлетворительной.

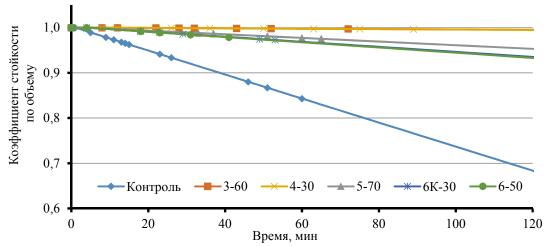


Рис. 3. Кинетика устойчивости пен во времени по объему в зависимости от марки хризотила

Таблица 2 Стойкость пены в различных поризованных растворах

Марка хризотила	$V_{\rm LLT}$	V_{neh}	$V_{ m LT}^{ m nop}$	$C_{\rm I\!I}^{\pi}$
Контроль	340	1000	1080	0,81
3–60	340	740	900	0,83
4–30	340	750	1040	0,95
6К-30	340	800	900	0,79

Были изучены стойкость и кратность пен выбранных марок при дозировках 1, 1,5 и 2 % (рис. 4, 5), для изучения влияния концентрации волокон хризотил-асбеста на свойства пен. Показано, что с увеличением дозировки фибры более 1,5 % происходит значительное снижение кратности пен. Наилучшими показателями кратность-стойкость при данной дозировке характеризуется фибра марки 4–30 (рис. 6). Кратность составляла 6,67 при стойкости, характеризуемой временем истечения 50 % жидкости из пены, 88,5 минут.

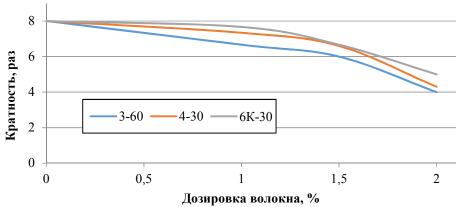


Рис. 4. Зависимость кратности пены от дозировки хризотил-асбеста

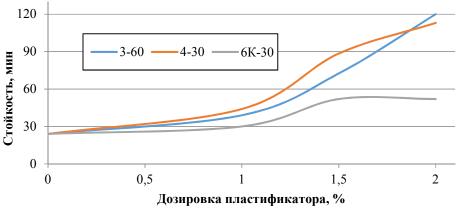


Рис. 5. Зависимость стойкости пены от дозировки хризотил-асбеста

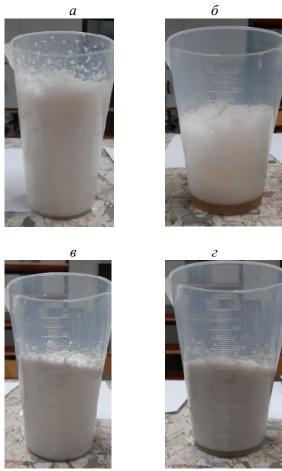


Рис. 6. Синерезис и осаждение столба пены:

- а) исходное состояние неармированной пены; б) состояние неармированной пены через 1 ч наблюдения; в) исходное состояние армированной пены хризотил-асбестом марки 4–30;
 - г) состояние армированной пены хризотил-асбестом марки 4–30 через 1 ч наблюдения.

Выводы. Таким образом, можно сделать вывод о влиянии различных видов марок хризотиласбеста на свойства получаемых пен. Введение фибры повышает стойкость пен за счет замедления синерезиса и осаждения столба пены, однако при этом происходит снижение кратности пены на более чем 10 %. Улучшение стойкости пены связано с тем, что волокна, попадающие в межпузырьковые каналы пены способствуют более медленной миграции воды, что позволяет сохранять пене свою исходную мелкопористую структуру более длительное время.

Хризотил-асбест более мелкого фракционного состава с большим содержанием частиц менее 1,35 мм гораздо меньше повышает стойкость пены. Однако снижение кратности пены происходит в любом случае, что делает нерациональным применение хризотил-асбеста марок с более крупным фракционным составом — 5—70, 6K-30 и 6—50.

Наилучшими показателями повышения стойкости пены по критериям синерезиса, осаждения столба и стойкости в поризованном растворе, характеризуется хризотил-асбест марки 4—30.

Увеличением дозировки фибры более 1,5 % приводит к значительному снижению кратности пен, что делает данную дозировку точкой оптимума для хризотил-асбеста марки 4–30.

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. Т. 1. № 2. С. 30—36.
- 2. Володченко А.Н., Строкова В.В. Повышение эффективности силикатных ячеистых материалов автоклавного твердения // Вестник Северо-Восточного федерального университета им. М.К. Аммосова. 2017. № 2 (58). С. 60–69.
- 3. Заровняев П.П., Егорова А.Д. Проблемы применения монолитного пенобетона в несъемной опалубке в суровых климатических условиях // Фундаментальные основы строительного материаловедения Сборник докладов Международного онлайн-конгресса. 2017. С. 996–1004.

- 4. Кожухова Н.И., Данакин Д.Н., Кожухова М.И., Алфимова Н.И., Чепурных А.А. рН-показатель среды как фактор формирования поровой структуры пен // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2018. №8. С. 101–108. DOI: 10.12737/article 5b6d586ca043d4.17885788
- 5. Лесовик Р.В., Агеева М.С., Лесовик Г.А., Сопин Д.М., Митрохин А.А. Неавтоклавный газобетон на основе отходов промышленности // Актуальные вопросы архитектуры и строительства Материалы Пятнадцатой Международной научно-технической конференции. Редколлегия: В.Т. Ерофеев (отв. ред.) [и др.]. 2017. С. 203–205.
- 6. Местников А.Е., Рожин В.Н. Неавтоклавный пенобетон на механоактивированных сухих смесях для строительства в условиях Арктики // Фундаментальные основы строительного материаловедения Сборник докладов Международного онлайн-конгресса. 2017. С. 1037–1046.
- 7. Нецвет Д.Д., Нелюбова В.В., Строкова Композиционное B.B. вяжущее минеральными добавками для неавтоклавных пенобетонов БГТУ // Вестник им. В.Γ. Шухова. 2019. $N_{\underline{0}}$ 4. C. 122-131. DOI: 10.34031/article 5cb1e65d077f65.54773394
- 8. Fomina E.V., Lesovik V.S., Fomin A.E., Kozhukhova N.I., Lebedev M.S. Quality evaluation of carbonaceous industrial by-products and its effect on properties of autoclave aerated concrete. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2018. Vol. 327. 042033. DOI:10.1088/1757-899X/327/4/042033.
- 9. Нелюбова В.В., Бабаев В.Б., Алфимова Н.И., Усиков С.А., Масанин О.О. Повышение эф-

фективности производства фибробетона // Строительные материалы и изделия. 2019. Т. 2. № 2. С. 4–9.

10.Лесовик Р.В., Агеева М.С., Казлитина О.В., Сопин Д.М., Митрохин А.А. К вопросу об оптимизации структуры высокопрочного фибробетона за счет использования нанодисперсного модификатора // Вестник ВСГУТУ. 2017. № 4 (67). С. 64–70.

11.Федоров В.И., Местников А.Е. Модификация технической пены для монолитного пенобетона введением вторичной целлюлозной фибры // Промышленное и гражданское строительство. 2018. № 1. С. 48–52.

12.Lesovik V.S., Mochalov A.V., Fediuk R.S., Glagolev E.S., Bituyev A.V. Increasing Impact Endurance of Fiber Concrete. Advances in Engineering Research. 2018. Vol. 177. Pp. 301–306. DOI: 10.2991/isees-18.2018.58

13.Fedorov V., Mestnikov A. Influence of cellulose fibers on structure and properties of fiber reinforced foam concrete. MATEC Web of Conferences. 2018. Vol 143. 02008. DOI: 10.1051/matecconf/201714302008

14.Попов А.Л., Нелюбова В.В., Нецвет Д.Д. Влияние природы пенообразователей на физикотехнические свойства пен // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2018. № 3. С. 5–12. DOI: 10.12737/article~5abfc9b7ce94e3.70688983

15.Shcherbin S., Gorbach P., Savenkov A. Influence of properties and amount of foam on quality of foam concrete. IOP Conference Series Materials Science and Engineering. 2019. Vol. 667. 012093. DOI: 10.1088/1757-899X/667/1/012093.

Информация об авторах

Егорова Анастасия Дмитриевна, кандидат технических наук, доцент кафедры производства строительных материалов, изделий и конструкций. E-mail: eg_anastasy2004@mail.ru. Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова. Россия, 677000, Якутск, ул. Кулаковского, д. 50.

Попов Александр Леонидович, инженер кафедры производства строительных материалов, изделий и конструкций. E-mail: surrukin@gmail.com. Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова. Россия, 677000, Якутск, ул. Кулаковского, д. 50.

Заровняев Петр Петрович, аспирант кафедры производства строительных материалов, изделий и конструкций. Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова. Россия, 677000, Якутск, ул. Кулаковского, д. 50

Дуюков Тимофеё Тимофеевич, студент кафедры производства строительных материалов, изделий и конструкций. Е-mail: duyukovtima1998@mail.ru. Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова. Россия, 677000, Якутск, ул. Кулаковского, д. 50.

Поступила 06.03.2020

© Егорова А.Д., Попов А.Л., Заровняев П.П., Дуюков Т.Т., 2020

Egorova A.D., *Popov A.L., Zarovnyaev P.P., Duyukov T.T.

North-Eastern Federal University *E-mail: surrukin@gmail.com

INFLUENCE OF CHRYSOTILE-ASBESTOS MICROREINFORCEMENT OF DIFFERENT MIXES ON THE PROPERTIES AND STRUCTURE OF FOAMS

Abstract. The paper substantiates the effectiveness and prospects of research in the direction of microreinforcement of cellular materials with mineral fibers. Due to the dependence of the quality of foam concrete on the quality of the applied foam, the paper considers micro-reinforcement of foam as a technique that increases its quality indicators. Thus, the influence of chrysotile-asbestos additives in the form of fiber mixtures of various fractional composition on the physical and mechanical properties of foams is considered. Chrysotile-asbestos mixtures are thin fibers and strands that predict their uniform distribution over the matrix of building composites, improving their structural stability and increasing strength characteristics. The article examines the influence of the concentration and fractional composition of chrysotile asbestos on the multiplicity and stability of foams. The features of syneresis and structure of micro-reinforced chrysotile-asbestos foams are also shown. It is shown that the microreinforcement of foam by chrysotile-asbestos fibers increases their structural durability, slowing down the system's syneresis and preventing the deposition of the foam column, but reduces its aeration degree relative to the foaming agent solution. Also, microreinforcement increases the durability of foam in a mortar, characterized by the preservation of foam of the original volume in the composition of the cement mixture. The article substantiates the choice of the most effective mix of chrysotile asbestos and its dosage for increasing the properties of foam.

Keywords: chrysotile-asbestos, mineral fibers, foaming agent, foam, foam concrete.

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 recepturnotekhnologicheskih parametrov izgotovleniya yacheistobetonnoj smesi]. Construction Materials and Products. 2018. Vol. 1. Issue 2. Pp. 30–36. (rus)
- 2. Volodchenko A.N., Strokova V.V. Improving the Efficiency of Autoclaved Silicate Cellular Materials [Povyshenie effektivnosti silikatnyh yacheistyh materialov avtoklavnogo tverdeniya]. Vestnik of North-Eastern federal university. 2017. No. 2 (58). Pp. 60–69. (rus)
- 3. Zarovnyaev P.P., Egorova A.D. Problems of using monolithic foam in a permanent form under harsh climatic conditions [Problemy primeneniya monolitnogo penobetona v nes"emnoj opalubke v surovyh klimaticheskih usloviyah]. Fundamental'nye osnovy stroitel'nogo materialovedeniya Sbornik dokladov Mezhdunarodnogo onlajn-kongressa. 2017. Pp. 996–1004. (rus)
- 4. Kozhukhova N.I., Danakin D.N., Kozhukhova M.I., Alfimova N.I., Chepurnykh A.A. pH-value of reaction medium as a factor of foam structure formation [pH-pokazatel' sredy kak faktor formirovaniya porovoj struktury pen]. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov, 2018, no. 8, Pp. 101–108. DOI: 10.12737/article 5b6d586ca043d4.17885788 (rus)
- 5. Lesovik R.V., Ageeva M.S., Lesovik G.A., Sopin D.M., Mitrohin A.A. Non-autoclavic gas con-

- crete from industrial waste [Neavtoklavnyj gazobeton na osnove othodov promyshlennosti]. Aktual'nye voprosy arhitektury i stroitel'stva Materialy Pyatnadcatoj Mezhdunarodnoj nauchno-tekhnicheskoj konferencii. Redkollegiya: V.T. Erofeev (otv. red.) [i dr.]. 2017. Pp. 203–205. (rus)
- 6. Mestnikov A.E., Rozhin V.N. Non-autoclavic foam concrete on furoactivated dry mixes for construction in conditions of the Arctic [Neavtoklavnyj penobeton na mekhanoaktivirovannyh suhih smesyah dlya stroitel'stva v usloviyah Arktiki]. Fundamental'nye osnovy stroitel'nogo materialovedeniya Sbornik dokladov Mezhdunarodnogo onlajn-kongressa. 2017. Pp. 1037–1046. (rus)
- 7. Netsvet D.D., Nelyubova V.V., Strokova V.V. Composite binder with mineral additives for non-autoclave foam concrete [Kompozicionnoe vyazhushchee s mineral'nymi dobavkami dlya neavtoklavnyh penobetonov]. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2019. No. 4. Pp. 122–131. DOI: 10.34031/article 5cb1e65d077f65.54773394 (rus)
- 8. Fomina E.V., Lesovik V.S., Fomin A.E., Kozhukhova N.I., Lebedev M.S. Quality evaluation of carbonaceous industrial by-products and its effect on properties of autoclave aerated concrete. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2018. Vol. 327. 042033. DOI:10.1088/1757-899X/327/4/042033.
- 9. Nelyubova V.V., Babaev V.B., Alfimova N.I., Usikov S.A., Masanin O.O. Improving the efficiency of fibre concrete production [Povyshenie

effektivnosti proizvodstva fibrobetona]. Construction Materials and Products. 2019. Vol. 2. Issue 1. Pp. 4–9. (rus)

10.Lesovik R.V., Ageeva M.S., Kazlitina O.V., Sopin D.M., Mitrohin A.A. Revisiting the structure optimization of high strength fiber concrete through the use of nanodisperse modifier [K voprosu ob optimizacii struktury vysokoprochnogo fibrobetona za schet ispol'zovaniya nanodispersnogo modifikatora]. Vestnik VSGUTU. 2017. No. 4 (67). Pp. 64–70. (rus)

11.Fedorov V.I., Mestnikov A.E. Modification of technical foam for monolithic foam concrete by introducing secondary cellulose fiber [Modifikaciya tekhnicheskoj peny dlya monolitnogo penobetona vvedeniem vtorichnoj cellyuloznoj fibry]. Industrial and Civil Engineering. 2018. No 1. Pp. 48–52. (rus)

12.Lesovik V.S., Mochalov A.V., Fediuk R.S., Glagolev E.S., Bituyev A.V. Increasing Impact Endurance of Fiber Concrete. Advances in Engineering

Research. 2018. Vol. 177. Pp. 301–306. DOI: 10.2991/isees-18.2018.58

13.Fedorov V., Mestnikov A. Influence of cellulose fibers on structure and properties of fiber reinforced foam concrete. MATEC Web of Conferences. 2018. Vol 143. 02008. DOI: 10.1051/matecconf/201714302008

14.Popov A.L., Nelyubova V.V., Necvet D.D. The influence of the foaming agents nature on physical and technical properties of foam [Vliyanie prirody penoobrazovatelej na fiziko-tekhnicheskie svojstva pen]. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov, 2018. No 3. Pp. 5–12. DOI: 10.12737/article 5abfc9b7ce94e3.70688983 (rus)

15. Shcherbin S., Gorbach P., Savenkov A. Influence of properties and amount of foam on quality of foam concrete. IOP Conference Series Materials Science and Engineering. 2019. Vol. 667. 012093. DOI: 10.1088/1757-899X/667/1/012093

Information about the authors

Egorova, Anastasiya D. PhD, Assistant professor. E-mail: eg_anastasy2004@mail.ru. North-Eastern Federal University. Russia, 677000, Yakutsk, st. Kulakovskogo, 50.

Popov, Aleksandr L. Engineer. E-mail: surrukin@gmail.com. North-Eastern Federal University. Russia, 677000, Yakutsk, st. Kulakovskogo, 50.

Zarovnyaev, Petr P. Postgraduate student. North-Eastern Federal University. Russia, 677000, Yakutsk, st. Kulakovskogo, 50.

Duyukov, Timofej T. Bachelor student. E-mail: duyukovtima1998@mail.ru. North-Eastern Federal University. Russia, 677000, Yakutsk, st. Kulakovskogo, 50.

Received 06.03.2020

Для цитирования:

Егорова А.Д., Попов А.Л., Заровняев П.П., Дуюков Т.Т. Влияние микроармирования хризотил-асбестом разных марок на свойства и структуру пен // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2020. № 4. С. 24–31. DOI: 10.34031/2071-7318-2020-5-4-24-31

For citation:

Egorova A.D., Popov A.L., Zarovnyaev P.P., Duyukov T.T. Influence of chrysotile-asbestos microreinforcement of different mixes on the properties and structure of foams. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2020. No. 4. Pp. 24–31. DOI: 10.34031/2071-7318-2020-5-4-24-31

DOI: 10.34031/2071-7318-2020-5-4-32-39

*Серых И.Р., Чернышева Е.В., Дегтярь А.Н.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г.Шухова *E-mail: inna ad@mail.ru

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО МОСТА

Аннотация. Надежность и долговечность любых сооружений, в том числе и транспортных, зависят не только от условий эксплуатации, но и от своевременной диагностики повреждений и дефектов, возникающих в процессе их работы. Это позволит определить степень износа сооружения, а также выявить его причины. В работе рассмотрено проведение экспертизы промышленной безопасности на примере объекта транспортной инфраструктуры — железнодорожного моста, построенного в 1987 году. Комплексное обследование включало определение технического состояния моста, исследование состояния конструкций, их элементов с целью выявления дефектов и разработки рекомендаций по проведению ремонта сооружения, обеспечению его надежной и долговечной эксплуатации.

В основу выбора методов реконструкции и восстановления эксплуатационных качеств, поврежденных частей сооружения положена точная оценка его технического состояния, базирующаяся, главным образом, на научной диагностике, которая позволяет изучить и установить признаки и причины повреждений.

По результатам комплексной оценки основных показателей мостового сооружения с учетом результатов анализа и классификации имеющихся дефектов общая оценка технического состояния объекта была оценена по пятибалльной системе в три балла. Выявленные неисправности по долговечности и безопасности были отнесены ко второй категории. Категория обнаруженных дефектов в основном относилась по безопасности к Б1, Б2, по долговечности – к Д2, Д3, по ремонтопригодности – к Р2. Р3.

Ключевые слова: транспортное сооружение, дефекты и повреждения, техническое состояние.

Введение. В настоящее время все чаще встречаются эксплуатируемые транспортные сооружений, в том числе мосты, находящиеся в аварийном или предаварийном состоянии. Несоблюдение условий эксплуатации мостовых сооружений приводит к изнашиванию несущих конструкций. Это является следствием того, что на практике зачастую величина и интенсивность внешних нагрузок превышают проектные. Условия эксплуатации нарушаются, искажаются геометрические размеры сооружения, изменяются физико-механические свойства материалов. Поэтому в последние годы все чаще появляются сообщения о разрушении мостов либо появлении повреждений, которые в последствии могут спровоцировать потерю их несущей способности и, как следствие, привести к аварийной ситуации [1–12]. Своевременное обследование таких сооружений сведет к минимуму проблемы подобного рода.

При обследовании мостов в обязательном порядке должны осматриваться элементы, не имеющие визуальных дефектов, поскольку в процессе реконструкции или усиления транспортного сооружения может быть изменена схема работы этих элементов или величина фактических эксплуатационных нагрузок.

Таким образом, надежность и долговечность любых транспортных сооружений зависят не

только от условий эксплуатации, но и от своевременной диагностики повреждений и дефектов, возникающих в процессе их работы. Диагностика позволяет определить степень износа сооружения, а также выявить его причины [6–8].

Рассмотрим проведение экспертизы промышленной безопасности на примере объекта транспортной инфраструктуры. Объектом обследования стал железнодорожный мост, построенный в 1987 году и расположенный в Белгородской области. Комплексное обследование включало определение технического состояния моста, исследование состояния конструкций, их элементов с целью выявления дефектов и разработки рекомендаций по проведению ремонта сооружения, обеспечению его надежной и долговечной эксплуатации. Мост трехпролетный общей длиной 34,61 м. Статическая конструктивная схема моста – балочно-разрезная. Опирание балок на опоры – шарнирное. Пролетные строения моста сборные железобетонные, выполнены из двух тавровых балок длиной 9,3 м и высотой 1,28 м с консолями по типовому проекту. В поперечном направлении в каждом пролете устроены по две балки. Объединение балок между собой в поперечном направлении выполнено надопорными диафрагмами. На момент обследования фактический класс бетона балок составил В40. Балки включают арматуру класса A-III.

Ездовое полотно железнодорожного пути выполнено на щебеночном балласте. Ширина мостового полотна между внутренними гранями перил составляет 5,3 м и включает балластное корыто шириной 4,18 м и два служебных прохода по 0,56 м каждый. Служебные проходы устроены на металлических выносных консолях с покрытием из стального листа с металлическими перилами высотой 1,26 м. Водоотвод с проезжей части организован через водоотводные трубки, расположенные в каждом пролете.

Опоры моста выполнены в виде железобетонных стоек, объединенных железобетонными ригелями. Стойки береговых опор — столбы сплошного сечения, установленные в два ряда. Количество столбов в опоре — шесть штук. Сечение стоек — 400×400 мм. Фактический класс бетона на момент испытаний составил В40. Ригели промежуточных опор — монолитные железобетонные, с фактическим классом бетона на момент испытаний В35. Размеры ригелей составили: высота — 0,54 м; ширина — 0,85 м; длина — 8,75 м. Армирование в нижней зоне выполнено стержнями диаметром 32 мм из арматуры класса А-III.

Конструкция и состояние фундаментов береговых опор, а также подводных участков промежуточных опор не определялась, так как в соответствии с техническим заданием производилось обследование только видимых конструкций.

Методика проведения обследования. В основу выбора методов реконструкции и восстановления эксплуатационных качеств, поврежденных частей сооружения положена точная оценка его технического состояния, базирующаяся, главным образом, на научной диагностике, которая позволяет изучить и установить признаки и причины повреждений. Кроме того, в рамках диагностики, опираясь на параметры технического состояния и учитывая их нормативные значения и допустимые отклонения, разрабатываются способы и средства для анализа и оценки этих повреждений.

Используемая диагностика повреждений позволяет выявить специфические особенности материалов, а также изготовления, монтажа и работы строительных конструкций. Кроме того, она дает возможность установить особенности внешних и технологических воздействий на конструкции для получения действительных условий их работы, а также факторов, приводящих к разрушению.

Оценка износа и коррозии конструкций объекта производилась посредством следующих методик:

- методика визуального осмотра, цель которой определить износ сооружения по внешним признакам;
- инструментальная методика, цель которой оценить состояние строительных конструкций и сооружения в целом с использованием диагностических приборов;
- методика инженерного анализа, цель которой, используя полученные при диагностике данные, дать заключение о техническом состоянии сооружения и предложить мероприятия по его восстановлению, усилению и ремонту.

В основу работ по обследованию вошло: натурное освидетельствование конструкций; определение фактических свойств материала конструкций; уточнение действующих нагрузок и воздействий, условий эксплуатации; проверка качества узлов и соединений; обнаружение дефектов и повреждений элементов и узлов с занесением их в одноименную ведомость [13].

В основу работ по оценке технического состояния конструкций были включены поверочные расчеты, учитывающие обнаруженные во время обследования повреждения и дефекты, фактически установленные на момент испытания свойства материалов, прогнозируемые нагрузки, внешние воздействия и условия эксплуатации.

Основываясь на теоретических и экспериментальных исследованиях, используя уточненную расчетную схему, нагрузки и прочностные характеристики материалов, которые показали действительную работу конструкций, была произведена оценка их технического состояния, включающая изыскание и использование резервов несущей способности строительных конструкций [15-20].

При обследовании произведен визуальный осмотр всех элементов мостового перехода с целью выявления недостатков и дефектов, возникших в ходе эксплуатации данного сооружения (рис. 1). Поскольку доступ к основным конструктивным элементам моста был ограничен и требовал специальных средств, осмотр конструкций производился с мостового полотна, подходов и подмостового пространства в стандартном порядке с фотографированием, видеосъемкой и зарисовкой конструктивных элементов и дефектов. Техническое состояние моста определялось на основании визуального обследования, определения фактической прочности на сжатие существующих конструкций по методу упругого отскока бойка от поверхности бетона.





Рис. 1. Общее состояние моста

Прочность бетона железобетонных элементов определялась неразрушающими методами с помощью универсального измерителя прочности строительных материалов ОНИКС-2,5.

При более детальном обследовании были уточнены конструктивная схема сооружения, размеры элементов, состояние материалов и конструкций в целом. Также были выполнены работы по вскрытию конструкций, проведены лабораторные исследования, проверены и оценены деформации и т. п. с использованием специальных инструментов, приборов, оборудования для испытаний.

Результаты обследования. При обследовании пролетных строений моста наибольшие дефекты и повреждения имели место в среднем пролете. В частности, на нижней грани балки была обнаружена продольная сквозная трещина длиной 2,5 м, с шириной раскрытия 2 мм и следы выщелачивания через стыки балок с образованием сталактитов (рис. 2, слева). Кроме того, во всех трех пролетах до 50 % площади поверхности было покрыто сколами, наблюдалось разрушение защитного слоя, замокание со следами выщелачивания бетона на ребрах и нижних гранях балок (рис. 2, справа).





Рис. 2. Дефекты и повреждения пролетных строений моста

Обследование опор моста показало наличие волосяных трещин растянутой зоны; участки плохо провибрированного бетона, в том числе с оголением арматуры; наличие трещин в бетоне

ригеля опор вследствие коррозии с шириной раскрытия 1 мм; замокание и выщелачивание бетона ригеля опор до 100 % площади; разрушение укрепления конусов опор с выносом или вымыванием грунта (рис. 3).





Рис. 3. Общее состояние промежуточных опор моста

Обследование мостового полотна выявило наличие следующих дефектов и повреждений: образование просадки насыпи перед мостом, в том числе незначительная просадка проезжей части; вымывание грунта без образования порожка; потеря герметичности в зоне деформационного шва, вследствие образования зазора, что в конечитоге привело разрушению К гидроизоляции – протечке воды на нижележащие конструкции со следами выщелачивания на нижней грани плит балок пролетных строений; ярко выраженная коррозия металла водоотводных трубок.

Выводы. Оценка технического состояния проводилась в соответствии с требованиями [22-24] с учетом фактического состояния строительных конструкций, параметров выявленных дефектов и повреждений, их влияния на снижение несущей способности и надежности. По результатам комплексной оценки основных показателей мостового сооружения с учетом результатов анализа и классификации имеющихся дефектов общая оценка технического состояния объекта в соответствии с требованиями [16] оценивается в три балла (по пятибалльной системе). Выявленные неисправности по долговечности и безопасности можно отнести ко второй категории. Категория обнаруженных дефектов в основном относится по безопасности к Б1, долговечности - к Д2, Д3, по ремонтопригодности - к Р2, Р3. При этом анализ выявленных дефектов показал, что их можно поделить на два типа:

1) дефекты, связанные с особенностями эксплуатации конструкций: разрушение бетонных конструкций вследствие коррозии арматурных элементов, вызванной сезонной влажностью и перепадами температур; повреждения ездового полотна проезжей части;

2) дефекты, связанные с низкой строительной культурой и недостаточными строительными знаниями: неудовлетворительное качество строительных работ при ремонте устоя моста, а также при изготовлении монолитных конструкции опор (участки плохо провибрированного бетона).

При обследовании строительных конструкций обнаружились упущения, которые требуют их скорейшего исправления. Устранение обнаруженных недостатков позволит обеспечить нормальную эксплуатацию обследованного объекта. Если не устранить выявленные при обследовании замечания, то при сочетании неблагоприятных факторов возможна потеря несущей способности конструкций и разрушение. Поскольку выявленные неисправности относятся ко второй категории, то проведение ремонтно-восстановительных работ возможно с ограничением эксплуатации. Организации, эксплуатирующей мостовое сооружение, рекомендовано предусмотреть следующие мероприятия: наметить план мероприятий по исправлению указанных замечаний; провести работы по устранению дефектов и повреждений, выявленных в процессе обследований согласно сделанным рекомендациям; качество выполненных работ по устранению дефектов и повреждений подтвердить соответствующими актами.

Ремонт балки среднего пролета, крайних опор, укрепление насыпей и конусов, необходимо выполнить по специально разработанному проекту.

Источник финансирования. Работа выполнена в рамках реализации Программы развития опорного университета на базе БГТУ им. В.Г. Шухова

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Еремин К.И., Махутов Н.А., Павлова Г.А., Шишкина Н.А. Реестр аварий зданий и сооружений 2001-2020 годов. М. 2011. 320 с.

- 2. Майстренко И.Ю., Овчинников И.И., Овчинников И.Г., Кокодеев А.В. Аварии и разрушения мостовых сооружений, анализ их причин. Часть 1 // Транспортные сооружения. 2017. Т. 4. №4. С. 11.
- 3. Овчинников И.Г., Овчинников И.И., Майстренко И.Ю., Кокодеев А.В. Аварии и разрушения мостовых сооружений. Анализ их причин. Часть 2 // Транспортные сооружения. 2017. Т.4. № 4. С. 12.
- 4. Овчинников И.И., Майстренко И.Ю., Овчинников И.Г., Успанов А.М. Аварии и разрушения мостовых сооружений, анализ их причин. Часть 4 // Транспортные сооружения. 2018. Т. 5. №1. С. 5.
- 5. Дормидонтова Т.В., Варданян Т.М. Оценка технического состояния мостовых сооружений // Традиции и инновации в строительстве и архитектуре. Строительство. Самара, 2018. С. 199–203.
- 6. Дмитренко Е.А., Почтар Н.В. Основные типы дефектов и повреждений железобетонных конструкций транспортных сооружений, причины их возникновения // Вестник Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. 2016. № 3 (119). С. 134–138.
- 7. Симаков О.А. Анализ факторов, вызывающих необходимость усиления железобетонных конструкций // Строительство и реконструкция. 2019. N 1 (81). С. 76–84.
- 8. Кузнецова С.В., Козлов А.В. Причины аварий мостовых сооружений // Мир дорог. 2019. № 122. С. 60–63.
- 9. Бокарев С.А., Засухин И.В. К вопросу о долговечности массивных опор мостов // Вестник Томского государственного архитектурностроительного университета. 2018. Т. 20. № 5. С. 185-197.
- 10.Дергунов С.А., Сатюков А.Б., Спирина А.Ю., Сериков С.В. Аварии мостовых сооружений и их причины // Вестник Кыргызского государственного университета строительства, транспорта и архитектуры им. Н.Исанова. 2019. № 2 (64). С. 289–294.
- 11. Курлянд В.Г., Курлянд В.В. Уроки аварий и катастроф мостов // Вестник Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ). 2019. № 4 (59). С. 90–98.
- 12.Козырева Л.В., Китарь Е.В. Аварии мостовых сооружений // Техническое регулирование в транспортном строительстве. 2015. № 1 (9). С. 37–42.
- 13. Рекомендации по оценке надежности строительных конструкций зданий и сооружений

- по внешним признакам. М.: ЦНИИпромзданий, 2001.
- 14.Отчет № 27-18 ЗИС от 09.11.2018 г. По результатам освидетельствования строительных конструкций железнодорожного моста, 2018. 47 с.
- 15.Серых И.Р., Чернышева Е.В., Дегтярь А.Н., Черноситова Е.С., Чернышева А.С. Экспертиза промышленной безопасности здания цеха ВЖС Шебекинского химического завода с целью оценки технического состояния конструкций // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2018. № 9. С. 55–61.
- 16.Дегтярь А.Н., Серых И.Р., Панченко Л.А., Чернышева Е.В. Остаточный ресурс конструкций зданий и сооружений // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2017. № 10. С. 94–97.
- 17.Дегтярь А.Н., Серых И.Р., Чернышева Е.В., Панченко Л.А. Экспертиза промышленной безопасности здания насосной нефтебазы Белгородской области с целью оценки ее остаточного ресурса // Безопасность в строительстве: матер. III Междунар. науч.-практ. конф., (Санкт-Петербург, 23-24 ноября 2017 г.), СПб.: изд-во СПбГАСУ, 2017. С. 41–45.
- 18. Чернышева Е.В., Серых И.Р., Статинов В.В., Чернышева А.С. Актуальные проблемы промышленной безопасности // Zbornik radova: visoka tehnička škola strukovnih studija. Niš. Serbia. 2016. December. P. 164–165.
- 19. Евтушенко С.И., Крахмальная М.П., Крахмальный Т.А. К вопросу об остаточном ресурсе длительно эксплуатируемых мостов через водопроводящие каналы // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2014. № 35 (54). С. 166–170.
- 20. Бокарев С.А., Прибытков С.С., Ефимов С.В. Остаточный ресурс железобетонных пролетных строений железнодорожных мостов // Вестник Томского государственного архитектурностроительного университета. 2018. Т. 20. № 3. С. 169–183.
- 21.ОДМ 218.4.001-2008 Методические рекомендации по организации обследования и испытания мостовых сооружений на автомобильных дорогах // МИИТ (утв. распоряжением Росавтодора от 11.06.2008 N 219-р).
- 22.СП 79.13330.2012 Мосты и трубы. Правила обследований и испытаний. Актуализированная редакция СНиП 3.06.07-86 // ОАО «ЦНИИС».
- 23.ВСН 4-81. Инструкция по проведению осмотров мостов и труб на автомобильных дорогах // (Гипродорнии) Минавтодор РСФСР.

Информация об авторах

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

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

Дегтярь Андрей Николаевич, кандидат технических наук, доцент кафедры теоретической механики и сопротивления материалов. E-mail: andrey-dandr@yandex.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Поступила 02.03.2020

© Серых И.Р., Чернышева Е.В., Дегтярь А.Н., 2020

*Serykh I.R., Chernyshova E.V., Degtyar A.N.

Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov *E-mail: inna ad@mail.ru

DETERMINATION OF THE TECHNICAL CONDITION OF A RAILWAY BRIDGE

Abstract. The reliability and durability of any structures, including in transportation, depend on operating conditions and on timely diagnostics of damages and defects arising during their normal operation. Proper diagnostics will allow to determine the degree of wear of the structures, as well as to identify causes of damages. This work will focus on industrial safety inspection, using railway bridge built in 1987 as an example. A comprehensive inspection included full technical examination of the bridge and all its structural elements. The outcome and all necessary repair recommendations are documented.

Recommendations for reconstruction and restoration methods of the damaged elements and structures of the bridge are based on a scientifically accurate assessment of its technical condition to establish signs and causes of the damages.

Based on the results of the comprehensive inspection of all the damages in the bridge structure, the technical condition of the bridge is assessed three points on a five-point scale. The identified failures in durability and safety are classified in the second category. The categories of defects found are mainly related to safety - B1, B2, durability - D2, D3, and repairability - P2, P3.

Keywords: Transportation structures, defects and damages, technical condition.

REFERENCES

- 1. Eremin K.I., Mahutov N.A., Pavlova G.A., Shishkina N.A. Register of Accidents of Buildings and Structures 2001-2020 years [Reestr avarii zdanii i sooruzhenii 2001-2020 godov]. M. 2011. 320 p. (rus)
- 2. Maystrenko I.Y., Ovchinnikov I.I., Ovchinnikov I.G., Kokodeev A.V. Accidents and destruction of bridge structures, analysis of their causes. Part 1 [Avarii i razrusheniia mostovykh sooruzhenii analiz ikh prichin Chast 1]. Transport facilities. 2017. Vol. 4. No. 4. Pp. 11. (rus)
- 3. Ovchinnikov I.G., Ovchinnikov I.I., Maystrenko I.Y., Kokodeev A.V. Accidents and destruction of bridge structures. Analysis of their reasons. Part 2 [Avarii i razrusheniia mostovykh sooruzhenii Analiz ikh prichin Chast 2]. Transport facilities. 2017. Vol. 4. No. 4. 12 p. (rus)
- 4. Ovchinnikov I.I., Maystrenko I.Y., Ovchinnikov I.G., Uspanov A.M. Accidents and destruction

- of bridge structures, analysis of their causes. Part 4. Transport facilities. 2018. Vol. 5. No. 1. 5 p. (rus)
- 5. Dormidontova T.V., Vardanyan T.M. Assessment of technical condition of bridge structures. Traditions and innovations in construction and architecture [Otsenka tekhnicheskogo sostoianiia mostovykh sooruzhenii Traditsii i innovatsii v stroitelstve i arkhitekture Stroitelstvo]. Construction. Samara, 2018. Pp. 199–203. (rus)
- 6. Dmitrienko, E.A., Pochtar N.V. Main types of defects and damages of reinforced concrete structures of transport structures, reasons for their occurrence [Osnovnye tipy defektov i povrezhdenii zhelezobetonnykh konstruktsii transportnykh sooruzhenii prichiny ikh vozniknoveniia]. Journal of the Donbas National Academy of Construction and Architecture. 2016. No. 3 (119). Pp. 134–138. (rus)
- 7. Simakov O.A. Analysis of factors causing the need to strengthen reinforced concrete structures [Analiz faktorov vyzyvaiushchikh neobkhodimost

- usileniia zhelezobetonnykh konstruktsii]. Construction and reconstruction. 2019. No. 1 (81). Pp. 76–84. (rus)
- 8. Kuznetsova S.V., Kozlov A.V. Causes of accidents of bridge structures [Prichiny avarii mostovykh sooruzhenii]. World of roads. 2019. No. 122. Pp. 60–63. (rus)
- 9. Bokarev S.A., Zasuxin I.V. To the issue of durability of massive bridge supports [Prichiny avarii mostovykh sooruzhenii]. Journal of the Tomsk State Architectural and Construction University. 2018. Vol. 20. No. 5. Pp. 185–197. (rus)
- 10. Dergunov S.A., Satyukov A.B., Spirina A.Y., Serikov S.V. Accidents of bridge structures and their causes [Avarii mostovykh sooruzhenii i ikh prichiny]. Journal of the Kyrgyz State University of Construction, Transport and Architecture named after N.Isanova. 2019. No. 2 (64). Pp. 289–294. (rus)
- 11. Kurland V.G., Kurland V.V. Lessons of bridge accidents and disasters [Uroki avarii i katastrof mostov]. Journal of the Moscow Automobile and Road State Technical University (MADI). 2019. No. 4 (59). Pp. 90–98. (rus)
- 12. Kozyreva L.V., Kitar E.V. Accidents of bridge structures [Avarii mostovykh sooruzhenii]. Technical regulation in transport construction. 2015. No. 1 (9). Pp. 37–42. (rus)
- 13. Recommendations for evaluation of reliability of building structures of buildings and structures by appearance [Rekomendatsii po otsenke nadezhnosti stroitelnykh konstruktsii zdanii i sooruzhenii po vneshnim priznakam]. M.: Tsniipromzdany, 2001. (rus)
- 14. Report No. 27-18 ZIC dated 09.11.2018 According to the results of the inspection of the construction structures of the railway bridge [Po rezultatam osvidetelstvovaniia stroitelnykh konstruktsii zheleznodorozhnogo mosta], 2018. 47 p. (rus)
- 15. Serykh I.R., Chernysheva E.V., Degtyar A.N., Chernositova E.S., Chernysheva A.S. Industrial Safety Examination of the Building of the VZhS Shebekinsky Chemical Plant in Order to Assess the Technical Condition of Structures [Ekspertiza promyshlennoi bezopasnosti zdaniia tsekha VZHS Shebekinskogo khimicheskogo zavoda s tseliu otsenki tekhnicheskogo sostoianiia konstruktsii]. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2018. No. 9. Pp. 55–61. (rus)
- 16. Degtyar A.N., Serykh I.R., Panchenko L.A., Chernysheva E.V. Residual life of structures of buildings and structures [Ostatochnyi resurs konstruktsii zdanii i sooruzhenii]. Bulletin of BSTU

- named after V.G. Shukhov. 2017. No. 10. Pp. 94–97. (rus)
- 17. Degtyar A.N., Serykh I.R., Chernysheva E.V., Panchenko L.A. Examination of industrial safety of the pump tank farm building of the Belgorod region in order to assess its residual life. [Ekspertiza promyshlennoi bezopasnosti zdaniia nasosnoi neftebazy Belgorodskoi oblasti s tseliu otsenki ee ostatochnogo resursa]. Bezopasnost v stroitelstve mater III Mezhdunar nauch-prakt konf Sankt-Peterburg 23–24 noiabria 2017 g: Izd-vo Spbgasu, 2017. Pp. 41–45.
- 18. Chernysheva E.V., Serykh I.R., Statinov V.V., Chernysheva A.S. Actual problems of industrial safety [Aktualnye problemy promyshlennoi bezopasnosti]. Zbornik radova: visoka tehnička škola strukovnih studija. Niš. Serbia. 2016. December. Pp. 164–165. (rus)
- 19. Evtushenko S.I., Kraxmalnaya M.P., Kraxmalny T.A. To the question of the residual resource of long-term operated bridges through water supply channels [K voprosu ob ostatochnom resurse dlitelno ekspluatiruemykh mostov cherez vodoprovodiashchie kanaly]. Journal of the Volgograd State Architectural and Construction University. Series: Construction and architecture. 2014. No. 35 (54). Pp. 166–170.
- 20. Bokarev S.A., Pribytkov S.S., Efimov S.V. Residual resource of reinforced concrete span structures of railway bridges [Ostatochnyi resurs zhelezobetonnykh proletnykh stroenii zheleznodorozhnykh mostov]. Journal of the Tomsky State Construction and Construction University. 2018. Vol. 20. No. 3. Pp. 169–183. (rus)
- 21. ODM 218.4.001-2008 Methodological Recommendations for the Organization of Survey and Testing of Bridge Structures on Roads [Metodicheskie rekomendatsii po organizatsii obsledovaniia i ispytaniia mostovykh sooruzhenii na avtomobilnykh dorogakh]. MIIT (Ed. By order of Rosavtodor dated 11.06.2008 N 219-r).
- 22. SP 79.13330.2012 Bridges and pipes. Survey and test rules [Mosty i truby Pravila obsledovanii i ispytanii]. Updated edition of SNiP 3.06.07-86. OJSC «CNIIS».(rus)
- 23. BCH 4-81. Instructions for carrying out inspections of bridges and pipes on roads [Instruktsiia po provedeniiu osmotrov mostov i trub na avtomobilnykh dorogakh]. (Giprobornia) Ministry of Avtodor of RSFSR. (rus)

Information about the authors

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

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

Degtyar, Andrey N. PhD, Assistant professor. E-mail: andrey-dandr@yandex.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46

Received 02.03.2020

Для цитирования:

Серых И.Р., Чернышева Е.В., Дегтярь А.Н. Определение технического состояния железнодорожного моста // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2020. № 4. С. 32–39. DOI: 10.34031/2071-7318-2020-5-4-32-39

For citation:

Serykh I.R., Chernyshova E.V., Degtyar A.N. Determination of the technical condition of a railway bridge. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2020. No. 4. Pp. 32–39. DOI: 10.34031/2071-7318-2020-5-4-32-39

DOI: 10.34031/2071-7318-2020-5-4-40-47

*Суслов Д.Ю., Рамазанов Р.С.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова *E-mail: suslov1687@mail.ru

МОДЕЛИРОВАНИЕ СЖИГАНИЯ БИОГАЗА В ИНЖЕКЦИОННОЙ ГОРЕЛКЕ С ТЕПЛОВЫМ РАССЕКАТЕЛЕМ

Аннотация. Целью работы является исследование процесса сжигания биогаза в горелке с тепловым рассекателем. Для исследования процесса сжигания биогаза использовали программный комплекс моделирования Ansys Fluent. Разработана инжекционная горелка для сжигания биогаза с тепловым рассекателем конической формы и регулятором первичного воздуха. Проведены исследования процесса сжигания биогаза разного состава в горелках 5 конструкций: без рассекателя, с рассекателем длиною L=6 мм, с рассекателем L=12 мм, с рассекателем L=18 мм и рассекателем L=24 мм. Bрезультате моделирования установлено, что размещение рассекателя длиною 6 мм и 12 мм не оказывает влияния на температуру газовоздушной смеси в корпусе горелки. Увеличение длины рассекателя до 18 мм позволяет повысить температуру потока газовоздушной смеси, проходящего вдоль рассекателя. Дальнейшее увеличение длины рассекателя до 24 мм приводит к незначительному росту температуры газовоздушной смеси. Получены зависимости температуры пламени от длины рассекателя при сжигании биогаза с содержанием метана 60 % и 70 %. При размещении в корпусе горелки рассекателя длиною 6 мм и 12 мм температура пламени снижается, при увеличении длины рассекателя до 18 мм температура пламени возрастает, а при увеличении длины рассекателя до 24 мм температура пламени практически не изменяется. Следовательно, размещение в корпусе горелки рассекателя длиною 18...24 мм обеспечивает предварительный подогрев газовоздушной смеси и позволяет повысить эффективность процесса сжигания биогаза.

Ключевые слова: горение, горелка, инжекция, моделирование, температура газовоздушной смеси, температура пламени.

Введение. Газификация регионов Российской Федерации является актуальной и социально значимой задачей для компании «Газпром» и страны в целом. При этом развитие системы газоснабжения России заключаются в дифференцированном подходе к газификации, учитывающем модернизацию имеющихся месторождений газа и использование альтернативных источников энергии (сжиженного природного газа, компримированного природного газа и сжиженного углеводородного газа) [1]. Одним их перспективных направлений развития систем газоснабжения населенных пунктов, удаленных от магистральных газопроводов, и получивших широкое применение в развитых странах мира, является получение и использование биогаза [2-4]. Однако, учитывая в составе биогаза большое содержание углекислого газа, сжигание биогаза в традиционных горелках природного газа будет малоэффективным. Поэтому, использование биогаза в системах газоснабжения требует разработки технологических и технических решений по его эффективному применению. Исследованием процесса горения биогаза и других альтернативных газов занимались отечественные и зарубежные ученые [5–9]. В работе Сигала И. Я. [4] рассматривается возможность применения биогаза в котельных агрегатах ДКВР, ДЕ. Разработаны кон-

струкции горелок среднего давления для сжигания биогаза, получены зависимости длины факела при различных составах биогаза. Работа Яковлева В.А. [5] посвящена исследованию процесса сжигания нетрадиционных газов в горелках с принудительной подачей воздуха. В работе [6] проведены экспериментальные исследования процесса сжигания биогаза различного состава в традиционных горелках природного газа. Проанализирован компонентный состав продуктов сгорания биогаза и сделан вывод о низкой эффективности использования биогазового топлива в существующих горелках. При этом большинство работ посвящено исследованию процесса горения биогаза в горелочных устройствах промышленных агрегатов, работающих на высоком и среднем давлении газа.

Следовательно, актуальным является исследование процесса горения биогаза различного состава и разработка высокоэффективного горелочного устройства для сжигания биогаза в бытовых газовых приборах.

Методы, оборудование, материалы. Программа вычислительного эксперимента предусматривает исследование процесса горения биогаза двух составов: с содержанием метана 60 % и 70 %. Это объясняется тем, что в настоящее время действующие биогазовые установки в

качестве исходного субстрата используют отходы сельскохозяйственных и перерабатывающих предприятий [10–12]. Ранее авторами получено [13], что биогаз, производимый из органических отходов птицеводческих и животноводческих комплексов, состоит из 60 % метана, 37,5 % углекислого газа и 2,5 % других газов, а биогаз, производимый из отходов мясоперерабатывающих предприятий, содержит 70 % метана, 27 % углекислого газа и 3 % других газов.

Для определения оптимальной длины теплового рассекателя были проведены исследования 5 видов конструкций горелки: без рассекателя; с рассекателем длиною 6 мм; с рассекателем длиною 12 мм; с рассекателем длиною 18 мм; с рассекателем длиною 24 мм.

За параметр, характеризующий эффективность процесса горения была принята температура пламени – средняя температура области горения.

Для исследования процесса сжигания биогаза различного состава в горелке разработанной конструкции использовался программный комплекс моделирования Ansys Fluent. Методы компьютерного моделирования получили широкое применение для исследования процесса горения газообразного топлива [14–18].

Исходными данными для моделирования процесса сжигания биогаза являются конструктивные параметры горелки, физические свойства биогаза и воздуха, а также граничные условия:

- скорость, температура (20 °C) и компонентный состав биогаза;
- давление (101325 Па), температура (20 °C), и состав атмосферного воздуха (O2=0,233 %; N2=0,767 % по массе);
- статическое давление воздуха на выходе из горелки.

Результаты и обсуждение. Разработана конструкция инжекционной горелки низкого давления, оснащенная тепловым рассекателем [19]. Новизной разработанной горелки является использование в корпусе горелки теплового рассекателя конической формы и регулятора первичного воздуха. Применение рассекателя оригинальной формы обеспечивает предварительный подогрев газовоздушной смеси за счёт процесса теплопередачи от пламени через рассекатель к газовоздушной смеси. Применение регулятора первичного воздуха обеспечивает равномерный подсос и распределение объема первичного воздуха, необходимого для полного сгорания биогаза.

Для исследования горения биогаза была построена твердотельная геометрическая модель горелки разработанной конструкции (рис. 1). Для

построенной модели с помощью сеточного генератора Ansys Meshing произведена генерация нерегулярной, конформной тетраэдральной расчётной сетки конечных объёмов с качеством, позволяющим с достаточной для данной задачи точностью смоделировать процессы, протекающие при сжигании газообразного топлива.

Результаты моделирования процесса сжигания биогаза с содержанием метана 60 % представлены на рис. 2.

Рассмотрим распределение температуры газовоздушной смеси в корпусе горелки. В горелке без рассекателя (рис. 2, а) температура газовоздушной смеси нагревается только в верхней части корпуса горелки - поток, проходящий вдоль крышки. Размещение рассекателя длиною L=6 мм и L=12 мм (рис. 2, б и в) не оказывает значительного влияния на температуру газовоздушной смеси в корпусе горелки. Увеличение длины рассекателя до L=18 мм (рис.2, г) позволяет значительно повысить область повышенной температуры газовоздушной смеси внутри корпуса горелки на величину длины рассекателя. Увеличение длины рассекателя до L=24 мм (рис. 2, д) также позволяет увеличить область повышенной температуры газовоздушной смеси, но не на всю длину рассекателя, поэтому температура растет не значительно.

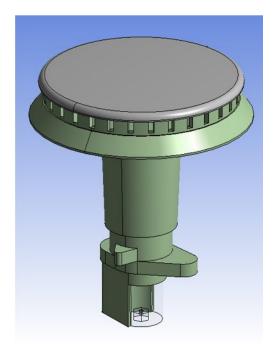


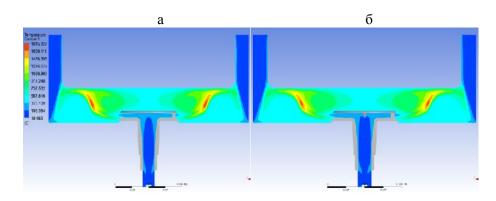
Рис. 1. 3D модель инжекционной горелки с тепловым рассекателем

На рисунке 3 представлен график зависимости средней температуры пламени от длины рассекателя при сжигании биогаза с содержанием метана 60 %.

Из графика видно (рис. 3), что температура пламени в горелке без рассекателя составляет

431 °C. При размещении в корпусе горелки рассекателя длиной 6 мм температура пламени снижается на 1,6 %, до 424 °C, а в горелке с рассекателем 12 мм температура пламени снижается еще на 1 %, до 420 °C. При дальнейшем увеличении длины рассекателя до 18 мм начальная температура пламени возрастает на 7,2 %, до 462 °C, а

при увеличении длины рассекателя до 24 мм температура пламени повышается незначительно, на 1,2 %, до 467 °С. Падение температуры пламени в горелках с рассекателями 6 и 12 мм объясняется ростом гидравлического сопротивления из-за установки рассекателя и падением скорости потока газовоздушной смеси.



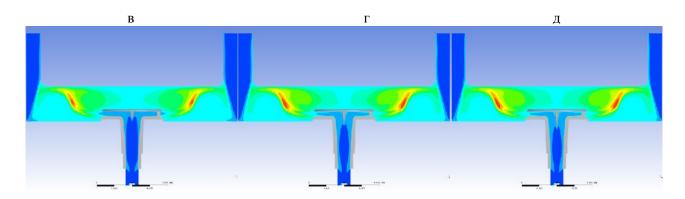


Рис. 2. Распределение температуры при сжигании биогаза с содержанием метана 60 % в горелке: а – без рассекателя; б – с рассекателем L=6 мм; в – с рассекателем L=12 мм; Γ – с рассекателем L=18 мм; Γ – с рассекателем L=24 мм

Таким образом, для эффективного сжигания биогаза с содержанием метана 60 % целесообразно применять рассекатель длиною 18...24 мм.

Результаты моделирования процесса сжигания биогаза с содержанием метана 70 % представлены на рис. 4.

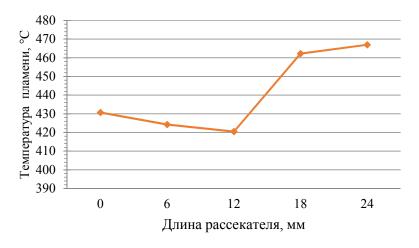


Рис. 3. График зависимости температуры пламени от длины рассекателя при сжигании биогаза с содержанием метана 60 %

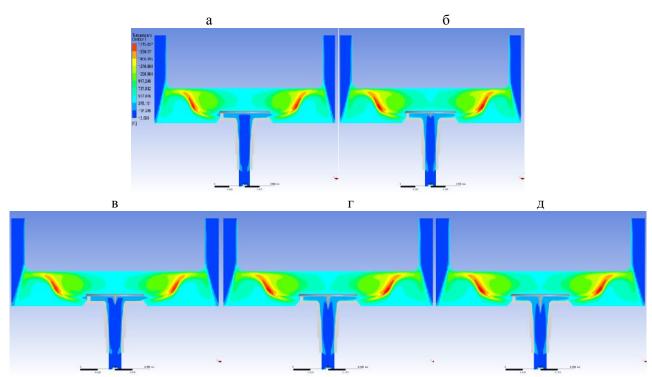


Рис. 4. Распределение температуры при сжигании биогаза с содержанием метана 70 % в горелке: а — без рассекателя; б — с рассекателем L=6 мм; в — с рассекателем L=12 мм; Γ — с рассекателем L=18 мм; Γ — с рассекателем L=24 мм

В горелке без рассекателя (рис.4, а) температура газовоздушной смеси нагревается только в верхней части корпуса горелки – поток, проходящий вдоль крышки. Размещение рассекателей длиною L=6 мм и L=12 мм (рис.4, б и в) не оказывает влияния на температуру газовоздушной смеси в корпусе горелки. Увеличение длины рассекателя до L=18 мм (рис. 4, г) позволяет значительно повысить область повышенной температуры газовоздушной смеси в корпусе горелки.

Увеличение длины рассекателя до L=24 мм (рис. 4, д) также позволяет увеличить область повышенной температуры газовоздушной смеси, но не на всю длину рассекателя, поэтому температура растет не значительно.

На рисунке 5 представлен график зависимости средней температуры пламени от длины рассекателя при сжигании биогаза с содержанием метана 70 %.

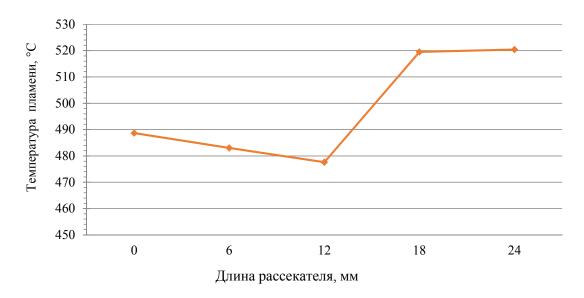


Рис. 5. График зависимости температуры пламени от длины рассекателя при сжигании биогаза с содержанием метана 70 %

Из графика видно (рис. 5), что температура пламени в горелке без рассекателя составляет 489 °С. При размещении в корпусе горелки рассекателя длиной 6 мм температура пламени снижается на 1,2 %, до 483 °С, а в горелке с рассекателем 12 мм температура пламени снижается еще на 1 %, до 478 °С. При дальнейшем увеличении длины рассекателя до 18 мм начальная температура пламени возрастает на 6,2 %, до 519,5 °С, а при увеличении длины рассекателя до 24 мм температура пламени практически не изменяется и составляет 520,4 °С. Падение температуры пламени в горелках с рассекателями 6 и 12 мм объясняется ростом гидравлического сопротивления

рассекателя и падением скорости потока газовоздушной смеси. Повышение температуры пламени в горелках с рассекателями 18 и 24 мм обусловлен ростом скорости потока газовоздушной смеси, связанным с расположением рассекателя в трубке корпуса горелки.

Таким образом, для эффективного сжигания биогаза с содержанием метана 70 % целесообразно применять рассекатель длиною 18 мм.

Результаты моделирования процесса сжигания биогаза различного состава в горелке с рассекателем 18 мм представлены на рис. 6.

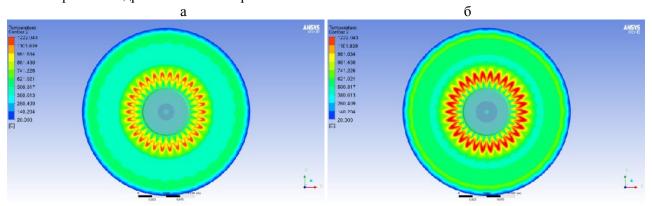


Рис. 6. Распределение температуры пламени в горелках с рассекателем 18 мм: а – биогаз с содержанием 60 % метана; б – биогаз с содержанием 70% метана

Из рисунка 6 видно, что с повышением содержания метана в биогазе температура пламени увеличивается. Так, средняя температура пламени при сжигании биогаза с содержанием 60 % составляет 462 °C, при увеличении содержания метана до 70% температура повышается до 520 °C, т.е. на 12,5 %.

Выводы. Разработана инжекционная горелка для сжигания биогаза, оснащенная тепловым рассекателем в форме конуса и регулятором первичного воздуха. Применение рассекателя оригинальной формы обеспечивает предварительный подогрев газовоздушной смеси и позволяет повысить температуру горения.

Проведены исследования процесса сжигания биогаза разного состава в горелках 5 конструкций: без рассекателя, с рассекателем длиною L=6 мм, с рассекателем L=12 мм, с рассекателем L=18 мм и рассекателем L=24 мм.

В результате моделирования установлено, что размещение рассекателя длиною 6 мм и 12 мм не оказывает влияния на температуру газовоздушной смеси в корпусе горелки. Увеличение длины рассекателя до 18 мм позволяет повысить температуру потока газовоздушной смеси, проходящего вдоль рассекателя. Увеличение длины

рассекателя до 24 мм приводит к незначительному росту температуры газовоздушной смеси, т.е. не по всей длине рассекателя.

Получены зависимости температуры пламени от длины рассекателя при сжигании биогаза. При размещении в корпусе горелки рассекателя длиною 6 мм и 12 мм температура пламени снижается на 1,2 % и 2,2 % соответственно. При увеличении длины рассекателя до 18 мм температура пламени возрастает на 6,2 %, а при увеличении длины рассекателя до 24 мм температура пламени практически не изменяется.

Можно сделать вывод, что оптимальным решением повышения эффективности и стабильности процесса сжигания биогаза с содержанием метана 60 % является установка в корпусе горелки рассекателя длиною 18...24 мм, а для сжигания биогаза с содержанием метана 70 % — установка рассекателя длиною 18 мм. Это позволяет повысить тепловую мощность горелки при минимальных металлозатратах.

Источник финансирования. Исследование выполнено при финансовой поддержке $P\Phi \Phi H$ в рамках научного проекта N 18-38-00351.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Газификация [Электронный ресурс]. URL: http://www.gazprom.ru/about/production/

gasification/ (дата обращения 20.02.2020).

- 2. IEA Bioenergy Task 37 Country Reports Summery 2014 // IEA Bioenergy. 2015. 50 p.
- 3. Scarlat N. et al. Renewable Energy. 2018. № 129. Pp. 457–472.
- 4. Lambert M. Biogas: A significant contribution to decarbonising gas markets? The Oxford Institute for Energy Studies. June 2017.
- 5. Сигал И.Я., Марасин А.В., Смихула А.В., Сигал А.И., Колчев В.А. Экспериментальное исследование горения биогаза и его использование в промышленных котлах // Международный научный журнал «Альтернативная энергетика и экология». 2013. №17 (139). С. 84–89.
- 6. Яковлев В.А., Комина Г.П. Оптимизация воздухораспределительных систем газогорелочных устройств с принудительной подачей воздуха и щелевой камерой смешения методом математического моделирования // Вестник гражданских инженеров. 2016. № 2 (55). С. 163–170.
- 7. Ilbas M., Sahin M., Karyeyen S. Combustion Behaviours of Different Biogases in an Existing Conventional Natural Gas Burner: An Experimental Study // International Journal of Renewable Energy Research. 2016. Vol. 6. No. 3. Pp. 1178–1188.
- 8. Anggono W., Wardana I.N.G., Lawes M. [et al.] Biogas laminar burning velocity and flammability characteristics in spark ignited premix combustion. Journal of Physics: Conference Series. 2013. 423 (1).
- 9. Suprianto F., Anggono W., Tanoto M. Effect of Carbon Dioxide on Flame Characteristics in Biogas External Premix Combustion International Journal of Applied Engineering Research. 2016. Vol. 11. Number 4. Pp. 2240–2243.
- 10. Wagner L. Trends from the use of biogas technology in Germany. VIV Asia Biogas Conference on March 12th 2015. Bangkok. 50 p.
- 11.Biogas is based on renewable raw materials. A comparative analysis of sixty-one biogas plants in Germany (Germany: Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe Gülzow). 115 p.

- 12.Wu B., Zhang X., Di Bao, Xu Y., Zhang S., Deng L. Biomethane production system: Energetic analysis of various scenarios // Bioresour Technol. 2016. №206. Pp. 155–163. DOI: 10.1016/j.biortech.2016.01.086.
- 13. Suslov D.Y., Sedyh P.S. Experimental Studies of the Process of Obtaining Biogas from Wastes from Agricultural Enterprises // International Science and Technology Conference "EastConf". Vladivostok. Russia. 2019. Pp. 1–4.
- 14.Liu Y.-F., Liang X.-J., Gao Z.-Y., Wang, J.-Q. Numerical simulation of O₂/CO₂ recycled flue gas combustion in a 300 MW Boiler. Reneng Dongli Gongcheng // Journal of Engineering for Thermal En-ergy and Power. March 2009. Vol. 24, Issue 2. Pp. 177–181.
- 15.Kuznetsov V.A., Trubaev P.A. Resources and Problems of the Mathematical Simulating Thermo-Technological Processes. J. Phys.: Conf. Ser. 2018. 1066. 012024.
- 16.Anggono W., Wardana I., Pourkashanian M., Hughes K., Lawes M., Wahyudi S., Hamidi N., Hayakawa A. Experimental and Numerical Simulation on Boigas Flame Propagation Characteristic in Spark Ignition Premixed Combustion Proceeding The 3rd International Conference on Engineering and ICT (ICEI2012) (Melaka-Malaysia). 2012. Vol. 2. Pp. 290–294.
- 17. Kuznetsov V.A. Mathematical Model of the Radiative Heat Exchange in the Selective Gases of a Diffusion Flame // Journal of Engineering Physics and Thermophysics. 2017. 90(2). Pp. 357–65.
- 18.Feng M.-J., Li D.-L., Wang E. Numerical simulation of an adjustable length of flame gas burner // Journal of Northeastern University. 2014. 35. Pp. 1279–1283.
- 19.Суслов Д.Ю., Рамазанов Р.С., Лобанов И.В. Исследование распределения газовоздушной смеси в корпусе инжекционной горелки с тепловым рассекателем // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2019. № 10. С. 60–66. DOI: 10.34031/article 5db3db3a9cb6a3.99321784.

Информация об авторах

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

Рамазанов Рафшан Салманович, аспирант кафедры теплогазоснабжения и вентиляции. Е-mail: boss.rafshan@mail.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46

Поступила 24.02.2020

© Суслов Д.Ю., Рамазанов Р.С., 2020

*Suslov D. Yu., Ramazanov R.S.

Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov *E-mail: suslov1687@mail.ru

SIMULATION OF BIOGAS COMBUSTION IN INJECTION BURNER WITH HEAT DIVIDER

Abstract. The purpose of this work is to develop a design of a biogas combustion equipped with a thermal divider and study the process of burning biogas of different composition. To study the biogas combustion process in the burner of the developed design, the Ansys Fluent modeling software package is used. An injection burner for biogas combustion with a cone-shaped thermal divider and primary air regulator has been developed. Studies of the process of burning biogas of different composition in burners of 5 designs were carried out: without a divider, with a divider with a length of L = 6 mm, with a divider L = 12 mm, with a divider L = 18 mm and a divider L = 24 mm. As a result of modeling, it is found that the placement of a divider with a length of 6 mm and 12 mm does not affect the temperature of the gas-air mixture in the burner body. Increasing the length of the divider to 18 mm allows to increase the temperature of the flow of the gas-air mixture passing along the divider. A further increase in the length of the divider to 24 mm leads to a slight increase in the temperature of the gas-air mixture. The dependences of the flame temperature on the length of the divider during the combustion of biogas with a methane content of 60% and 70% are obtained. When a divider with a length of 6 mm and 12 mm is placed in the burner body, the flame temperature decreases, with an increase in the length of the divider to 18 mm, the flame temperature increases, and with an increase in the length of the divider to 24 mm, the flame temperature remains practically unchanged. Consequently, the placement of a divider with a length of 18...24 mm in the burner body ensures preliminary heating of the gas-air mixture and allows increasing the efficiency of the biogas combustion process.

Keywords: combustion, burner, injection, modeling, temperature of gas-air mixture, flame temperature.

REFERENCES

- 1. Gasification [Gazifikaciya]. URL: http://www.gazprom.ru/about/production/ gasification (accessed 20.02.2020). (rus).
- 2. IEA Bioenergy Task 37 Country Reports Summery 2014. IEA Bioenergy. 2015. 50 p.
- 3. Scarlat N. et al. Renewable Energy. 2018. No. 129. Pp. 457-472.
- 4. Lambert, M. Biogas: A significant contribution to decarbonising gas markets? The Oxford Institute for Energy Studies. June 2017.
- 5. Sigal I.Ya., Marasin A.V., Smihula A.V., Sigal A.I. and Kolchev V.A. Experimental study of biogas burning and it use in industrial boilers [Eksperimental'noe issledovanie goreniya biogaza i ego ispol'zovanie v promyshlennyh kotlah]. International Scientific Journal for Alternative Energy and Ecology. No. 17 (139). Pp. 84-89. (rus).
- 6. Yakovlev V., Komina G. Optimization of air distribution systems of gas burner devices with forced air supply and a slit mixing chamber by mathematical modeling [Optimizaciya vozduxoraspredelitel`ny`x sistem gazogorelochny`x ustrojstv s prinuditel`noj podachej vozduxa i shhelevoj kameroj smesheniya metodom matematicheskogo modelirovaniya]. Vestnik grazhdanskix inzhenerov. 2016. No. 2 (55). Pp. 163–170. (rus).
- 7. Ilbas M., Sahin M., Karyeyen S. Combustion Behaviours of Different Biogases in an Existing Conventional Natural Gas Burner: An Experimental

- Study. International Journal of Renewable Energy Research. 2016. Vol. 6. No. 3. Pp. 1178–1188.
- 8. Anggono W/, Wardana, I.N.G., Lawes M. [et al.] Biogas laminar burning velocity and flammability characteristics in spark ignited premix combustion. Journal of Physics: Conference Series. 2013. 423 (1).
- 9. Suprianto F., Anggono W., Tanoto M. Effect of Carbon Dioxide on Flame Characteristics in Biogas External Premix Combustion International Journal of Applied Engineering Research. 2016. Volume 11. No. 4. Pp. 2240-2243.
- 10. Wagner L.Trends from the use of biogas technology in Germany. VIV Asia Biogas Conference on March 12th 2015. Bangkok. 50 p.
- 11. Biogas is based on renewable raw materials. A comparative analysis of sixty-one biogas plants in Germany (Germany: Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe Gülzow). 115 p.
- 12. Wu B, Zhang X, Di Bao, Xu Y, Zhang S, Deng L. Biomethane production system: Energetic analysis of various scenarios. Bioresour Technol. 2016. No. 206. Pp. 155–163. DOI: 10.1016/j.biortech.2016.01.086.
- 13. Suslov D.Y., Sedyh P.S. Experimental Studies of the Process of Obtaining Biogas from Wastes from Agricultural Enterprises. International Science and Technology Conference "EastConf". Vladivostok. Russia. 2019. Pp. 1–4.
- 14. Liu Y.-F., Liang, X.-J., Gao Z.-Y., Wang, J.-Q. Numerical simulation of O2/CO2 recycled flue gas combustion in a 300 MW Boiler. Reneng Dongli

Gongcheng. Journal of Engineering for Thermal Energy and Power. March 2009. Vol. 24, Issue 2. Pp. 177–181.

- 15. Kuznetsov V.A., Trubaev P.A. Resources and Problems of the Mathematical Simulating Thermo-Technological Processes. J. Phys.: Conf. Ser. 2018. No. 1066. 012024.
- 16. Anggono W., Wardana I., Pourkashanian M., Hughes K., Lawes M., Wahyudi S., Hamidi N. and Hayakawa A. Experimental and Numerical Simulation on Boigas Flame Propagation Characteristic in Spark Ignition Premixed Combustion Proceeding The 3rd International Conference on Engineering and ICT (ICEI2012) (Melaka-Malaysia). 2012. Vol. 2. Pp. 290–294.
- 17. Kuznetsov V.A. Mathematical Model of the Radiative Heat Exchange in the Selective Gases of a Diffusion Flame. Journal of Engineering Physics and Thermophysics. 2017. No. 90(2). Pp. 357–65.
- 18. Feng M.-J., Li D.-L., Wang E. Numerical simulation of an adjustable length of flame gas burner. Journal of Northeastern University. 2014. No. 35. Pp. 1279–1283.
- 19. Suslov D.Yu., Ramazanov R.S., Lobanov I.V. Research of the distribution of a gas-air mixture in the body of injection burner with thermal divider. [Issledovanie raspredeleniya gazovozdushnoj smesi v korpuse inzhekcionnoj gorelki s teplovym rassekatelem]. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2019. No. 10. Pp. 60–66. DOI: 10.34031/article 5db3db3a9cb6a3.99321784. (rus)

Information about the authors

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

Ramazanov, Rafshan S. Postgraduate student. E-mail: boss.rafshan@mail.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Received 24.02.2020

Для цитирования:

Суслов Д.Ю., Рамазанов Р.С. Моделирование сжигания биогаза в инжекционной горелке с тепловым рассекателем // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2020. № 4. С. 40–47. DOI: 10.34031/2071-7318-2020-5-4-40-47

For citation:

Suslov D.Yu., Ramazanov R.S. Simulation of biogas combustion in injection burner with heat divider. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2020. No. 4. Pp. 40–47. DOI: 10.34031/2071-7318-2020-5-4-40-47

DOI: 10.34031/2071-7318-2020-5-4-48-56

Скрябин П.В.

Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет E-mail: paulskryabin(a)yandex.ru

ГРАДОСТРОИТЕЛЬНОЕ РАЗВИТИЕ ЮГА СИБИРИ: ФОРМИРОВАНИЕ КОММУНИКАЦИОННЫХ КОРИДОРОВ

Аннотация. Данная публикация посвящена перспективам градостроительного развития южной части Сибири, включающей: Алтайский край, южную часть Новосибирской области, южную оконечность Красноярского края, Кемеровскую и Иркутскую области, Республики Алтай, Хакасия и Тыва. С севера исследуемая территория ограничена транссибирской магистралью с востока — берегом Байкала. В границах Южно-Сибирской системы расселения автор выделяет три крупных системы поселений (агломерационных системы). Каждая система поселений сформировалась и развивается на линиях пересечения транспортно-логичетических коридоров (Транссибирская магистраль, Байкалоамурская магистраль, Чуйский тракт и прочие). Лини прохождения этих коридоров обусловлены природно-ландшафтными факторами (побережья крупных рек, горы, межгорные котловины, степи). Изучая типологические особенности территории имеется возможность выявить направления формирования будущих коммуникационнно-логистических коридоров и развитие сети взаимосвязанных поселений.

Ключевые слова: градостроительство, территориальное планирование, природно-ландшафтные условия, система расселения

Введение. В границы южного пояса расселения Сибири автор предлагает включить территории нескольких административно-хозяйствующих субъектов:

- Южная часть Новосибирской области,
- Алтайский край (степной Алтай, административный центр Барнаул),
- Республику Алтай (Горный Алтай, административный центр Горно-Алтайск),
- Кемеровскую область (Новокузнецк и Кемерово),
 - Южная оконечность Красноярского края,
 - Республику Хакасия (Абакан),
- Республику Тыва (административный центр Кызыл),
- Иркутскую область (включая юго-западный берег Байкала и город Иркутск).

Таким образом, с юго-запада и с юга рассматриваемая территория ограничена государственной границей Российской Федерации с Казахстаном, Китаем и Монголией, с севера Транссибирской магистралью, с востока Берегом Байкала. Эту территорию отличают сравнительно мягкий климат для ведения сельского хозяйства, обилие полезных ископаемых для развития производства, не нарушенные и разнообразные природные ландшафты Сибирских Саян для развития рекреационной деятельности, а также во многом ярко-выраженный рельеф со значительными перепадами высот. Последняя особенность этой территории долгое время представляла трудности для градостроительного освоения. Три основных этапа градостроительного освоения Сибири

с XVI по XXI века автор данной статьи обозначает как «речной этап», «дорожный» и «железнодорожный этап».

Речной этап (XVI – начало XVIII века) характеризуется использованием сибирских рек в качестве транспортных связей – единственно возможный способ транспортировки грузов и перемещения по обширной территории Сибири. Первоначальный вектор освоения был направлен с севера на юг – вверх по течению рек Тобола, Иртыша, Оби, Томи, Енисея и Ангары. Поэтому, при слиянии рек строились остроги, зимовья и возникали новые поселения. При впадении реки Тюменки в реку Тура в 1586 году ставится Тюменский острог (Тюмень), при впадении реки Тобола в Иртыш в 1587 году строится Тобольск, при впадении в Ангару реки Оки в 1631 году ставится Братский острог, при впадении реки Кондомы в Томь строится Кузнецкий острог (1620). В этот период ранний сибирский город являлся звеном налоговой системы, то есть выполнял узконаправленную функцию - служил пунктом сбора и обмена пушнины у местных народов на предметы быта, инструменты и оружие [10]. Направление хозяйственного освоения Сибири изменилось в результате смутного времени, вызванного затяжным неурожаем в европейской части. Вызванный этим катаклизмом поток переселенцев в Сибирь, нуждавшихся в стабильном и безопасном хозяйствовании и бежавших от польских интервентов, способствовал развитию сельскохозяйственной деятельности на плодородных и неосвоенных землях. В южном направлении, в сторону плодородных степей, стали развиваться новые поселения и строиться новые города-остроги с сельскохозяйственной специализацией. Война со Швецией за возвращение Северо-запада России и реформы Петра I требовали развития промышленного производства, выплавки металлов и добычи ценного природного сырья, а также развития торговли. В целях доставки товаров из Китая, поставки продукции из колыванских и кузнецких заводов требовалось строительство новых транспортных связей, так как транспортировка грузов по рекам имела сезонный характер, для перехода из одного речного бассейна в другой требовалось перегружать весь товар.

Дорожный этап градостроительного освоения Сибири (XVIII-XIX век) характеризуется строительством сухопутной транспортной связи - Сибирского тракта, линия трассировки которого повторяла изгибы сибирских рек, проходя параллельно береговой лини, соединяя города: Верхотурье – Туринск – Тюмень со связью на Екатеринбург – Тобольск – Тюкалинск с ответвлением на Омск – Каргат и с ответвлением на Барнаул – Чаусский острог – Томск – Ачинск, а также с ответвлением на Енисейск – Красноярск - Канский острог. В XIX веке криволинейная синусоида этого пути была значительно спрямлена, новый Московско-Сибирский тракт соединил города: Екатеринбург – Омск – Каинск – Колывань Томск – Красноярск – Канск – Нижнеудинск – Иркутск. Были проложены ответвления в южном направлении. Проложено ответвление из Омска в Семипалатинск, из Барнаула в Бийск и Кузнецк, а также вглубь Саянских гор на Змеиногорский рудник, на Усть-Каменогорск и далее до Бухтарминской крепости, из Канска в Минусинск, из Красноярска на север в Енисейск и в Туруханск, из Иркутска в Киренск и в Якутск [8]. Запоздавший переход царской России к научно-технической революции обозначил ряд существенных проблем: недостаток плодородной земли у крестьян в европейской части, для чего требовалось переселение крестьян на новые и неосвоенные земли (земельная реформа Столыпина) необходимость надёжного транспортного сообщения с государствами Дальнего Востока, разработка новых месторождений сырья.

Железнодорожный этап (конец XIX века — по наши дни) начался со строительства Великого Транссибирского железнодорожного пути, линия которого повторяла Московско-Сибирский тракт, но имела некоторые отличия. Пересечение транссибирской магистралью реки Оби предусматривало несколько вариантов, был выбран вариант строительства железнодорожного моста при впадении малой реки Каменки в Обь у села

Кривощеково в 60 километрах южнее города Колывань и значительно южнее города Томска. Это привело к возникновению нового крупного узла в системе расселения — города Новониколаевска (сегодня крупнейший город Новосибирск, 1,6 млн. жителей), город Колывань утратил своё значение, превратившись в посёлок, вместе с этим утратил своё доминирующее положение город Томск [11].

В результате этого Современный каркас расселения южной части Сибири имеет сетчатую структуру с крупными почти прямоугольной формы ячейками между природными осями и коммуникационно-логистическими коридорами каркаса. В узлах каркаса расположены крупные и крупнейшие города. На пересечении Транссибирской магистралью реки Иртыш расположен Омск (1,2 млн. жит.), на пересечении Транссибом Оби – Новосибирск (1,6 млн.), на пересечении Енисея – Красноярск (1,0 млн.), у истока Ангары расположен Иркутск (0,6 млн.). Сегодня наблюдается формирование второго коммуникационно-логистического коридора к югу от Транссиба на основе транспортной связи: Астана – Барнаул – Бийск – Новокузнецк – Абакан – Тайшет. На пересечении этого коридора с рекой Обь расположен Барнаул (0,3 млн. жит.), с рекой Томь – Новокузнецк (0,5 млн.), с рекой Енисей – Абакан (0,18 млн.), на пересечении Ангары – Тайшет, имеется ответвление на город Кызыл. К северу от Транссиба происходит формирование третьего дублёра, соединяющего: Ханты-Мансийск – Сургут – Стрижевой – Белый Яр – Лесосибирск – Братск. На пересечении этой связью реки Обь расположен Ханты-Мансийск и Сургут, на пересечении реки Кеть – Белый Яр, на пересечении Енисея – Лесосибирск, на пересечении Ангары – Братск.

Однако наиболее уязвимым в транспортном отношении остаётся единственный узел расселения — Тайшет, в котором сходятся два коммуникационно-логистических коридора — Транссибирская магистраль и Байкало-Амурская магистраль, перебой в функционировании которых в этой точке оставляет в изоляции от европейской части весь Дальний Восток и Приморский край. Требуется формирование дополнительных транспортных связей в обход Тайшета.

Линии транспортных связей на Юге Сибири строго следуют форме рельефа, проходя по наиболее ровным поверхностям межгорных речных котловин. Композиционными природными осями этих котловин являются реки, что определяет трассировку многих транспортных связей вдоль уреза воды. Следуя характеру рельефа и природно-ландшафтной карте земной поверхно-

сти, не трудно предположить рисунок новых линий коммуникационно-логистических коридоров в перспективе. Это в свою очередь определит развитие существующих поселений и возникновение новых [1, 2, 4].

Проблематика исследуемой территории связанна с противоречием между стремлением властей (региональных и муниципальных) к привлечению инвестиций и хищническим опустошением природных ресурсов (вырубка лесов, разработка полезных ископаемых, эксплуатация водоёмов) со стороны инвесторов, стремящихся к быстрым сверхприбылям. Материальный интерес, стимулируемый целенаправленной политикой правительства в рамках международных отношений и обязательств перед иностранными финансово-политическими структурами, имеет единственную цель - увеличение вывоза за границы страны ценного природного сырья по наиболее низким ценам. Это целенаправленно привело к оскудению региональных и муниципальных бюджетов, что не оставило альтернативных вариантов развития кроме вынужденного увеличения добычи полезных ископаемых и вырубки леса. Масштабная вырубка сибирских лесов привела к необратимым экологическим последствиям, истощая основу для развития хозяйственной деятельности. Второе противоречие обусловлено необходимостью развития транспортных и инженерных связей между системами поселений с одной стороны и специфическими природно-ландшафтными условиями, обуславливающими определенные трудности в прокладке и развитии таких связей.

Цель исследования — выявление и обоснование вариантов прохождения перспективных коммуникационно-логистических коридоров в системе расселения Юга Сибири.

Гипотеза — характер рельефа земной поверхности определяет направление развития сети коммуникационно-логистических коридоров, а также населённых пунктов, типологию и масштаб их градостроительного развития.

Методология исследования включает метод ландшафтной сообразности в градостроительном планировании, разработанный профессором Большаковым А.Г. [1.1.7]; метод хозяйственно-экологического зонирования территории согласно водостоку в бассейнах рек, разработанный профессором Митягиным С.Д. [9]; метод плотности коммуникационных связей (транспортных, пешеходных, инженерных) практикуемый Биллом Хиллером [1, 2, 3]. Все эти методы основаны на простой логической взаимосвязи: природный ландшафт и рельеф формируют карту землепользования, что определяет направление

коммуникационных связей, на пересечении которых возникают очаги урбанизации, города и посёлки, развитие которых влияет на изменение природного ландшафта. Вопросом градостроительства в данном случае является рациональная пространственная организация территории согласно экологическим качествам земной поверхности [4, 5]. Изучение способности природного ландшафта к самовосстановлению в градостроительных системах, влияние формы рельефа на трассировку линий коммуникационных связей, экологически сбалансированное землепользование — основа градостроительной деятельности [Ошибка! Источник ссылки не найден.].

Основная часть. Используя бассейновый подход профессора Митягина С.Д. [9], следует выделить три наиболее крупных природно-речных комплекса, в пространстве которых формируются три соответствующих системы поселений, составляющих систему расселения Юга Сибири (рис. 1).

Первый природно-речной комплекс охватывает бассейн реки Оби (образованной слиянием рек Бии и Катуни) и бассейн реки Томи. Этот природно-речной комплекс включает две огромных межгорных котловины параллельно расположенных в меридиональном направлении, между которыми протянулся Салаирский кряж. Юго-западной границей является Бащелакский хребт, западная граница – Колыванский хребет, восточную границу образует Абаканский хребет и Кузнецкий Алатау. В долине реки Оби сформировалась трёх узловая система агломераций, включающая города – административные центры и ядра агломераций: Новосибирск, Барнаул и Горно-Алтайск. В долине реки Томи сформировалась двух узловая система агломераций Кемерово - Новокузнецк. По мнению автора, здесь следует рассматривать единую систему поселений, состоящую из пяти агломерационных узлов, связанных тремя коммуникационно-логистическими коридорами. Первый коридор - Транссибирская магистраль, соединяющая Новосибирск с Кемерово. Второй является осью расселения Новосибирск – Барнаул – Горно-Алтайск и далее направлен через Монголию (через Улан-Батор) в Китай (в Пекин). Третий сформирован на оси расселения Кемерово-Новокузнецк. Автор видит предпосылки формирования в будущем четвертого коммуникационно-логистического коридора в широтном направлении (параллельно Транссибу) на основе существующей транспортной связи Барнаул – Заринск – Ельцовка – Новокузнецк - Междуреченск - Ясна Поляна -Аскиз – Абакан. Возможен второй вариант линии трассировки этого коридора: Бийск – Целиное – Ельцовка – Новокузнецк – Междуреченск – Ясна Поляна — Аскиз — Абакан. Одной из основных предпосылок являются геологическая форма рельефа — в этом месте Салаирский кряж имеет существенное понижение вблизи Новокузнецка, что позволяет без труда осуществлять сообщение Новокузнецкой агломерации с Барнаулом и Бийском. Развивается система поселений по транспортной связи между Новокузнецком и Абака-

ном, проходящей в удобной для этого горной долине реки Томь и переходящей в долину реки Аскиз. Хозяйственная связь будет осуществляться на основе энергетического комплекса Саяно-Шушенской Гидроэлектростанции (крупнейшей в мире по установленной мощи — 6400 МВт арочно-гравитационной плотины) и металлургических производств Новокузнецка (металлургические комбинаты) [12, 14, 15].



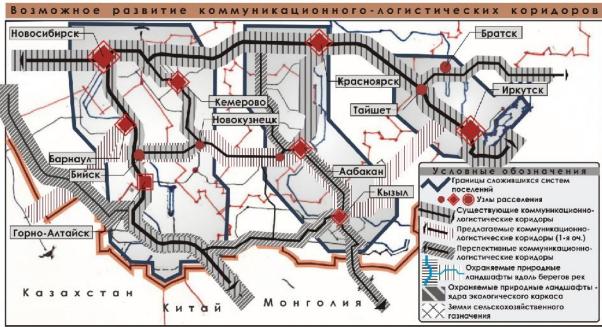


Рис. 1. Существующее положение и перспективы развития коммуникационно-логистических коридоров Юга Сибири

Второй Енисейский природно-речной комплекс отчётливо выявляется в бассейне Енисея между горными хребтами Кузнецким Алатау на западе и Восточным Саяном на востоке. Природной композиционной осью является Енисей, вдоль которого сформировалась трёх узловая система поселений: Красноярск, Абакан и Кызыл —

административные центры и ядра агломераций. Транспортная связь Абакан — Кылыл приобретает трансграничный характер, ввиду её продолжения через Многолию, через поселки Улаангом, и Ховд, через город Улан-Батор в столицу Китая — в Пекин. В развитие коммуникационно-

логистического коридора Астана – Барнаул – Новокузнецк – Абакан, как южного дублера Транссибирской магистрали в перспективе необходимо формирование связи Абакан – Кызыл – Саянск (расположен на Транссибе) – Иркутск [16, 17].

Третий Байкало-Ангарский природно-речной комплекс расположен в треугольнике между западным берегом Бакала, Транссибирской магистралью, проходящей в направлении северо-запад-юго-восток и Байкало-Амурской магистралью (БАМ), проложенной в направлении западвосток. На пересечении БАМом рек Ангары расположен Братск – энергетический узел, на пересечении БАМом реки Илим расположен Железногорск-Илимский – металлоплавильный центр, на пересечении БАМом реки Лены расположен Усть-Кут – рудодобывающий узел, на пересечении БАМом северной оконечности Байкала расположен Северобайкальск, имеющий электроэнергетическую и лесоперерабатывающую специализацию. Потенциалом хозяйственного развития обладают поселения, расположенные на пересечении Транссибирской магистрали с реками: Бирюса - город Тайшет, с рекой Уда -Нижнеудинск, с рекой Ия – поселок Тулун, с рекой Ока – поселок Зима, а также поселок Залари. Одновременно в северо-западном направлении, параллельно берегу Байкала развивается одно из наиболее интересных направлений в плане развития сельскохозяйственной деятельности, вдоль связи Иркутск – Баяндай. От Байяндай имеется связь до поселка Еланцы, откуда проложена автотрасса до пролива Ольхонские Ворота, где наблюдается неконтролируемое развитие стихийной застройки для размещения и обслуживания туристов на основе уникальных природноландшафтных условий Байкала. Природно-ландшафтные факторы, являясь определяющими для формирования транспортных связей, влияют на развитие Иркутской агломерации, включающей кроме самого Иркутска - научно-производственного центра, также города Шелехов, Анграск, Усолье Сибирское и Черемхово, где вытекающая из Байкала Ангара, является основной природной композиционной осью. На основе природных осей – речных долин, потенциалом развития обладает связь Иркутск - Качуг - Жигалово - Усть-Уда – Залари, а также Аршан – Тулун – Братск – Видим [13].

Пространство, ограниченное по периметру коммуникационно-логистическими коридорами автор предлагает называть ландшафтными морфотипами. В южной части Сибири автором выделен ряд таких морфотипов, условно объединённых в три группы (рис. 2).

Первая группа морфотипов (группа «А» и «А.1») – производственно-сельскохозяйственных, отличается преобладанием лесных ландшафтов с холмистым рельефом, и широкими речными долинами с относительно ровным и плоским дном, оптимальным почвенным составом для ведения сельскохозяйственной деятельности. По периметру границ расположены земли сельскохозяйственного использования, а также земли населенных пунктов с группами поселений вдоль крупных рек. В центральной части выделяется возвышенность - горный хребет речного водораздела, который является зоной питания множества мелких рек и ручьев, стекающих в крупные реки. В связи с этим предлагается выделить центральную часть как ядро экологического каркаса со строгим природоохранным режимом особо охранной природной территории. Вдоль рек следует установить охранную полосу с широким отступом застройки от берега.

Вторая группа морфотипов (группа «Б») — сельскохозяйственно-рекреационная, выделяется в предгорьях Саян, где плодородные степи разрезаны линиями небольших рек, вдоль которых расположены полосы темнохвойных боров (ленточные боры Алтайского края), которые являются особо охраняемыми природными территориями. Земли сельскохозяйственного использования расположены между этими полосами. Полосы охранных прибрежных ландшафтов целесообразно выделить вдоль рек малых и крупных, с возможностью контролируемого и планомерного развития рекреационной деятельности.

Третья группа морфотипов (группа «В» и «В.1») — рекреационная, отличается сложным горным рельефом, уникальными не нарушенными хозяйственной деятельностью природными ландшафтами. Разнообразие природных ландшафтов, наличие бальнеологических источников и мягкий климат являются основным ресурсов для развития рекреационной деятельности, как основной хозяйственной специализации. Кроме этого здесь возможно ведение в небольших масштабах сельскохозяйственной деятельности в пределах узких долин горных рек, где расположены группы поселений и проходят все транспортные связи — оси расселения.

Наблюдается одна характерная особенность — в границах ландшафтного морфотипа производственно-сельскохозяйственной группы (группа «А») происходит развитие моноцентрических агломераций с центром крупным (Барнаул, Кемерово) или крупнейшим городом (Красноярск, Новосибирск). В границах морфотипа рекреационной группы (группа «В») развиваются небольшие агломерации с двумя центрами (связка Горно-Алтайск — Майма, Абакан —

Минусинск, Кызыл — Каа-Хем). По границам ландшафтного морфотипа сельскохозяйственнорекреационной группы (группа «Б») полицентрические агломерации с несколькими центрами (Новокузнецк, Иркутск) (рис. 2).

Таким образом, возможно прямое влияние природно-ландшафтных условий на направление

хозяйственного развития, следовательно, и на градостроительное освоение территории. Типология территорий определяет типологию поселений и типы агломераций (моноцентрические или полицентрические).

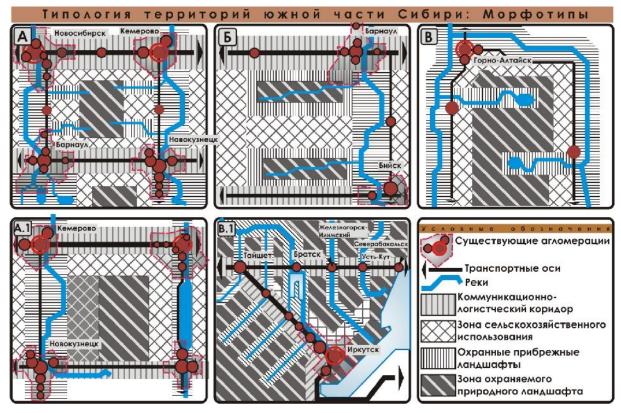


Рис. 2. Морфотипы территорий, выделенные в южной части Сибири

Вывод. Хозяйственная специализация, функциональное зонирование и отличия в планировочной организации определяют типологию различных поселений. Типология поселений определяется различиями территорий, что зависит от природно-ландшафтных условий (геологической формы рельефа, сети рек и озер, характером природного ландшафта). Объективные природно-ландшафтные факторы влияют на рисунок сети транспортных связей и линии прохождения коммуникационо-логистических коридоров. Пересечение коммуникационо-логистических коридоров с реками, а также с существующими связями и другими транспортно-логистическими коридорами определяет возникновение узлов расселения - городов и поселков, каждый из которых имеет функционально-планировочные отличия и своих субъектов градостроительной деятельности. Подтверждая гипотезу о влиянии строения земной поверхности на возникновение и развитие будущих коммуникационно-логистических коридоров и систем поселений, автор данной статьи предложил свое видение перспективных направлений градостроительного освоения Юга Сибири:

- развитие сети коммуникационно-логистических коридоров с пробивкой нового дублирующего коридора южнее Транссибирской магистрали по линии Астана Барнаул Бийск Новокузнецк Абакан Кызыл Саянск Иркутск на первую очередь, а также коридора по линии Кош-Агач Ак-Довурак Кызыл вдоль государственной границы с Монголией на перспективу.
- упорядочение карты землепользования Юга Сибири с выделением ядер экологического каркаса, полос охраняемых прибрежных ландшафтов вдоль больших и малых рек, земель сельскохозяйственного использования между ядрами экологического каркаса и полосами прибрежных ландшафтов.
- развитие систем поселений в южной части Сибири – в формате небольших агломерационных образований моноцентрических, полицентрических и с двумя центрами.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- 1. Hillier B., Perm A., Hanson J., Grajewski T., Xu J. Natural movement: or, configuration and attraction in urban pedestrian movement // Environment and Planning B: Planning and Design. 1993. Vol. 20. Pp. 29–66.
- 2. Hillier B. Space is the machine. University College London. 2007. 368 p.
- 3. Hillier B., Hanson J. The social logic of space. Bartlett School of Architecture and Planning. University College London. 2003. 296 p.
- 4. Cook T.W., Van Der Sanden A.M. Sustainable Landscape Management. Design, Construction and Maintenance. John Wiley and Sons, Inc., 2011. 272 p.
- 5. Kaiser E.J., Godschalk D.R., Chapin F.S., Jr. Urban Land Use Planing. Univercity of Illinois press. 1995. 498 p.
- 6. McHarg. Desing with nature. New York: Natural History Press Doubleday & Company, Inc., 1971. 198 p.
- 7. Большаков А.Г. Градостроительная организация ландшафта как фактор устойчивого развития территории: дис. ... д. арх.: 05.23.22 / Московский архитектурный институт (государственная академия). М., 2003. 424 с.
- 8. Катионов Ю.Н. Московско-Сибирский тракт на картах, чертежах и рисунках. XVIII XIX вв. Новосибирск: Изд. НГПУ, 2006. 186 с.
- 9. Митягин С.Д. Градостроительство. Эпоха перемен. СПб.: Зодчий, 2016. 280 с.
- 10. Резун Д.Я. Василевский Р.С. Летопись сибирских городов. Новосибирск: Новосибирское книжное издательство, 1989. 304 с
- 11. Ременцов А.Н., Савельев Ю.Е. Из истории создания Великого Транссибирского железнодорожного пути (вековой юбилей Транссиба): Учебное пособие. МАДИ (ГТУ). Москва, 2003. 70 с.
- 12. Схема территориального планирования Алтайского края (утверждена постановлением правительства Алтайского края Ŋo 485 30.11.2015): Федеральная государственная информационная система планирования. территориального URL: https://fgistp.economy.gov.ru/?show document=tru

- e&doc_type=npa&uin=0100000002010220151207
- 13. Схема территориального планирования Иркутской области (утверждена постановлением правительства иркутской области 203-пп 06.03.2019): Федеральная государственная информационная система территориального планирования. https://fgistp.economy.gov.ru/?show document= true&doc type=npa&uin=25000000020102201301 1770
- 14. Схема территориального планирования (утверждена Кемеровской области Кемеровской постановлением правительства области № 458 от 19.11.2009): Федеральная информационная государственная система территориального планирования. URL: https://fgistp.economy.gov.ru/?show_document=tru e&doc type=npa&uin=3200000002010220130430
- 15. Схема территориального планирования Республики Алтай (утверждена постановлением правительства Республики Алтай Федеральная $N_{\underline{0}}$ 566 22.11.2018): информационная государственная система территориального планирования. https://fgistp.economy.gov.ru/?show document=tru e&doc type=npa&uin=840000002010220181128
- 16. Схема территориального планирования Республики Тыва (утверждена постановлением правительства Республики Тыва 23.12.2011): № 733 от Федеральная государственная информационная система территориального планирования. URL: https://fgistp.economy.gov.ru/?show document= true&doc type=npa&uin=9300000020102201207 0217
- 17.Схема территориального планирования Республики Хакасия (утверждена постановлением правительства Республики Хакасия № 763 от 14.11.2011): Федеральная государственная информационная система территориального планирования. URL: https://fgistp.economy.gov.ru/?show document= true&doc type=npa&uin=9500000020102201201 1008

Информация об авторах

Скрябин Павел Владимирович, кандидат архитектуры, доцент кафедры Градостроительства. E-mail: paulskryabin@yandex.ru. Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет (СПбГАСУ). 190005, Санкт-Петербург, ул. 2-я Красноармейская 4, каб. 308-А

Поступила 21.02.2020 © Скрябин П.В., 2020

Skryabin P.V.

Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering E-mail: paulskryabin@yandex.ru

URBAN DEVELOPMENT IN THE SOUTH OF SIBERIA: FORMATION OF COMMUNICATION CORRIDORS

Abstract. This publication is devoted to the prospects of urban development in the southern part of Siberia, including the Altai territory, the southern part of the Novosibirsk region, the southern tip of the Krasnoyarsk territory, the Kemerovo and Irkutsk regions, the Altai Republic, Khakassia and Tyva. From the North, the territory under study is bounded by the Trans-Siberian railway and from the East by the shore of Lake Baikal. Within the boundaries of the South Siberian settlement system, the author identifies three major settlement systems (agglomeration systems). The first system is developed in the Ob river basins (formed by the confluence of the Biya and Katun rivers) and the Tomi, including the Novosibirsk, Barnaul-Biysk, Kemerovo-Novokuznetsk, and Gorno-Altaisk-Maima agglomerations. The second system is developing along the Yenisei and includes the Krasnovarsk and Abakan agglomerations and the city of Kyzyl. The third Baikal-Angra system is developing in the triangle Trans-Siberian railway-the West Bank of Baikal – Baikal-Amur highway, including the Irkutsk agglomeration of a number of cities and settlements. Each settlement system has been formed and is developing on the lines of intersection of transport and logical corridors (the Trans-Siberian highway, the Baikal-Amur highway, the Chui tract, and others). The lines of these corridors are determined by natural and landscape factors (coasts of large rivers, mountains, intermountain basins, steppes). The study of typological features of the territory allows to identify directions for the formation of future communication and logistics corridors and the development of a network of interconnected settlements.

Keywords: urban planning, territorial planning, natural landscape conditions, settlement system.

REFERENCES

- 1. Hillier B., Perm A., Hanson J., Grajewski T., Xu J. Natural movement: or, configuration and attraction in urban pedestrian movement. Environment and Planning B: Planning and Design. 1993. Vol. 20. Pp. 29–66.
- 2. Hillier B. Space is the machine. University College London. 2007. 368 p.
- 3. Hillier B., Hanson J. The social logic of space. Bartlett School of Architecture and Planning. University College London. 2003. 296 p.
- 4. Cook T.W., Van Der Sanden A.M. Sustainable Landscape Management. Design, Construction and Maintenance. John Wiley and Sons, Inc., 2011. 272 p.
- 5. Kaiser E.J., Godschalk D.R., Chapin F.S., Jr. Urban Land Use Planing. Univercity of Illinois press. 1995. 498 p.
- 6. McHarg. Desing with nature. New York: Natural History Press Doubleday & Company, Inc., 1971. 198 p.
- 7. Bol'shakov A.G. Urban landscape organization as a factor in the sustainable development of the territory [Gradostroitel'naya organizaciya landshafta kak faktor ustojchivogo razvitiya territorii]: dissertation of the doctor of architecture.: 05.23.22. Moscow Institute of Architecture (state Academy). Moscow. 2003. 424 p. (rus)
- 8. Kationov Yu.N. Moscow-Siberian tract on maps, drawings and drawings. XVIII–XIX centuries [Moskovsko-Sibirskij trakt na kartah, chertezhah i

- risunkah. XVIII XIX vv.] Novosibirsk: Publishing house of Novosibirsk state pedagogical University 2016. 280 p. (rus)
- 9. Mityagin S.D. Town-planning. Age of Change [Gradostroitel'stvo. Epoha peremen]. Saint Petersburg. Publishing house "Zodchij". 2016. 280 p. (rus)
- 10. Rezun D.Ya. Vasilevskij R.S. Chronicle of Siberian cities. [Letopis' sibirskih gorodov]. Novosibirsk: Novosibirsk book publishing house. 1989. 304 p. (rus)
- 11.Remencov A.N., Savel'ev Yu.E. From the history of the creation of the Great Trans-Siberian Railway (centenary of the Trans-Siberian Railway) [Iz istorii sozdaniya Velikogo Transsibirskogo zheleznodorozhnogo puti (vekovoj yubilej Transsiba)]: Textbook. Moscow Automobile and Road Construction State Technical University (MADI). Moscow. 2003. 70 p. (rus)
- 12. The scheme of spatial planning of the Altai Territory (approved by the Government of the Altai Territory No. 485 dated 11/30/2015): Federal State Information System of Territorial Planning [Skhema territorial'nogo planirovaniya Altajskogo kraya (approved by the government of the Altai territory No. 485 ot 30.11.2015). Federal state information system for territorial planning]. URL: https://fgistp.economy.gov.ru/?show_document=tru e&doc_type=npa&uin=0100000002010220151207 06 (rus)
- 13. The scheme of spatial planning of the Irkutsk region (approved by the government of the Irkutsk region No. 203-pp 03/06/2019): Federal state

information system of spatial planning [Skhema territorial'nogo planirovaniya Irkutskoj oblasti (approved by the government of the Irkutsk area No. 203-pp 06.03.2019). Federal state information system for territorial planning]. URL: https://fgistp.economy.gov.ru/?show_document= true&doc_type=npa&uin=25000000020102201301 1770 (rus)

14. The scheme of territorial planning of the Kemerovo region (approved by the government of the Kemerovo region No. 458 of 11/19/2009): Federal state information system of territorial planning. [Skhema territorial'nogo planirovaniya Kemerovskoj oblasti (approved by the government of the Republic of Kemerovo region No. 458 ot 19.11.2009). Federal state information system for territorial planning]. URL: https://fgistp.economy.gov.ru/?show_document=tru e&doc_type=npa&uin=3200000002010220130430 18 (rus)

15. The scheme of territorial planning of the Altai Republic (approved by the decree of the Government of the Altai Republic No. 566 of 11/22/2018): Federal State Information System for Territorial Planning. [Skhema territorial'nogo planirovaniya Respubliki Altaj (approved by the government of the Altaj Republic No. 566 ot 22.11.2018). Federal state information system for

territorial planning]. URL: https://fgistp.economy.gov.ru/?show_document=tru e&doc_type=npa&uin=8400000002010220181128 2 (rus)

16. The scheme of territorial planning of the Republic of Tuva (approved by decree of the government of the Republic of Tuva No. 733 dated 12/23/2011): Federal State Information System for Territorial Planning. [Skhema territorial'nogo planirovaniya Respubliki Tyva (approved by the government of the Tyva Republic No. 733 ot 23.12.2011). Federal state information system for territorial planning]. URL: https://fgistp.economy.gov.ru/?show_document= true&doc_type=npa&uin=93000000020102201207 0217 (rus)

17. The territorial planning scheme of the Republic of Khakassia (approved by decree of the Government of the Republic of Khakassia No. 763 dated 11/14/2011): Federal State Information System for Territorial Planning. [Skhema territorial'nogo planirovaniya Respubliki Hakasiya (approved by the government of the Khakassia Republic No. 763 14.11.2011). Federal state information system for territorial planning]. URL: https://fgistp.economy.gov.ru/?show_document=true&doc_type=npa&uin=95000000020102201201 1008 (rus)

Information about the authors

Skryabin, Pavel V. PhD, Assistant Professor. E-mail: paulskryabin@yandex.ru. Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering. Russia, 19005, Saint Petersburg, 4 Vtoraya Krasnoarmeiskaya ul.

Received 21.02.2020

Для цитирования:

Скрябин Π .В. Градостроительное развитие юга сибири: формирование коммуникационных коридоров // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2020. № 4. С. 48–56. DOI: 10.34031/2071-7318-2020-5-4-48-56

For citation:

Skryabin P.V. Urban development in the south of Siberia: formation of communication corridors. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2020. No. 4. Pp. 48–56. DOI: 10.34031/2071-7318-2020-5-4-48-56

DOI:10.34031/2071-7318-2020-5-4-57-61

Соланилья Медина Й.М.

Российский университет дружбы народов E-mail: solanilla1990@hotmail.es

ФОРМИРОВАНИЕ АДАПТИВНОЙ АРХИТЕКТУРЫ НА ОСНОВЕ КОНСТРУКЦИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ БАМБУКА

Аннотация. Статья посвящена кратким историческим выдержкам о разновидностях адаптивности архитектурных объектов на основе конструкций с использованием бамбука. Рассмотрены основные приемы формирования адаптивной архитектуры на подтопляемых территориях, на водных пространствах и на земной поверхности в лесах на опорах. Изучен традиционной опыт строительства объекта с глинным цоколем индейцев племени Паецес для защиты здания и имущества жителей от подъема грунтовых вод, при продолжительных дождях. Адаптация архитектурных объектов к местным природно-климатическим условиям происходила с использованием местных возобновляемых природных материалов. Для стран с жарко-влажным климатом основным быстровозобновляемым и легкообрабатываемым материалом были стволы бамбука. Долговечность и прочность этого материала позволили надежно размещать различные здания и сооружения на подтопляемой и прибрежной территории. Конструктивные элементы этих объектов сохраняли свои эксплуатационные качества на протяжении многих лет. Прибрежные территории привлекали древних поселениев богатой береговой растительностью, разнообразием животного мира и легкостью охоты и рыбалки, а также возможностью использовать воду в технических и гигиенических нуждах. Данные факторы послужили основной причиной для выбора мест строительства в зонах с неблагоприятными природно-климатическим условиям.

Ключевые слова: адаптивная архитектура, бамбук, традиционное жилище, сооружение, прибрежная и подтопляемая территория, местные строительные материалы.

Введение. Разнообразные примеры формирования жилой среды для обитания человека вблизи озер, рек и других водоемов известно на протяжении всей истории. Этому способствовало множество благоприятных причин, создающих условия устойчивого существования и развития сельского хозяйства и ремесла на данных территориях. Однако, проживание на прибрежных территориях связано и с неблагоприятными природно-климатическим условиям, неизбежным воздействием гидрологической ситуации природного характера на построенные объекты. Учет всех неблагоприятных факторов нашел свое отражение в архитектуре. Приливы и отливы приморских участков, наводнений и подъем грунтовых вод на береговых зонах, заставлял древних "зодчих" принимать оригинальные решения при создании архитектуры этих зданий [1– 3].

Наша жизнь неразрывно связанна с природой. Связь природы с архитектурой, ее роль в создании благоприятной жизненной среды гораздо глубже, чем может показаться на первый взгляд. Природа способна разделять и объединять, служить естественной преградой или местом притяжения, она может использоваться в утилитарных или эстетических целях, являться одновременно реальностью и символом.

Изменения природного окружения является постоянным процессом, что привело к возникновению адаптивной архитектуры, которая стала очередным шагом в развитии сооружений [1, 4].

Адаптивная архитектура – способность реагировать в ответ на изменения эксплуатационных параметров в течение времени. Для создания этой архитектуры на прибрежных и подтопляемых территориях в традиционной архитектуре в странах с жарко-влажным климатом на протяжении многих веков использовался бамбук, как основной быстро восстанавливаемый конструктивный материал [5, 6]. Это перспективное и развивающееся направление, которое анализирует факторы, влияющие на жизнь человека, адаптируя свои функции к целям наибольшего соответствия требованиям эксплуатации. Основные факторы, которые повлияли на формирование адаптивной архитектуры – природно-климатические условия (температурный и ветровой режим, влажность воздуха, уровень осадков и инсоляция) [7].

Материалы и методы. В данной статье применяются следующие методы исследования: изучение литературных источников и ресурсов интернета, индукция, абстрагирование, сравнение иллюстративных и графических материалов, относящихся к подобным объектам в разных странах, анализ имеющихся материалов и источников

из принципиально разных областей (история архитектуры и история культуры).

Основная часть. Адаптивные жилища, поселения, структуры и зоны, образуя градостроительные элементы, позитивно влияют на решение проблем, связанных с изменением эксплуатационных параметров (наводнения, подтопления, подъём уровня грунтовых вод) и могут создавать комфортную и экологически позитивную среду обитания человека в неблагоприятном с точки зрения биоклиматической комфортности в жарко-влажном климате [8].

Бамбук на протяжении веков был очень важным растением для многих народов мира. В процессе развития цивилизации, благодаря изобилию бамбука в жарких странах, человек научился строить свое жилище из земли и элементов стеблей бамбука [10, 11]. Об этом свидетельствуют исторические прецеденты, создания адаптивной архитектуры.

Архитектурные объекты с использованием бамбука можно размещать на подтопляемой и прибрежной территории, а также над поверхностью воды и над землей на опорах. Архитектурный объект на территории с нестабильной гидрологической ситуацией должен обладать адаптивными свойствами [12]. Планировка и конструкция этого объекта должна стать надежной защитой от экстремальных воздействий природы на здание, благодаря этим свойствам, становится безопасным жилищем для человека.

На подтопляемой территории- поверхностные грунты земли сложены породами осадочного происхождения, главным образом четвертичного возраста: песками, супесями, суглинками и глинами. При подтоплении грунтовыми водами большая часть зданий, находящихся на данной территории должна сохранить свои конструктивные качества. На протяжении многолетней истории использование бамбука в архитектуре и строительстве для многих народов мира стало хорошей защитной от неблагоприятных природно-климатических условий. Защита от подтопления объектов с использованием бамбука издавна применяется жителями зон с жарковлажным климатом, которые строили интуитивно из этого материала, исходя из имеющегося практического опыта (рис. 1) [13].

На прибрежной территории — человечество постоянно стремилось улучшить свои жизненные условия, используя природные ресурсы и для сохранения этих ресурсов они пытались реализовать систему охраны окружающей среды. Начиная с глубокой древности, люди вели активную деятельность в прибрежной территории, связанную с использованием уникальных возможно-

стей по добычи продуктов питания (рыба, прибрежные растения и др.). Сооружения строились, в основном, с применением ручного труда, были сравнительно небольшими по своим масштабам. При строительстве зданий в прибрежной зоне требовались специальные меры защиты по сохранению этих объектов от подтопления. Что стало первыми попытками создания адаптивности архитектуры (рис. 2) [1].



Рис. 1. Пример архитектурного объекта с использованием бамбука на подтопляемой территории [9]



Рис. 2. Пример архитектурного объекта с использованием бамбука на прибрежной территории (Фото из книги «Construction Technology for Housing in Bamboo», 2005. 104 p.)

Над поверхностью воды. Самые ранние неподвижные сооружения на воде опирались на сваи из бамбука. Проживание над поверхностью воды было более здоровым, чем проживание на болотах. Огромное влияние на формирование адаптивности архитектуры с использованием бамбука оказали традиции, уходящие в далекое прошлое, сформировавшиеся под влиянием взаимодействия различных культур и опыта строительства объектов на прибрежных территориях [13]. Это привело к строительству объектов из бамбука над поверхностью воды, которые создают символический баланс между природной стихией и архитектурой (рис. 3).

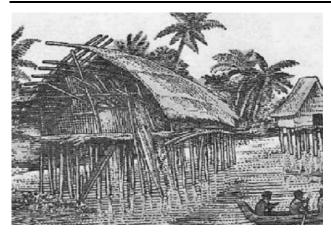


Рис. 3. Пример архитектурного объекта с использованием бамбука над поверхностью воды [9]

Над землей на опорах. Размещение объекта над землей с помощью системы бамбуковых свай является надежным простым решением в случае появления паводковых явлений и наводнений. Обеспечивает наличие свободного, защищенного от дождя пространства под домом, которое может использоваться как полезная площадь (например, для хранения лодки) [9]. Строительство различных сооружений на опорах успешно использовались в ранние периоды в Латинской Америке для защиты от крупных хищников и других животных, в условиях лесов, болот и другой местности (рис. 4).

Выделены основные конструктивных решения зданий и сооружений, которые использовались «зодчими» индейцами племени Паецес. Эти сооружения выполнились с цоколем и без цоко-

лей. Устройство цоколя из глины, сберегало здание и имущество жителей при подъёме уровня грунтовых вод, и способствовало увеличению срока жизни здания. Такие сооружения строились вблизи рек и озер. Традиция проживания в зданиях с цоколем из глины также обнаружена и в других странах с жарко-влажным климатом (в основном в Азии, в том числе Бангладеш и Индия). Эти ранние сооружения были выстроены полностью с использованием бамбука и тростника на берегах рек и болотах, поселения этих жителей были ограждены от пристального взгляда тех, кто жил на суше. С древних времён глина и бамбук стали одним из главных материалов из которых человек создавал различные объекты. Этот материал прост и легок в обработке (рис. 5) [9, 10, 11].



Рис. 4. Пример архитектурного объекта с использованием бамбука над землей на опорах (Фото из книги «Bamboo Architecture in Latin American», 1996. 192 р.)





Рис. 5. Примеры архитектурных объектов с использованием бамбука с цоколем из глины и без цоколей (Фото из книги «Southeast Asia: Architecture Of Traditional Housing», 2002. 180 р.)

Выводы. Архитектурные объекты, адаптированные к местным природно-климатическим условиям на основе конструкций с использованием бамбука в странах с жарко-влажным климатом, заложили прочную материальную базу для развития строительной индустрии из бамбуковых стволов. Жилища и сооружения, испытывающее воздействие неблагоприятных погодных

условий, на прибрежных и подтопляемых территориях стали первыми примерами развития адаптивной архитектуры. Данное направление будет способствовать развитию новых архитектурных решений, создавая благоприятные условия для обитания человека в сложных природно-климатических условиях.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- 1. Демидюк Ю.В. История возникновения и развития идей адаптивности в архитектуре // Журнал науковий огляд. 2015. № 8.
- 2. Шувалов В.М. Формирование архитектурного пространства из природных возобновляемых материалов // Градостроительство. 2019. \mathbb{N} 6. С. 76–84.
- 3. Sarah E. Vernacular Architecture and the 21st Century [Электронный ресурс]. URL: http://www.archdaily.com/?p=15522 (дата обращения: 30.09.2019).
- 4. Armstrong R. Space is an ecology for living in. Architectural Design. 2014. Pp. 120–133.
- 5. Сапрыкина Н.А. Параметрические подходы формирования архитектурной среды в контексте адаптации и интерактивности // Наука, образование и экспериментальное проектирование / Труды МАРХИ: Материалы международной научно-практической конференции профессорско-преподавательского состава, молодых ученых и студентов. Московский архитектурный институт. 2016. С. 277–283.
- 6. Сапрыкина, Н.А. Основы динамического формообразования в архитектуре. М.: Архитектура-С, 2018. 372 с.
- 7. Aronin J.E. Climate and architecture. Reinhold: New York, 1959. 304 p.
- 8. Белоголовский В. Архитектура адаптации. Интервью с Шулан Колатан и Уильямом

- Мак-Дональдом [Электронный ресурс]. URL: http://archi.ru/press/russia/23622/arhitektura-adaptacii-intervyu-s-shulan-kolatan-i-uilyamom-makdonaldom (дата обращения: 07.12.2019).
- 9. Hidalgo L.O. Bamboo: The Gift of the Gods. Ediciones villegas editores, Bogotá, Colombia, 2004. 553 p.
- 10.Соланилья Медина Й.М. Особенности традиционной архитектуры и строительства из бамбука в странах с жарким влажным климатом // Architecture and Modern Information Technologies. 2019. №3(48). С. 175–184 [Электронный ресурс]. URL: https://marhi.ru/AMIT/2019/3kvart19/PDF/13_sola nilja.pdf (дата обращения: 18.11.2019).
- 11. Соланилья Медина Й.М. Традиционные здания и сооружения из бамбука на разных континентах // Наука, образование и экспериментальное проектирование / Труды МАРХИ: Материалы международной научно-практической конференции профессорско-преподавательского состава, молодых ученых и студентов. Московский архитектурный институт. 2019. С. 398–400.
- 12.Olgyay V. Design with Climate Bioclimatic Approach to Architectural Regionalism. Princeton University Press: New Jersey, 1963. 263 p.
- 13. Михайлова Н.С., Перькова М.В. Исторические предпосылки формирования адаптивного жилища // Символ науки. 2015. № 6. С. 334–339.

Информация об авторах

Соланилья Медина Йор Майкол, Аспирант Департамента Архитектуры, Инженерная академия. E-mail: solanilla1990@hotmail.es. Российский университет дружбы народов (RUDN university). Россия, 17198, Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6.

Поступила 29.02.2020 © Соланилья Медина Й.М., 2020

Solanilla Medina Y.M.

Peoples' Friendship University of Russia (RUDN). E-mail: solanilla1990@hotmail.es

CREATING AN ADAPTIVE ARCHITECTURE BASED ON BAMBOO STRUCTURES

Abstract. The article is devoted to brief historical excerpts about the types of adaptability of architectural objects based on structures using bamboo. The main methods of forming adaptive architecture on flooded territories, on water spaces and on the ground surface in forests on supports are considered. The traditional experience of building an object with a clay basement of the Paetses Indians is studied to protect the building and property of residents from rising groundwater during prolonged rains. Architectural objects are adapted to local natural and climatic conditions using local renewable natural materials. For countries with a hothumid climate, bamboo trunks are the main quick-renewable and easy processed material. The durability and strength of this material allow to reliably place various buildings and structures in the flooded and coastal areas. The structural elements of these objects have retained their operational qualities for many years. The coastal territories attracted the ancient settlers with rich coastal vegetation, the diversity of the animal world and the ease of hunting and fishing, as well as the ability to use water for technical and hygienic needs. These factors serve as the main reason for choosing construction sites in areas with adverse climatic conditions.

Keywords: adaptive architecture, bamboo, traditional dwelling, construction, coastal and flooded area, local building materials.

REFERENCES

- 1. Demidyuk Yu.V. History of the Emergence and Development of Adaptability Ideas in Architecture [Istoriya vozniknoveniya i razvitiya idey adaptivnosti v arkhitekture]. Zhurnal naukoviy oglyad. 2015. No. 8.
- 2. Shuvalov V.M. The Formation of Architectural Space from Natural Renewable Materials [Formirovaniye arkhitekturnogo prostranstva iz prirodnykh vozobnovlyayemykh materialov]. Urban Planning. 2019. No. 6. Pp. 76–84. (rus)
- 3. Sarah E. Vernacular Architecture and the 21st Century. URL: http://www.archdaily.com/?p=15522 (accessed 30.09.2019).
- 4. Armstrong R. Space is an ecology for living in. Architectural Design. 2014. Pp. 120-133.
- 5. Saprykina N.A. Parametricheskie podchody formirovaniya architekturnoy sredy d kontekste adapnaciy I interaktivnosty [Parametric approaches architectural formation Wednesday in the context of adaptation and interactivity]. Nauka, obrazovaniye i eksperimental'noye proyektirovaniye. Trudy MARKHI: Materialy mezhdunarodnoy nauchnoprakticheskoy konferentsii professorsko-prepodavatel'skogo sostava, molodykh uchenykh i studentov. Moscow, 2016. Pp. 277–283. (rus).
- 6. Saprykina N.A. Osnovy dinamicheskogo formoobrazovaniya v arhitekture [The basics of dynamic morphology in architecture]. M.: Architecture-S, 2018, 372 p. (rus).
- 7. Aronin J.E. Climate and architecture. Reinhold: New York, 1959. 304 p.
- 8. Belogolovskiy V. Adaptive architecture [Arkhitektura adaptatsii]. Interview with Shulan Co-

- latan and William McDonald [Interv'yu s Shulan Kolatan i Uil'yamom Mak-Donal'dom] URL: http://archi.ru/press/russia/23622/arhitektura-adaptacii-intervyu-s-shulan-kolatan-i-uilyamom-makdonaldom (accessed: 07.12.2019).
- 9. Hidalgo L.O. Bamboo: The Gift of the Gods. Ediciones villegas editores, Bogotá, Colombia, 2004. 553 p.
- 10. Solanilla Medina Y.M. Features of Traditional Architecture and Construction from Bamboo in Countries with a Hot Humid Climate [Osobennosti traditsionnoy arkhitektury i stroitel'stva iz bambuka v stranakh s zharkim vlazhnym klimatom]. Architecture and Modern Information Technologies, 2019, No. 6. Pp. 175-184. URL: https://marhi.ru/AMIT/2019/3kvart19/PDF/13_solanilja.pdf. (accessed 18.11.2019). (rus).
- 11. Solanilla Medina Y.M. Conventional Bamboo Buildings and Structures in Different Continents [Traditsionnyye zdaniya i sooruzheniya iz bambuka na raznykh kontinentakh]. Nauka, obrazovaniye i eksperimental'noye proyektirovaniye. Trudy MARKHI: Materialy mezhdunarodnoy nauchnoprakticheskoy konferentsii professorsko-prepodavatel'skogo sostava, molodykh uchenykh i studentov. Moscow, 2019. Pp. 398-400. (rus).
- 12.Olgyay V. Design with Climate Bioclimatic Approach to Architectural Regionalism. Princeton University Press: New Jersey, 1963. 263 p.
- 13. Mikhailova N.S., Perkova M.V. The historical background of the formation of adaptive housing [Istoricheskie predposilki formirovania adaptivnogo zhilisha]. Simvol nayki. 2015. No. 6. Pp. 334-339. (rus)

Information about the authors

Solanilla Medina, Y.M. Postgraduate student. E-mail: solanilla1990@hotmail.es. Peoples' Friendship University of Russia (RUDN). Russia, 17198, Moscow, St. Miklukho-Maklaya, 6.

Received 29.02.2020

Для цитирования:

Соланилья Медина Й.М. Формирование адаптивной архитектуры на основе конструкций с использованием бамбука // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2020. № 4. С. 57–61. DOI: 10.34031/2071-7318-2020-5-4-57-61

For citation:

Solanilla Medina Y.M. Creating an adaptive architecture based on bamboo structures. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2020. No. 4. Pp. 57–61. DOI: 10.34031/2071-7318-2020-5-4-57-61

DOI: 10.34031/2071-7318-2020-5-4-62-73

Обласов Ю.А.

Санкт-Петербургскйи государственный архитектурно строительный университет E-mail: arhcrick@yandex.ru

АНАЛИЗ МАЛОЭТАЖНОЙ ЖИЛОЙ ЗАСТРОЙКИ ЛЕНИНГРАДА (НА ПРИМЕРЕ РАЙОНА УДЕЛЬНОЙ)

Аннотация. Рассмотрены районы малоэтажной застройки г. Ленинграда в период с 1944 по 1950 годы. Отражено существующее состояние застройки. Проведён подробный анализ особенностей жилых кварталов на примере района Удельной. Представлены графические схемы, отображающие расположение малоэтажных кварталов в современной градостроительной ткани. Описан процесс вовлечения творческих коллективов архитекторов в проектирование малоэтажных зданий. Даны общие характеристики градостроительного и архитектурного аспекта застройки. Проанализированы характерные особенности планировочной структуры сложившиеся в каждом районе малоэтажного строительства. Дана оценка сохранности ансамбля застройки на современном этапе. Представлена существующая градостроительная ткань района Удельной, с указанием поэтапного формирования застройки. Проанализированы архитектурные особенности малоэтажной застройки района Удельной на примере трёх типов домов. В табличной форме представлен сравнительный анализ трёх типов домов. В сравнительном анализе дано графическое представление главных фасадов и объёмной композиции зданий. В графической схеме проиллюстрирован силуэт Елецкой улицы района Удельной. Дано общее описание среды благоустройства района. Как результат исследования выявлены положительные и отрицательные стороны малоэтажной застройки. В заключении указаны эксплуатационные недостатки анализируемых малоэтажных зданий. На основе всех материалов, представленных в статье, предлагается реновация районов малоэтажной застройки, как единого ансамбля.

Ключевые слова: советская архитектура, сталинский ампир, жилая архитектура, советские архитекторы, конструктивизм, ансамбль, архитектура Ленинграда.

Введение. Объектом исследования в статье является архитектура районов малоэтажных зданий, построенных в Ленинграде в 1944—1950 гг. Целю статьи ставится наиболее полно рассмотреть градостроительные и архитектурные особенности малоэтажной застройки послевоенной пятилетки в городе Ленинграде. В статье основное внимание уделено существующему состоянию сложившейся малоэтажной застройки. В качестве частного примера взят район железнодорожной станции «Удельная» и примыкающие к нему улицы.

Автором ставится задача выявить общие концептуальные принципы формирования структуры жилых районов. В качестве общего разбора архитектурной среды ставится задача рассмотреть общие черты экстерьера и интерьера улиц.

Исследование архитектуры Ленинграда периода 1944—1950 года актуально по причине недостаточного внимания со стороны исследователей. Аскетизм послевоенной застройки и её текущее состояние отличны от выразительной архитектуры всего периода архитектурного ретроспетктивизма (1932—1955 гг.) [6]. Малоэтажная застройка в текущем состоянии в течении последних десятилетий подавляется и вытесняется новой застройкой по причине неоцененности её

положительных качеств. В статье обращено внимание на эти качества. Существующий тезис исследователей о том, что архитектура ретроспективизма является образцом высокопрофессиональной работы зодчих Ленинграда тождественен для примера малоэтажной застройки 1944—1950 годов [1, 8].

Материалы и методы. В статье рассмотрено возникновение и современное состояние малоэтажной застройки периода 1944-1950 годов. Анализируется текущая структура районов, делаются выводы о влиянии более современных зданий, на основе чего выявляются более сохранившиеся кварталы, и кварталы находящиеся на грани вытеснения новым строительством.

Для анализа сложившейся градостроительной ситуации к началу 2020 года, выполнены трёхмерные модели основных кварталов послевоенного малоэтажного строительства. На моделях наглядно представлены объекты сохранившейся малоэтажной застройки. Так же на моделях обозначены пятна благоустройства, сложившиеся на период возникновение кварталов.

Для анализа района Удельной так же построена трехмерная модель участка. Проведен более подробный анализ этапов развития застройки района. Создана развёртка фасадов квартала схе-

матично иллюстрирующая их силуэт и соотношение. Для развертки выбрана улица, наиболее полно характеризующая специфику малоэтажной застройки.

Для анализа архитектуры района приводятся чертежи фасадов, фотографий и концептуальной объемно-планировочной модели наиболее характерных данной застройке зданий.

Уделено внимание элементам и деталям оформления фасадов, даны общие характеристики сложившегося ансамбля.

Основная часть. В 1944 году после снятия блокады в Ленинграде было организовано массовое проектирование и строительство новых жилых кварталов. Работа велась сразу в нескольких районах города. Был организован конкурс среди мастерских Ленниипроекта под руководством Ленинградского отделения Союза советских архитекторов (ЛОСА). После проведения конкурса на лучшие планировочные решения было отобрано несколько лучших проектов. На основании отобранных решений было поручено разработать дальнейшее архитектурное содержание зданий нескольким архитектурным мастерским Ленниипроекта [9]. Все постройки проектировались малоэтажными и строились в условиях дефицита квалифицированной рабочей силы и качественных строительных материалов. В результате проведённого масштабного мероприятия создания жилых кварталов в нескольких районах города до сих пор сохранились малоэтажные жилые массивы, построенные в описанный период, задавшие тон развитию градостроительной среды вокруг.

В статье журнала «Архитектура Ленинграда» № 1 (10) 1949 года был подробно рассмотрен процесс организации и проведения конкурса. Автор статьи А. А. Любош даёт общий обзор проектов, прошедших через конкурс и фокусирует внимание на отобранных для проектирования победителях. Победители конкурса представляли определённые архитектурные мастерские Лен-НИИпроекта, для каждого района были разработаны проекты отдельными мастерскими. А.А. Любош дал подробный анализ архитектурного и технического качества застройки, и сделал выводы о соответствии и состоянии проектной и строительной отрасли того периода. С учётом многих недочётов в организации строительства данная практика возведения малоэтажного строительства в послевоенном Ленинграде оказалась скорее удовлетворительной, чем успешной. Доработка требовалась на всех этапах организации производства, при дальнейшем развитии архитектурного проектирования и организации нового строительства в Ленинграде все нюансы и недочёты были учтены [9].

Общее описание архитектуры

В период с 1947 по 1949 год были построены жилые дома различной планировки двух-, трех- и четырехэтажные многоквартирные, и дома-общежития. Архитектура зданий формировалась с применением минимальных архитектурных деталей, последовательной симметричностью композицией фасадов, преимущественно оштукатуренными и окрашенными фасадами, поэтажным разнообразием решений оконных и дверных проёмов. Несмотря на своеобразие авторского решения архитектуры для каждой отдельной мастерской, здания в основном представляли собой единое архитектурное узнаваемое решение.

Истоки архитектуры

Исходными примерами малоэтажной застройки и их архитектурных решений можно считать застройку Тракторной улицы и Серафимовского городка, возведённых на проспекте Стачек в период конструктивизма 20-х годов. Данная застройка может считаться основой на которой формировалась послевоенная малоэтажной архитектура. Например, непосредственная близость к конструктивистской застройке оправдала композицию обширного малоэтажного жилмассива вдоль Трефолевой и Баррикадной улицы, и разрабатывалась мастерской В.А. Каменского, в которую в том числе входил Н.И. Баранов ведущий архитектор Ленинграда до 1950 года. Стоит отметить, что прямое участие Н.И. Баранова касалось всех районов застройки периода 1944-1950 годов.

Общие черты архитектурно-градостроительной концепции

Архитектурные и градостроительные характерные черты малоэтажных массивов сохранились в разных градостроительных условиях. В первом приближении можно выделить общие особенности, объединяющие застройку данного периода, её сложившееся состояние в современной застройке.

- Выделяется уникальное расположение участков, соседство со сложившейся архитектурной средой. Хорошо прослеживается последующая трансформация среды в ходе уплотнения окружающей застройки.
- Все здания имеют характерный авторский почерк мастерской разрабатывавшей данный тип здания. Авторским почерком можно считать предмет коллективного творчества, прошедший процедуру конкурсного отбора в ЛОСА, с исправлением выявленных недостатков и дополненный корректировками.
- Сложившиеся здания являются примером первых практических опытов в серийном строительстве, на основе типовых решений.

• Актуальность возникновения и использования застройки для жителей города. Были выполнены ряд задачи развития города согласно генеральному плану; создание крупных частично

озеленённых районов низкой плотности расселения

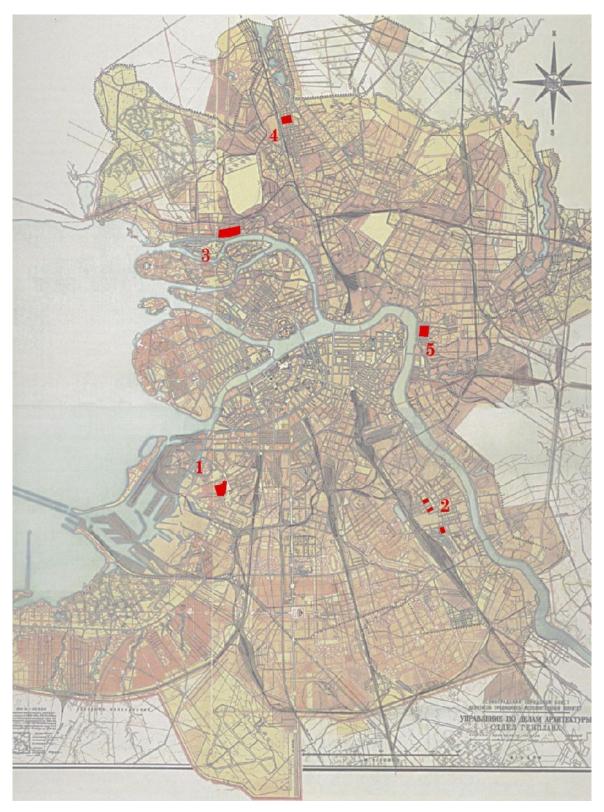
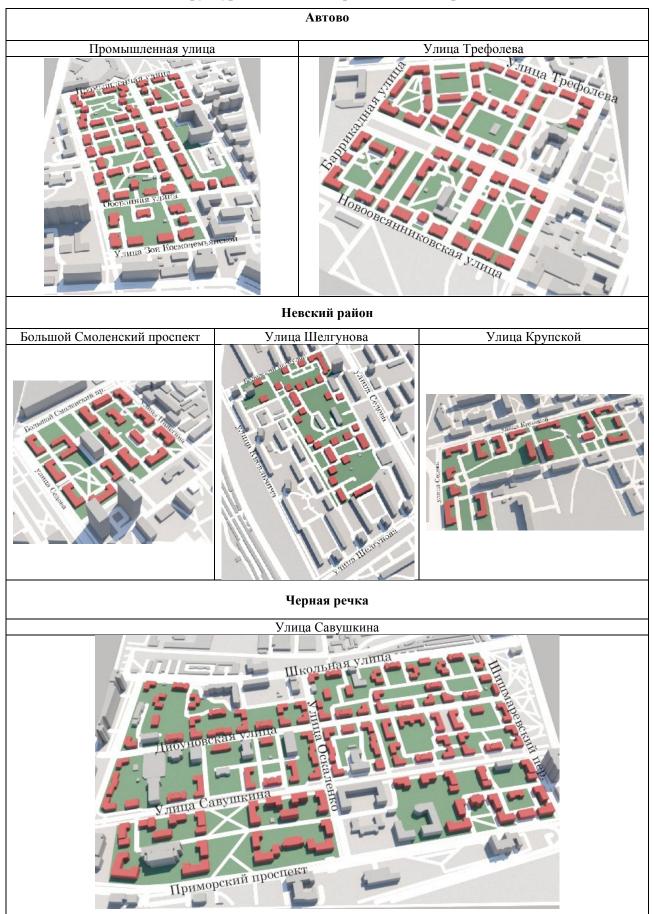


Рис.1. Схема расположения районов малоэтажной застройки на основе генерального плана Ленинграда разработанного под руководством Н.В. Баранова в 1948 году

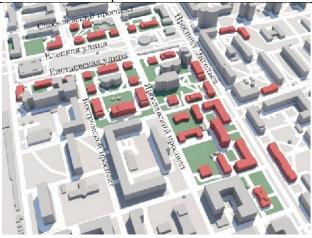
Таблица 1

Структура малоэтажных районов Ленинграда



Удельная

Проспект Энгельса



Малая Охта



Особенности малоэтажных районов Ленинграда

В число наиболее крупных массивов можно отнести так же застройку Чёрной речки и Автово. Во многих районах малоэтажная застройка 1944-1950 годов стала основой формирования последующих жилых массивов. В дальнейшем градостроительная ткань формировалась с учётом организации кварталов, решённых в период формирования малоэтажного жилья.

Наименее окружающая застройка сформировалась в кварталах Удельной и Невского района. Отчуждение новой городской среды, сформировавшейся, в том числе и в постсоветский период, изменила её характер и привела к дисбалансу плотности застройки. Однако, ансамбль зданий Удельной органично оформлен по сей день благодаря структуре района (наличие трам-

вайного кольца и сквера при нём). Сочетание типовых серийных домов Удельной сложилось органично, как и в районе Чёрной речки, что поддерживает её эстетическую привлекательность по сей день.

Застройка Невского района формировалась в близи жилой застройкой памятника конструктивизма - Палевского жилмассива и промышленной зоны. Сформированные кварталы оказались разрознены между собой и почти не связаны с памятником конструктивизма визуально. Последующее строительство более высокой этажности полностью подавило имеющиеся визуальные и градостроительные связи. Это привело к тому, что положение и состояние малоэтажной застройки Невского района наиболее плачевное из всех районов. Застройка постепенно морально изнашивается и окончательно утрачивается её архитектурная роль в районе.

Сложившаяся градостроительная среда Удельной

В качестве отдельного примера рассмотрим район жилой застройки Удельной. Северные районы Ленинграда застраивались архитектурным коллективом мастерской О. И. Гурьева. Жилые массивы формировались в разных техниках, с соблюдением советских неоклассических приёмов.

Градостроительная структура железнодорожной станции «Удельная» задается открытым

пространством перед самой станцией и трамвайным кольцом со сквером, перетекающим в пространство проспекта Энгельса. В 1982 году в узел кольца и железнодорожной станции был добавлен павильон станции метро Удельная. Сквер образованный вокруг кольца заключён между двумя улицами, Елецкой и Енотаевской. Так же пространство сквера пересекается Ярославским проспектом параллельные ему улицы разрываются пространством сквера.

Скобелевский проспект

Проспект Онгеньса

Костромской проспект

Рис. 2. Историко-градостроительный опорный план. Район Удельной
— застройка периода 1920—1932; — застройка 1944—1950-х годов;
— застройка начала1950-х годов; — застройка до 1955 года

Озеленение сквера вокруг трамвайного кольца было поддержано озеленением жилых кварталов. Визуально данный зелёный массив связан с Удельным парком (парком Челюскинцев) расположенным на противоположной стороне от железнодорожных путей.

Самым презентабельным ансамблем района Удельной можно считать проспект Энгельса. Архитектурный ансамбль сочетает в себе различные архитектурные стили советской архитектуры и переходит в Большой Сампсониевский проспект, который сформирован разнообразными примерами архитектуры ретроспективизма. В районе железнодорожной станции Удельной линия фасадов проспекта Энгельса включает несколько типовых построек коллектива О. И. Гурьева.

Наиболее характерной средой района можно считать район сквера трамвайного кольца. Застройка вокруг трамвайного кольца сформиро-

вана малоэтажными зданиями. Вдоль улиц устроены газоны и посадки постаревших деревьев. Застройка представляет из себя небольшие кварталы. Размер квартала не превышает по длине и ширине два-три корпуса типового дома застройки. Здания соединены различными архитектурными конструкциями приёмом «мембранности» [7]. Всего в районе сквера Удельной можно насчитать не более семи полноценных малоэтажных кварталов. Основной тип квартальной застройки формируется между Ярославским, Костромским и Удельным проспектами. Со стороны проспекта Энгельса «мембранность» выражена в виде высоких металлических решёток, соединяющих фасады домов. Вдоль малых улиц и проспектов здания так же соединены между собой, ограничивая пространство двора, но уже с помощью полуметровых в высоту стенок, выложенных из рваного камня с разрывом для калитки. В некоторых случаях по указанным стенкам устроены невысокие металлические решётки. Дворы малоэтажных кварталов благоустроены, разросшиеся деревья сильно затеняют и заслоняют интерьер двора. В первоначальном виде деревья должны были создавать небольшую тень и уютное обрамление дворовых фасадов. В нескольких кварталах присутствует центральная площадка. Центральная площадка в квартале на углу проспекта Энгельса и Енотаевской улицы имеет аскетично выполненный фонтанчик. В целом кварталы имеют запущенное благоустройство, но благодаря обильным посадкам деревьев здания утопают в зелени, что придаёт им образ загородных построек, отчуждённых от городской среды. Для того чтобы вернуть кварталам первоначальный вид необходима стрижка деревьев и комплексная организация благоустройства.

В описанной застройке можно выявить три группы жилых зданий:

- группа малоэтажных зданий, формирующих внутренние кварталы и сквер трамвайного кольца;
- группа трёхэтажных зданий, формирующих транзитные магистрали, к ним же можно отнести постройки переменной этажности 3–4 этажа:
- группа зданий формирующих проспект Энгельса, с наиболее длинной протяжённостью корпуса.

Помимо двух-трехэтажных зданий в застройку включены четырёхэтажные здания, построенные в следующий этап застройки района. Эти здания не относятся к малоэтажным кварталам, рассматриваемым в статье. Они отличаются архитектурным решением фасадов, и располагаются в основном вдоль проспекта Энгельса и Скобелевского проспекта.

Во второй половине 50х годов градостроительную среду проспекта Энгельса дополнили постройки коллектива мастерской А.Я. Мачерета высотой в пять этажей с яркой и выразительной архитектурой фасадов. В районе Удельной также сохранилось несколько построек конструктивизма - здание магазина на Скобелевском проспекте дом 8 и жилой дом проспекта Энгельса дом 55, их архитектура органично вписывается в архитектуру малоэтажной застройки 1944–1950 годов. На протяжении всего советского периода район дополнялся жилыми и общественными зданиями. После Перестройки в районе станции метро Удельная были возведены высотные здания. В данный момент уже несколько исторических малоэтажных зданий периода 1944-1950 годов снесены и на их месте построены современные многоэтажные постройки. Процесс активного строительства на Удельной ускорился в последние годы. Причиной тому стали допущенние уплотнительной застройки города и в целом привлекательность района для новых жителей.

Архитектура района Удельной

Малоэтажные типы жилых домов Удельной были разработанными специально для северных кварталов. Общие решения как для Удельной, так для и Новой Деревни (Черная речка) были разработаны мастерскими О.И. Гурьева и И.И. Фомина, Е.А. Левинсона. Для всех зданий характерно минимальное применение декора, а общую эстетичность застройки компенсирует яркая окраска оштукатуренных фасадов. Горизонтальные тяги тонкие, выстроенные простым каблучковым обломом. У всех построек присутствует оштукатуренный и окрашенный в белый цвет карниз. Цоколь зданий облицован рваным камнем или имитацией выщербленного кирпича.

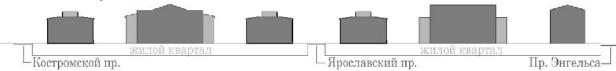


Рис. 3. Силуэт застройки по Елецкой улице

Для рассмотрения можно выделить три типа зданий, формирующих сквер трамвайного кольпа:

Первый тип двух-трёхэтажное здание, симметрично выстроенное сочетание разновысотных объёмов с центральным трёхэтажным и фланкирующими двухэтажными. Здание разработано мастерской О.И. Гурьева, в нижней части на фасаде здания присутствуют лишь циркульные сандрики и оконные обрамления. Главным акцентом является балкон третьего этажа с металлической зигзагообразной решёткой огражде-

ния, и изогнутыми спаренными прутьями в качестве декоративных консолей для балкона. Самая декорированная часть — это фриз трёхэтажной части здания с лепниной в виде веночков, чередующихся с уступчатыми оштукатуренными кобылками, поддерживающими свес кровли. По центру здания над фасадом трёхэтажной части в продолжении стены расположен щипец с круглым сквозным проёмом, щипец проходит сквозь свес кровли. Цоколь оформлен кирпичиками выщербленного камня, карнизы и детали окрашены в белый цвет.

Второй тип здания сформирован по тому же принципу организации основных объемов. Отличается от остальных жилых домов высоким в два этажа порталом в центре трёхэтажной части здания. В глубине портала утоплена входная дверь, почерк характерный мастерской И.И. Фомина и Е.А. Левинсона, и подобный приём можно найти у зданий, построенных в 1930х годах на Иванов-

ской улице. Над порталом широкое трёхчастное

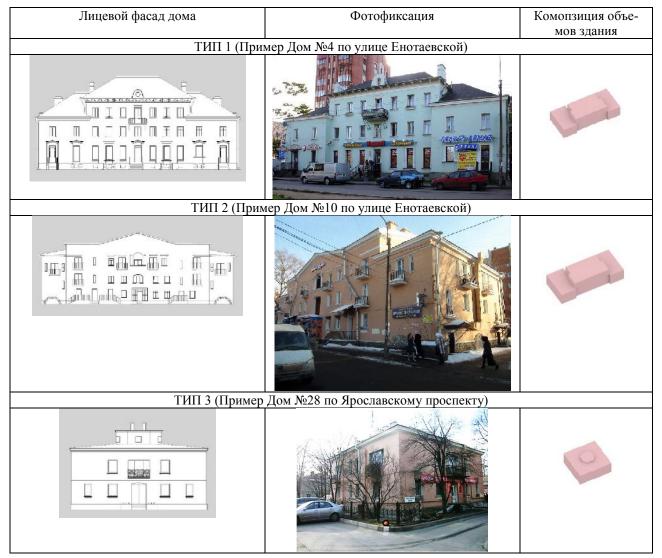
окно, разделённое белыми полуколоннами. Два

здания на Елецкой дом 9 и Енотаевская дом 10

выстроены по этому проекту, только дом на Енотаевской улице обращён северным фасадом в сквер, а потому не имеет крупного портала. На данном фасаде широкий проём углублённой лоджии на третьем этаже и несколько равномерно расставленных балконов с металлическим ограждением. Карниз у зданий тоже с зубчиками. Выкрашенные в белый откосы окон и проёмов чётко выделяются на фасадах, добавляя изящества почти не декорированной стене здания.

Анализ нескольких типов домов района Удельной

Таблица 2



Третий тип самый уникальный тип здания для района Удельной. Это двухэтажный почти кубический объём. Каждый фасад здания имеет симметрично расположенные окна чередующиеся широкие с узкими в зависимости от наличия балкона. Балконы имеют металлическое ограждение с зигзагообразным рисунком. Самая необычная часть здания — световой фонарь, многоугольный объём венчающий здание. Этот фонарь освещает центральную лестницу и формирует уникальный силуэт.

Архитектура района Удельной имеет интересное очертание силуэта малых улиц, этот силуэт во много задаёт характер среде, он сомасштабен восприятию человека, благодаря малой этажности зданий. Единственное что подавляет силуэт, разросшиеся и неухоженные деревья.

Выводы

На примере района Удельной можно выделить общие плюсы и минусы, присущие для всей малоэтажной застройки периода с 1947 по 1949 год.

К плюсам можно отнести:

- Ансамблевость застройки, где каждое здание является с периодичностью повторяющимся элементом комплекса.
- Целостный силуэт формирующий экстерьер улиц
- Единство архитектурных решений фасадов зданий всех типов и серий.
- Уютный и сомасштабный для человека интерьер кварталов домов.
- Достаточно удачная реализация концепция города-сада.
- Выдержанная аскетичность выраженная в архитектурном облике на высоком профессиональном уровне

Минусами застройки являются:

- Требующие регулярной реставрации строительные материалы.
- Низкое качество изначально проведённых строительных работ.
- Незавершённость ансамблей малоэтажной среды, что привело к её растворению в новой застройке с течением времени.
- Зависимость среды ансамблей от качества поддержания благоустройства дворов и улиц.

Из полученных результатов следует вывод, что большинство проблем застройки лежат не в их изначальном замысле, а в необходимости поддержания их в надлежащем виде. Малоэтажные районы периода 1944—1950 годов близки к природной среде. Воздействие влаги, удерживаемой растениями и продуктов их жизнедеятельности отрицательно сказываются на достаточно капризных материалах, из которых выстроены здания. В остальном малоэтажные ансамбли могут быть успешно регенерированы, но регенерацию требуется проводить в комплексе для всей застройки отдельного района, с учётом благоустройства.

Таким образом в данной статье стоит выявились проблемы, которые ставят под вопрос дальнейшую судьбу малоэтажной застройки периода 1944—1950 годов. Углублённое изучение этих проблем и предложения по их решению могут стать материалом для дальнейшего исследования.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- 1. Курбатов Ю.И. Петроград Ленинград Санкт-Петербург: Архитектурно-градостроительные уроки. СПб.: Искусство-СПб. 2008. С. 35–37.
- 2. Зодчие Санкт-Петербурга. XX век. Григорий Симонов. Сост. Исаченко В. Г. СПб.: «Лениздат». 2000. С. 60–85.

- 3. Курбатов Ю.И. Зодчие Санкт-Петербурга. Олег Гурьев. XX век. СПб.: 2000. С. 390–398.
- 4. Иконников А. В. Историзм в архитектуре. М.: Стройиздат. 1997. 557с.
- 5. Лисовский В. Г., Санкт-Петербург: очерки архитектурной истории города: От классики к современности. СПб.: Коло, 2009. Том 2. 584 с.
- 6. Семенцов С.В. Градостроительство Петрограда-Ленинграда: от революционного разгрома 1917-1918 годов к возрождению 1935 г. // Вестник Санкт-Петербургского университета. 2012. №1(15). С. 130–143.
- 7. Хан-Магомедов С.О. «Сталинский ампир»: проблемы, течения, мастера // Архитектура сталинской эпохи. Опыт исторического осмысления. Сост. и отв. ред. Косенкова Ю.Л. М.: Ком-Книга. 2010. С. 24
- 8. Любош А.А. Малоэтажные дома. Некоторые итоги проектирования и строительства // Архитектура Ленинграда. 1949. №1 С. 1–9.
- 9. Возняк Е.Р. Основы теории архитектурных форм исторических зданий: монография, СПбГАСУ. СПб.: Коло. 2016. 192c.
- 10. Блинова Е.К. Ордерные системы в архитектуре Ленинграда 1930–1950-х годов // Архитектура сталинской эпохи: Опыт исторического осмысления. Сост. и отв. Редактор Ю. Л. Косенкова. М.: КомКнига. 2010. С. 128–141.
- 11. Блинова Е.К. Ордерная система как архитектурная пластика и её взаимосвязь со скульптурой (на примере архитектуры Ленинграда 1930—1960-х годов) // Искусство скульптуры в XX веке: проблемы, тенденции, мастера. Очерки. Материалы международной научной конференции. Москва, 2006. [Научный совет по историкотеоретическим проблемам искусствознания ОИФН РАН, НИИ теории и истории изобразительных искусств РАХ, Государственный музей изобразительных искусств им. А.С. Пушкина]. М.: Галарт, 2009. С. 192—203.
- 12. Рябушин А.В. Этапы развития советской архитектуры. М.: 1979. 55с.
- 13. Ленинград: Планировка и застройка 1945-1957. Под ред. В.А. Витмана и др. Л.: Стройиздат. 1958. 180 с.
- 14. Мастера советской архитектуры об архитектуре. Под общ.ред. М.Г. Бархина, А.В. Иконникова и др. М.: Искусство. 1975. 559 с.
- 15. Ретроспективизм. Власов В.Г. Большой энциклопедический словарь изобразительного искусства. СПб.: Лита. 2000. 863с.
- 16. Мастера советской архитектуры об архитектуре. Избр. отрывки из писем, статей, выступлений и трактатов. В 2-х т. Под общ. ред. М. Бархина (и др.). Том 1. М.: «Искусство». 1975. 544 с.

- 17. Фомин И.И. Микрорайон малоэтажной застройки в Володарском районе Ленинграда // Архитектура Ленинграда. 1946. №1. С. 19–32.
- 18. Обласов Ю.А. Использование приемов неоклассицизма в фасадной и объемно-планировочной структуре жилой архитектуры Ленинграда 1930–1950-х гг // Вестник гражданских инженеров. 2017. № 2 (61). С. 41–49.
- 19. Искандаров М.М., Михайлов А.Ю. Советский неоклассицизм: исследовательские интерпретации архитектуры 1930–1950-х гг. // Известия КазГАСУ. 2011. № 1 (15). С. 24–30.
- 20. Возняк Е.Р. Методика исследования детализации фасадов исторических зданий на основе теории архитектурных форм // Современные наукоемкие технологии. 2017. № 1. С. 22–26.
- 21. Золотарева М.В., Песчанская Е.А. Особенности развития архитектуры Ленинграда первого послевоенного десятилетия // Международный журнал гуманитарных и естественных наук. 2017. №10. С. 44–47.

- 22. Ерохин С.В. Историзм в советской архитектуре 1920—1950-х годов // Исторические, философские, политические и юридические науки, культурология и искусствоведение. Вопросы теории и практики. 2017. № 12-1 (86). С. 73–78.
- 23. Шпаков И.В. Основные тенденции в советском архитектурном проектировании и строительстве жилых зданий в послевоенное десятилетие // Краеведческие записки сборник статей. Юго-Западный государственный университет, кафедра истории и социально-культурного сервиса, научно-образовательный центр региональных культурно-исторических исследований «Родомысл». Курск, 2016. С. 43–46.
- 24. Кваша А.Д. Элементы рациональной архитектуры в малоэтажном домостроении // Архитектура и строительство России. 2013. № 4. С. 14.
- 25. Усанова А.Л. Советская архитектура 1930-1950-х годов. к проблеме стиля // Исторические, философские, политические и юридические науки, культурология и искусствоведение. Вопросы теории и практики. 2015. № 2-1 (52). С. 186–188.

Информация об авторах

Обласов Юрий Александрович, аспирант, старший преподаватель кафедры архитектурного и градостроительного наследия. E-mail: archrick@yandex.ru. Санкт-Петербургскйи государственный архитектурно строительный университет,190005, г. Санкт-Петербург, 2-я Красноармейская ул., д.4.

Поступила 27.01.2020 © Обласов Ю.А., 2020

Oblasov Yu.A.

Saint Petersburg state University of architecture and civil engineering E-mail: arhcrick@yandex.ru

ANALYSIS OF LOW-RISE RESIDENTIAL BUILDINGS OF LENINGRAD (ON THE EXAMPLE OF THE UDELNAYA DISTRICT)

Abstract. The areas of low-rise buildings in Leningrad in the period from 1944 to 1950 are considered. The current state of development is reflected. A detailed analysis of the features of residential blocks is carried out on the example of the Udelnaya district. Graphic diagrams showing the location of low-rise blocks in the modern urban fabric are presented. The process of involving creative teams of architects in the design of lowrise buildings is described. The general characteristics of urban planning and architectural aspects of development are given. The characteristic features of the planning structure formed in each area of low-rise construction are analyzed. The assessment of the preservation of the building ensemble at the present stage is given. The existing urban fabric of the Udelnaya district is presented, indicating the gradual formation of development. The architectural features of low-rise buildings in the Udelnaya district are analyzed using the example of three types of houses. A comparative analysis of three types of houses is presented in tabular form. The comparative analysis provides a graphical representation of the main facades and the three-dimensional composition of buildings. The graphic scheme illustrates the silhouette of Yeletskaya street in the Udelnaya district. A general description of the area improvement environment is given. As a result of the study, the positive and negative sides of low-rise buildings are identified. In conclusion, the operational disadvantages of the analyzed low-rise buildings are indicated. Based on all the materials presented in the article, it is proposed to renovate low-rise areas as a single ensemble.

Keywords: Soviet architecture, Stalin Empire style, residential architecture, Soviet architects, constructivism, ensemble, Leningrad architecture.

REFERENCES

- 1. Kurbatov Yu.I. Petrograd-Leningrad-Saint Petersburg: Architectural and urban planning lessons. [Petrograd Leningrad Sankt-Peterburg: Arhitekturno-gradostroitel'nye uroki]. SPb.: Iskusstvo-SPb. 2008. Pp. 35–37. (rus)
- 2. The Architects of St.-Petersburg. XX century. Grigory Simonov [Zodchie Sankt-Peterburga. XX vek. Grigorij Simonov]. Comp. Isachenko V. G. SPb.: "Lenizdat". 2000. Pp. 60–85. (rus)
- 3. Kurbatov Yu. I. Architects Of St. Petersburg. Oleg Guryev. XX century. [Zodchie Sankt-Peterburga. Oleg Gur'ev. XX vek]. SPb.: 2000. Pp. 390–398. (rus)
- 4. Ikonnikov A.V. Historicism in architecture. [Istorizm v arhitekture]. Moscow: Stroizdat. 1997. 557 p. (rus)
- 5. Lisovsky V.G., Saint Petersburg: essays on the architectural history of the city: from classics to modernity. [Sankt-Peterburg: ocherki arhitekturnoj istorii goroda: Ot klassiki k sovremennosti]. SPb.: Kolo, 2009. Vol. 2. 584 p. (rus)
- 6. Sementsov S.V. Urban planning of Petrograd-Leningrad: revolutionary defeat of 1917-1918 to the renaissance 1935. Vestnik Sankt-Peterburgskogo universiteta. 2012. No. 1(15). Pp. 130–143. (rus)
- 7. Khan-Magomedov S.O. "Stalinist Empire": problems, trends, masters. [«Stalinskij ampir»: problemy, techeniya, mastera]. Arhitektura stalinskoj epohi. Opyt istoricheskogo osmysleniya. Comp. and Rel. ed. Kosenkov Yu. L. M.: KomKniga. 2010. Pp. 24. (rus)
- 8. Lubos A.A. low-rise houses. Some results of design and construction. Architecture of Leningrad. [Maloetazhnye doma. Nekotorye itogi proektirovaniya i stroitel'stva. Arhitektura Leningrada]. 1949. No. 1 Pp. 1–9. (rus)
- 9. Wozniak E.R. Fundamentals of the theory of architectural forms of historical buildings: monograph, SPbGASU. [Osnovy teorii arhitekturnyh form istoricheskih zdanij: monografiya, SPbGASU]. SPb.: Kolo. 2016. 192 p. (rus)
- 10. Blinova E.K. Order systems in the architecture of Leningrad in the 1930s and 1950s. [Ordernye sistemy v arhitekture Leningrada 1930-1950-h godov]. Arhitektura stalinskoj epohi: Opyt istoricheskogo osmysleniya. Comp. and Rel. Editor Yu. L. Kosenkova. Moscow: Komkniga. 2010. Pp. 128–141. (rus)
- 11. Blinova E.K. The Order system as an architectural plastic and its relationship with sculpture (on the example of the architecture of Leningrad in the 1930s and 1960s). [Ordernaya sistema kak arhitekturnaya plastika i eyo vzaimosvyaz' so skul'pturoj (na primere arhitektury Leningrada 1930–1960-

- h godov)]. Iskusstvo skul'ptury v XX veke: problemy, tendencii, mastera. Ocherki. Materialy mezhdunarodnoj nauchnoj konferencii. Moskva, 2006. [Nauchnyj sovet po istoriko-teoreticheskim problemam iskusstvoznaniya OIFN RAN, NII teorii i istorii izobrazitel'nyh iskusstv RAH, Gosudarstvennyj muzej izobrazitel'nyh iskusstv im. A.S. Pushkina]. Moscow: Galart, 2009. Pp. 192–203. (rus)
- 12. Rabuchin A.V. stages in the development of Soviet architecture. [Etapy razvitiya sovetskoj arhitektury]. Moscow: 1979. 55 p. (rus)
- 13. Leningrad: Planning and development 1945–1957 [Leningrad: Planirovka i zastrojka 1945-1957]. ed. by V. A. Witman and others. L.: Stroizdat. 1958. 180 p. (rus)
- 14. Masters of Soviet architecture about architecture. [Mastera sovetskoj arhitektury ob arhitekture]. Under the General editorship of M. G. Barkhin, A.V. Ikonnikov, and others M.: Art. 1975. 559 p. (rus)
- 15. Retrospectivism. Vlasov V.G. Big encyclopedic dictionary of fine art. SPb.: Molten. 2000. 863 p. (rus)
- 16. Masters of Soviet architecture about architecture. Elected. excerpts from letters, articles, speeches, and treatises. [Mastera sovetskoj arhitektury ob arhitekture. Izbr. otryvki iz pisem, statej, vystuplenij i traktatov]. In 2 Vols. Under the General ed. Of M. Barkhin (et al.). Vol. 1. Moscow: "Art". 1975. 544 p. (rus)
- 17. Fomin I.I. Microdistrict of low-rise buildings in the Volodarsky district of Leningrad. [Mikrorajon maloetazhnoj zastrojki v Volodarskom rajone Leningrada]. Arhitektura Leningrada. 1946. No. 1. Pp. 19–32. (rus)
- 18. Oblasov Yu.A. Sing the techniques of Neoclassicism in the facade and space-planning structure of residential architecture of 1930-s -1950-s in Leningrad [Ispol'zovanie priemov neoklassicizma v fasadnoj i ob"emno-planirovochnoj strukture zhiloj arhitektury Leningrada 1930–1950-h gg]. Vestnik grazhdanskih inzhenerov. 2017. No. 2 (61). Pp. 41–49. (rus)
- 19. Iskandarov M.M. Soviet Neoclassicism: research interpretations of architecture 1930–1950 [Sovetskij neoklassicizm: issledovatel'skie interpretacii arhitektury 1930-1950-h gg.]. News of the KSUAE. 2011. No. 1 (15). Pp. 24–30. (rus)
- 20. Wozniak E. R. Research methodology the detail of the facades of historical buildings based on the theory of architectural forms [Metodika issledovaniya detalizacii fasadov istoricheskih zdanij na osnove teorii arhitekturnyh form]. Sovremennye naukoemkie tekhnologii. 2017. No. 1. Pp. 22–26. (rus)
- 21. Zolotareva M.V., Peschanskaya E.A. Features of development of architecture of Leningrad of the first post-war decade. Mezhdunarodnyj zhurnal

gumanitarnyh i estestvennyh nauk. 2017. No. 10. Pp. 44–47. (rus)

- 22. Erokhin S.V. Historicism in Soviet architecture in the 1920–1950 s [Istorizm v sovetskoj arhitekture 1920-1950-h godov]. Istoricheskie, filosofskie, politicheskie i yuridicheskie nauki, kul'turologiya i iskusstvovedenie. Voprosy teorii i praktiki. 2017. No. 12-1 (86). Pp. 73–78. (rus)
- 23. Shpakov I.V. Main trends in Soviet architectural design and construction of residential buildings in the post-war decade. [Osnovnye tendencii v sovetskom arhitekturnom proektirovanii i stroitel'stve zhilyh zdanij v poslevoennoe desyatiletie]. Kraevedcheskie zapiski. Sbornik statej. Yugo-Zapadnyj gosudarstvennyj universitet, kafedra istorii i social'no-kul'turnogo servisa, nauchno-obrazovatel'nyj

centr regional'nyh kul'turno-istoricheskih issledovanij «Rodomysl». Kursk, 2016. Pp. 43–46. (rus)

- 24. Kvasha A.D. Elements of rational architecture in low apartment houses [Elementy racional'noj arhitektury v maloetazhnom domostroenii]. Architecture and construction of Russia. 2013. No. 4. P. 14. (rus)
- 25. Usanova A.L. The soviet architecture of the 1930–1950 s [Sovetskaya arhitektura 1930-1950-h godov. k probleme stilya]. To the problem of style. Istoricheskie, filosofskie, politicheskie i yuridicheskie nauki, kul'turologiya i iskusstvovedenie. Voprosy teorii i praktiki. 2015. No. 2-1 (52). Pp. 186–188. (rus)

Information about the authors

Oblasov, Yurii A. Postgraduate student. E-mail: archrick@yandex.ru. Saint Petersburg state University of architecture and civil engineering

Received 27.01.2020

Для цитирования:

Обласов Ю.А. Анализ малоэтажной жилой застройки Ленинграда (на примере района удельной) // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2020. № 4. С. 62–73. DOI: 10.34031/2071-7318-2020-5-4-62-73

For citation:

Oblasov Yu.A. Analysis of low-rise residential buildings of Leningrad (on the example of the udelnaya district). Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2020. No. 4. Pp. 62–73. DOI: 10.34031/2071-7318-2020-5-4-62-73

DOI: 10.34031/2071-7318-2020-5-4-74-83

*Чащина А.И., Скопинцев А.В.

Академия архитектуры и искусств Южного Федерального Университета, *E-mail: leksa-07@yandex.ru

АНАЛИЗ СОВРЕМЕННОГО СОСТОЯНИЯ АРХИТЕКТУРНОЙ СРЕДЫ РОДИЛЬНЫХ ДОМОВ И ПЕРИНАТАЛЬНЫХ ЦЕНТРОВ (НА ПРИМЕРЕ ГОРОДОВ ЮГА РОССИИ)

Аннотация. В статье рассматриваются проблемы архитектурной среды сложившейся в нашей стране системы родильных домов и перинатальных центров. Описываются различные подходы к модернизации подобных учреждений, в том числе на основе формирования «оптимальной» архитектурно-пространственной среды, оказывающей лечебный, терапевтический эффект на пациента. Определена методологическая база исследования, позволившая провести оценку состояния архитектурной среды объектов родовспоможения на примере отдельных городов юга России. Натурные обследования проводились на основе методики комплексных предпроектных исследований, охватывающих действие разных факторов, и включающих: градостроительный анализ; архитектурно-ландшафтный анализ; социо-историко-культурный анализ. В процессе обследования выявлены и систематизированы характерные качества внешней и внутренней среды учреждений родовспоможения, в том числе: а) на градостроительном уровне проведена оценка географического и градостроительного расположения части объектов с перинатальной функцией, удобства их размещения и компоновки корпусов, зонирования территории; б) на уровне архитектурно-ландшафтного анализа определено наличие природных компонентов, рекреационной и зеленой зон на участках; в) на уровне социо-историкокультурного и композиционного анализа проведена оценка пластики и масштабности фасадных решений перинатальных центров, проведен анализ стилистики и образно-эмоциональных качеств их интерьеров, оценка сложившегося уровня визуального «комфорта» архитектурных пространств роддомов, располагающих к физической, эмоциональной реабилитации пациенток. Полученные результаты позволяют наметить пути модернизации объектов с перинатальной функцией и формирования в них новой терапевтической архитектурной среды.

Ключевые слова: перинатальный центр, роддом, лечебное учреждение, родовспоможение, модернизация, терапевтическая среда, архитектурная среда.

Введение. В нашей стране большое внимание уделяется правительством повышению рождаемости населения [1]. Формируются целые направления социальной поддержки семей и молодых родителей, увеличиваются суммы денежных выплат и пособий мамам и роженицам [2]. В то же время забота об «обустройстве» самих родов, обеспечении комфортной и оптимальной среды для рожениц, выбор качества обслуживания, комфортной интерьерной и экстерьерной среды роддомов, клиник, остается, как правило, вне поля регулирования государства и целиком определяется выбором самих родителей. В этом случае речь большей частью идет об удобстве расположения лечебного заведения, его пешеходной доступности для будущей мамы или о выборе специалистов, которые будут сопровождать роды, и не столько о качестве и комфорте архитектурной среды больницы, роддома, перинатального центра. Между тем «архитектура», дизайн и визуальный комфорт архитектурной среды, качество интерьеров и экстерьеров лечебного учреждения оказывает прямое влияние на эмоциональное состояние пациентов, и поэтому

могут и должны стать дополнительным лечебным фактором, который будет помогать и поддерживать их [3, 4].

Вопросам изучения передового опыта функционирования роддомов и учреждений перинатальной медицины посвящен ряд зарубежных исследований [5, 6, 7]. В отечественных публикациях рассматривались пути решения проблем в данном направлении в аспектах модернизации, переоснащения, оптимизации сети существующих лечебных учреждений [8, 9]. Уделялось внимание вопросам эффективного функционирования перинатальных центров, разработки их архитектурно-планировочных и функционально-пространственных решений, в том числе в соответствии с современными нормами и требованиями [10-13]. Перспективным направлением в зарубежных научных исследованиях по архитектуре, психологии восприятия выступают подходы к созданию «оптимальной» архитектурно-пространственной среды лечебных учреждений, в том числе объектов родовспоможения, с учетом психофизиологических особенностей «переживания» сомасштабных и комфортных пространств,

с заботой о духовном, физическом и психоэмоциональном комфорте рожениц [14–16]. Появилось и давно «работает» понятие архитектурной «терапевтической среды», которая по своим визуальным, композиционно-пространственным и технологическим параметрам оказывает лечебный, терапевтический эффект на пациента. Реализация данных подходов позволит в будущем сформировать в нашей стране тенденцию к регулярному обновлению, с учетом определенных временных этапов, требований, предъявляемых к медицинским учреждениям, например, через каждые 10-15 лет. Тем самым будут созданы предпосылки для устойчивого перспективного развития архитектурной среды родильных домов и перинатальных центров.

Однако для конкретизации подходов к переустройству и модернизации существующего фонда данных лечебных учреждений необходимо провести их натурное обследование. Таким образом, объектом данного исследования выступает архитектурная среда учреждений родовспоможения, включающих родильные дома, перинатальные клиники и центры. Цель данного исследования – провести развернутый анализ и оценку состояния архитектурной среды сложившейся системы роддомов и перинатальных центров на примере отдельных городов Юга России. Задачи исследования включают: а) выбор оптимальной методологической базы и методики проведения комплексной оценки архитектурной среды данных учреждений; б) выявление действующих факторов, определяющих состояние архитектурной среды объектов родовспоможения; в) классификация особенностей и недостатков состояния архитектурной среды данных объектов. Полученные выводы и результаты позволят сформулировать в дальнейшем прямые задачи и требования к соответствующим изменениям в подходах к проектированию, расположению данных объектов, освоению территорий под застройку, необходимому составу, площадям и характеристикам отдельных помещений.

Методология. Методология данного исследования основывается на принципах объективности и достоверности, получаемых данных при проведении натурных обследований объектов (лечебных учреждений), а также на методах систематизации и классификации научного и фактографического материала. Представленный в статье анализ объектов и учреждений родовспоможения проводился на основе сформировавшейся в средовом и архитектурно-строительном проектировании методики ведения комплексных предпроектных исследований.

В основе методики лежит комплексная трехчастная структура анализа, охватывающая действие разных факторов, оказывающих влияние на формирование и проектирование архитектурных и средовых объектов, в нашем случае — родильных домов, перинатальных клиник и центров: 1) градостроительный анализ (действие антропогенных и техногенных факторов); 2) архитектурно-ландшафтный анализ (действие природных факторов и компонентов); 3) социо-историко-культурный анализ (влияние исторического контекста, социальных, демографических аспектов, культурных традиций, поведенческих стереотипов и т.д.).

В аспекте первой группы факторов анализировались градостроительные вопросы транспортной доступности родильных домов и перинатальных центров на примере отдельных южно-российских городов, удобства подъездов, парковки, особенности функционального зонирования комплекса застройки на уровне генплана; архитектурно-планировочные, функционально-пространственные, композиционные, визуальные, морфологические характеристики и особенности сложившейся архитектурной среды отдельных объектов и комплексов.

Вторая группа факторов позволила рассмотреть и оценить наличие существующих природных компонентов в структуре застройки роддомов, перинатальных клиник и центров; оценить качественное влияние ландшафтных и природных форм на состояние архитектурной среды лечебного учреждения; выявить процент наличия озелененных площадей в структуре генплана данных объектов.

Третья группа факторов охватывает оценку образно-эмоциональных качеств архитектурной, терапевтической среды; субъективных переживаний рожениц, основанных на качестве интерьера родильных отделений и палат, особенностей расположении объекта в структуре исторического центра, в том числе в старом опорном фонде, оценку состояния архитектурной среды с учетом социального статуса медучреждения; возможностей включения в его состав дополнительных функций, способствующих эффективному оздоровлению и реабилитации пациенток.

Основная часть. Проведенные в рамках описанной методики анализ и натурные обследования, в целом, показали, что на сегодняшний день многие лечебные учреждения родовспоможения городов Юга России имеют определенные проблемы и недостатки в состоянии их внутренней и внешней архитектурной среды. Это в большей степени относится к системе родильных домов, нежели к вновь построенным перинаталь-

ным центрам. В районных центрах южно-российских городов большинство роддомов довоенного периода постройки имеют деградирующую среду, некоторые находятся в «упадке»; при относительно удовлетворительном технологическом обустройстве и оборудовании кабинетов и палат недостаточное внимание уделяется собственно архитектурной и средовой составляющей данных объектов

В исследовании, в первую очередь, были систематизированы отдельные недостатки архитектурной среды сложившейся системы учреждений родовспоможения, которые формируются под воздействием градостроительных факторов:

- 1. Одним из недостатков среды на градостроительном уровне является *«неудобное» гео*графическое и градостроительное расположение объектов, в т.ч.:
- а) близкое расположение к магистралям и промышленным объектам, производственным районам; при этом воздействие техногенной среды не располагает к комфорту пациентов.

Примером выступают отдельные южно-российские «города у воды» (Волгоград, Астрахань

и др.). Ввиду того, что многие прибрежные территории городов юга России были промышленными и городские водоемы, использовались, в основном, как транспортная «артерия», качество прибрежной среды и застройки на сегодняшний день пришло в упадок, а сами реки, порой, остаются загрязненными. Поэтому расположение роддомов и перинатальных центров в таких ситуациях вблизи от водоемов, несмотря на свой большой потенциал, невозможно считать комфортным. Ситуация усугубляется и тем, что рядом зачастую расположены заброшенные территории заводов, портов. Так в Волгограде роддом №1 находится в окружении промышленных территорий, расположенных от него в радиусе от 10 м до 500 м и выходящих к реке (см. рис.1). Визуальный и композиционный анализ архитектурной среды и окружающего контекста показал наличие «алогизмов» и негативных контрастов в визуальных моделях среды, вызывающих тревогу, визуальный дискомфорт, ощущение «экологической» нестабильности и неустойчивости среды.



Рис. 1. Роддом №1 в г. Волгограде

Другим примером подобной ситуации выступает родильное отделение Областной клинической больницы в Ростове-на-Дону (ОКБ). Градостроительный анализ показал, что в радиусе 500 метров от него располагаются территория завода Ростсельмаш, железнодорожные пути и несколько транспортных развязок. Это учреждение

находится в промышленном районе города, а закрытая территория больницы не имеет благоустроенной архитектурной среды, которая бы позволила компенсировать действие внешних негативных факторов (см. рис.2).



Рис. 2. Родильное отделение Областной клинической больницы в г. Ростов-на-Дону

б) Другим недостатком на градостроительном уровне выступают: *стесненность участка, отсутствие парковок, неудобство расположения входной группы*. Самым ярким примером, подобной «некомфортной» архитектурной среды служат учреждения родовспоможения, которые размещаются не в специализированных, а в «приспособленных» зданиях. Так, «Роддом №2» в Ростове-на-Дону расположен в центральной части

города в здании 1870 года постройки. Градостроительный анализ показал, что рядом расположена удобная транспортная развязка, по которой можно доехать к объекту из любой части города. Однако из-за условий приспособления исторического объекта под роддом на участке отсутствует рекреационная зона, не хватает парковочных мест, а главный вход выходит на пешеходную улицу (см. рис.3).



Рис. 3. Роддом №2 в г.Ростов-на-Дону

в) Также одним из существенных недостатков архитектурной среды роддомов и клиник на градостроительном уровне выступает *отмут*ствие рекреационной и зеленой зоны на участке.

Данная проблема выступает одной из самых распространенных для роддомов, расположенных в плотной городской среде. Предпринимаемые попытки приспособить под эту функцию небольшие общественные зоны или «эко-пространства» не дают желаемого результата. Обычно в таких объектах присутствует небольшая прогулочная зона, которая зачастую несет формальный

характер в связи с нехваткой полноценных мест отдыха и озеленения. Например, в ростовском роддоме ОКБ№2, внутренний двор не благоустроен, а ближайшие парки находятся в 1,23 км от учреждения родовспоможения. В приспособленных зданиях, таких как в РД№2 в Ростове-на-Дону и в ГБУЗ Родильный дом г. Краснодара, отсутствует зона отдыха из-за стесненных условий расположения объекта в исторической среде города (см. рис.4).

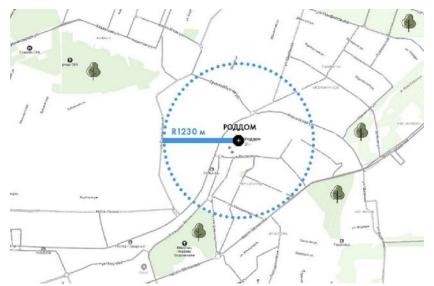


Рис. 4. Родильное отделение Областной клинической больницы в г. Ростов-на-Дону

г) Натурные обследования показали, что существенным недостатком архитектурной среды

родильных домов и клиник на градостроительном уровне выступают также: неудобная компо-

новка корпусов, зданий и зонирование территории (см. рис.5). Это обстоятельство объясняется тем, что многие учреждения родовспоможения, расположенные в центральной части города, являются памятниками архитектуры. Как правило, это бывшие доходные дома, больницы со «старой» компоновкой и «неудобной» формой корпусов, дома правления. Все это накладывает ограничения на необходимое функциональное зони-

рование лечебного учреждения, ввиду особенностей уже исторически сложившейся территории. Так в г.Краснодаре в бывшем «Здании правления и дома писарей», объекте культурного наследия, располагается «Роддом №4», входящий сегодня в состав ГБУЗ "Родильный дом г. Краснодара". Расположенная вокруг плотная застройка, в которую «внедрены» корпуса учреждения, препятствуют его эффективному функциональному зонированию.



2. Проведенный морфологический анализ, оценка существующего «опорного» фонда» родильных домов, перинатальных клиник и центров в городах Юга России показал, что он имеет достижает эксплуатационные качества застройки, визуальные и архитектурно-пространственные характеристики среды, в том числе:

а) несколько «архаичный» вид самих зданий периода 1960–80 годов постройки создаёт неоднозначный и во многом «отталкивающий» образ. Зачастую учреждения родовспоможения выглядят, как промышленные здания.

Так, например, в перинатальном центре в г.Сочи, фасад напоминает промышленное здание, выполненное в серых угрюмых тонах с горизонтальными растяжками и полосами под окнами. Над главным входом висит «противоречащая» внешнему образу здания роддома надпись: «Здесь рождается счастье». Такая среда, визуально и морально только угнетает и, как правило,

будет ассоциироваться с болью, предстоящими страданиями. Чтобы «уйти» от традиционной больничной среды родильный дом в Волгограде «украсили» яркими красками, а в Ростове-на-Дону фасады роддома «Центральной городской больницы» (ЦГБ) дополнили сферическими пластиковыми навесами. Однако такие локальные «нововведения» существенно не поменяли внешний облик зданий, и атмосфера больничной среды осталась неизменной. В областном роддоме ОКБ№2, который должен быть примером качественной архитектуры, не обеспечена целостность и преемственность композиционного решения архитектуры и интерьера. За счет единообразной нарезки фасадных окон и отделки, создана монотонная, визуально агрессивная среда, которая отчасти повторяется практически во всех больничных комплексах городов юга России (см. рис.6);









Рис. 6. Родильные дома Сочи, Волгограда и Ростова-на-Дону.

- б) Результатом проведенного морфологического анализа фонда родильных домов отдельных южно-российских городов выступает: *неудобная планировка и конфигурация старых корпусов*;
- в) конструктивная схема старых зданий исключает возможность эффективной перепланировки и модернизации;
- г) стесненность планов старых зданий, приводит к отсутствию в планировочной структуре роддома отдельных необходимых функциональных зон, блоков и помещений. Например, в перинатальных клиниках «9 месяцев» в Ростовена-Дону и «Эксперт» в г. Новочеркасск из-за стесненности застройки отсутствуют открытые рекреационные зоны для реабилитации рожениц.
- 3. Композиционный анализ и оценка визуального облика зданий роддомов, а также эстетических качеств архитектурной среды учреждений родовспоможения в ряде южно-российских городов позволили выявить наличие следующих недостатков: а) отсутствие необходимой детализации фасадных решений перинатальных центров, создающей «эмоциональный климат» и

«полифонию» визуальной среды, преобладание метрически однообразной, монотонной пластики (см. рис. 6); б) *отсутствие* «определителей масштаба» и «содержательной» масштабности зданий родильных домов и перинатальных центров формирует порой «агрессивную» архитектурную среду, с одинаковой нарезкой окон, которую пытаются украсить «современной отделкой» и цветным фасадом. Это приводит к тому, что большинство учреждений родовспоможения в городах и поселениях Юга России – это громоздкие непривлекательные здания, которые напоминают торговые центры, многоэтажные панельные дома или промышленные объекты. Так, в Волгоградском областном клиническом перинатальном центре №2 архитектурная и композиционная составляющая внешнего облика формируется немасштабными крупноформатными цветными вставками. Подобная колористика фасадов разрушает, на наш взгляд, объемно-пространственную композицию, и группа «пестрых» зданий, в которой не за что «зацепиться глазу», одиноко стоит в «степи» (см. рис.7).



Рис. 7. Волгоградский областной клинический перинатальный центр №2

- 4. Натурное обследование стилистики и образно-эмоциональной составляющей интерьеров родильных домов и перинатальных центров показали следующие результаты:
- а) по своим архитектурно художественным качествам интерьеры подобных объектов зачастую, являются «психологически твэжелыми», «не поддерживающими духовно», и сегодня, отчасти, они выглядят против «благополучия пациентов». Так, например, стандартная палата на 4—6 человек обычно выполнена в зеленых, персиковых или голубых оттенках, там есть все необходимое для пребывания в роддоме, но не отве-

чающее качествам архитектурно-художественной, «терапевтической» среды. Во всем пространстве веет «стерильностью», «стандартностью», и это негативно сказывается на эмоциональном состоянии пациентов, так как интерьерная среда в этом случае должна прежде всего «помогать», а не угнетать. Несмотря на то, что в палаты попадает достаточное количество света, общая атмосфера, в отдельных случаях, подавляет. В длинных вытянутых коридорах, которые никак не благоустроены, начинают давить стены и появляется чувство заключения, так как пространство замкнутое и «психологически тяжелое», визуально не комфортное (см. рис. 8);









Рис. 8. Интерьеры роддомов в г.Ростов-на-Дону

б) «комфорт» родильных отделений и палат обеспечивается в основном наличием специализированного оборудования, что приводит к формированию достаточно монотонных, однообразных, порой «безликих» архитектурных пространств, которые «опираются» только на нормативы без учета восприятия и движений людей, чувств и эмоций (см. рис. 8);

в) для интерьеров многих роддомов характерно отсутствие рекреационных и общественных зон, располагающих к социальному общению пациенток (зеленые холлы, зимние сады, актовые залы, площадки для отдыха, дендрарии.), приводит к увеличению периода их физической, эмоциональной реабилитации и психофизиологической, социальной адаптации к новой жизни с ребенком. Во многих учреждениях родовспоможения на юге России «зоны отдыха» носят формальный характер. Их часто игнорируют и замещают диванами, заполняющими пространство длинных коридоров. В комнате отдыха в лучшем случае будет стоять несколько растений и аквариум (см. рис. 9). Так, например, в роддоме ОКБ№2 в Ростове-на-Дону в отделении с новорожденными детьми отсутствует комната отдыха и рекреационное пространство. Общественная зона, в которой администрация больницы пыталась организовать рекреацию с небольшим количеством растений, в результате включила в себя сразу несколько функций: выписка, аптека и встречи с посетителями роддома.

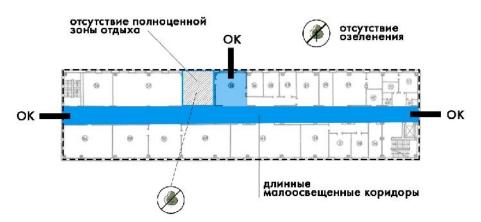


Рис. 9. Схема типовых планов роддомов юга России

Проведенный анализ состояния архитектурной среды учреждений родовспоможения на примере отдельных городов Юга России не является окончательным и может быть продолжен. Однако его результаты уже отражают общие тенденции, и характерные недостатки, свойственные архитектурным качествам данных объектов. Это позволяет наметить основные направления модернизации экстерьерной и интерьерной среды родильных домов и перинатальных центров, связанные с совершенствованием их градостроительных решений и формированием целостных «ансамблевых» структур с качественным функциональным зонированием территории участка, включением в нее зеленых зон и открытых пространств для реабилитации, с учетом ряда компенсирующих мероприятий для условий плотного городского контекста. Необходимым направлением модернизации данных объектов выступает также совершенствование композиционных качеств застройки, усиление «художественного и эмоционального» начала фасадных решений и интерьерных пространств. Разработка перспективных концептуальных моделей и предложений, а также методических средств подобной модернизации может служить предметом следующих исследований

Выводы. В результате комплексного исследования состояния архитектурной среды родильных домов и перинатальных центров на примере городов Юга России было выявлено, что из общего числа учреждений около 70 % относятся к «старому» фонду и только 30 % расположено во

вновь построенных зданиях. В связи с этим выявлен высокий физический износ зданий и сооружений: 62 % из них требуют косметического ремонта; 34 % – капитального ремонта, с укреплением конструктивных элементов; 4 % – сноса или полной реконструкции. Натурное обследование перинатальных центров и родильных домов крупных городов Юга России, помогло выявить характерные особенности их современного состояния, в том числе: отсутствие внимания к архитектурной и средовой составляющей данных объектов, что приводит к ряду недостатков на градостроительном, композиционном, образноэмоциональном уровне формирования и функционирования их экстерьерной и интерьерной среды. Отмеченные недостатки позволяют пересмотреть подходы к проектированию и модернизации родильных домов и сети перинатальных центров, которые будут отражать в себе общую концепцию трехуровневой системы оказания медицинской помощи роженицам. Это позволит обеспечить в объектах с подобной функцией новой терапевтической архитектурной среды, которая способствует созданию «духовных», пространственных и комфортных условий для реабилитации и восстановления пациенток.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- 1. Указ Президента РФ от 9 октября 2007 г. N 1351 "Об утверждении Концепции демографической политики Российской Федерации на период до 2025 года [Электронный ресурс]. URL: http://docs.cntd.ru/document/902064587 (дата обращения: 12.01.2020)
- 2. План мероприятий по реализации в 2016-2020 годах Концепции демографической политики Российской Федерации на период до 2025 года. Утвержден распоряжением Правительства Российской Федерации от 14 апреля 2016 года №669-р [Электронный ресурс]. URL: http://docs.cntd.ru/document/420350355 (дата обращения: 12.01.2020)
- 3. Чеберева О.Н. Архитектура медицинского стационара как лечебная архитектура // Сборник трудов аспирантов и магистрантов. Архитектура. Геоэкология. Экономика. Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет. 2003. С. 38-42.
- 4. Purves G. Primary Care Centres. A Guide to Health Care Design. Second Edition // Oxford, Elsevier Ltd., 2009. Pp. 4–86

- 5. Health Building Note 09-02: Maternity Care Facilities. Department of Health. London, 2013.71 p.
- 6. Fahy K.M., Parratt J.A. Birth Territory: a theory for midwifery practice // Women and birth: journal of the Australian College of Midwives. 2006. Pp. 4–78.
- 7. Fahy K.M., Foureur M., Hastie C. Birth Territory and Midwifery Guardianship: Theory For Practice, Education And Research 1st Edition // Elsevier, Edinburgh, 2008. 198 p.
- 8. Пенюгина Е.Н. Концептуальные подходы к оптимизации сети больниц и организации стационарной медицинской помощи с учетом градостроительной политики и основных направлений социально-экономического развития крупного города: дисс. канд. мед. наук. СПб., 2008. 388с.
- 9. Чеберева О.Н. Принципы архитектурной модернизации комплексов медицинских соматических стационаров (на примере городских больниц Нижнего Новгорода): дисс. канд. архит. НН., 2009. 210 с.
- 10. Аберхаева Л.С. Научно-методическое обоснование организации межрайонного центра перинатальной медицины: дисс. канд. мед. наук. К., 2012. 178 с.
- 11. Давыденко Н.Б. Научное обоснование организации системы реабилитации родильниц группы высокого риска в перинатальном центре: дисс. канд. мед. наук. Ч., 2007. 160 с.
- 12.Проектирование перинатальных центров и других учреждений родовспоможения. Методические рекомендации. Министерство здравоохранения и социального развития Российской Федерации. М., 2007. [Электронный ресурс] URL: http://docs.cntd.ru/document/1200069546 (дата обращения: 10.09.2019)
- 13. Яковлева Т.В. Совершенствование трехуровневой системы оказания медицинской помощи женщинам в период беременности, родов и в послеродовом периоде: методическое письмо. М., 2014. С. 27
- 14.Frank K.A., Lepori R.B. Architecture from the inside out: From the body, the senses, the site, and the community, 2nd edition. // Wiley-Academy, West Sussex, Great Brittain. 2007. 33 p.
- 15. Parratt J. Territories of the self and spiritual practices during childbirth. Territory and Midwifery Guardianship: Theory for practice, education and research Edinburgh: Butterworth Heinemann Elsevier, Edinburgh, 2008. Pp. 39–54.
- 16. Purves G. Healthy Living Centres a guide to primary health care design. Oxford, Elsevier Ltd., 2002. 241 p.

Информация об авторах

Чащина Александра Игоревна, аспирант кафедры архитектурного и средового проектирования. E-mail: leksa-07@yandex.ru. Академия архитектуры и искусств Южного Федерального Университета. Россия, 344002, Ростовская область, г. Ростов-на-Дону, пр. Буденновский, д. 39. **Скопинцев Анатолий Вениаминович**, кандидат архитектуры, профессор кафедры архитектурного и средового проектирования. E-mail: scoparh@yandex.ru. Академия архитектуры и искусств Южного Федерального Университета. Россия, 344002, Ростовская область, г. Ростов-на-Дону, пр. Буденновский, д. 39.

Поступила 13.02.2020 © Чащина А.И., Скопинцев А.В., 2020

Chashchina A.I., Skopintsev A.V.

Academy of Architecture and Arts of the Southern Federal University *E-mail: leksa-07@yandex.ru

ANALYSIS OF THE CURRENT STATE OF THE ARCHITECTURAL ENVIRONMENT OF MATERNITY HOSPITALS AND PERINATAL CENTERS (ON THE EXAMPLE OF CITIES OF THE SOUTH OF RUSSIA)

Abstract. The article discusses the problems of the architectural environment of the system of maternity hospitals and perinatal centers of our country. Various approaches to the modernization of such institutions are described, including on the basis of the formation of an "optimal" architectural and spatial environment that has a therapeutic and therapeutic effect on the patient. The methodological base of the study is determined, which allows to assess the state of the architectural environment of obstetric facilities using the example of individual cities in southern Russia. Field surveys are carried out based on the methodology of complex preproject studies, covering the action of various factors, and including: urban planning analysis; architectural and landscape analysis; social, historical and cultural analysis. During the examination, the characteristic qualities of the external and internal environment of obstetric care institutions are identified and systematized, including: a) at the city-planning level, the geographical and city-planning location of some objects with a perinatal function, the convenience of their placement and layout of buildings, and zoning of the territory are assessed; b) at the level of architectural and landscape analysis, the presence of natural components, recreational and green zones in the areas was determined; c) at the level of socio-historical, cultural, and compositional analysis, the plasticity and scale of the facade solutions of perinatal centers are assessed, the style and imaginative-emotional qualities of their interiors are analyzed, and the prevailing level of visual "comfort" of the architectural spaces of maternity hospitals with physical, emotional rehabilitation of patients is assessed. The results obtained allows to outline ways of modernizing objects with a perinatal function and forming a new therapeutic architectural environment in them.

Keywords: perinatal center, maternity hospital, medical institution, obstetric care, modernization, therapeutic environment, architectural environment.

REFERENCES

- 1. Decree of the President of the Russian Federation of October 9, 2007 No.1351 "On approval of the Concept of demographic policy of the Russian Federation for the period until 2025 [Ukaz Prezidenta RF ot 9 oktyabrya 2007 g. No.1351 "Ob utverzhdenii Koncepcii demograficheskoj politiki Rossijskoj Federacii na period do 2025 goda]. URL: http://docs.cntd.ru/document/902064587 (date of treatment: 12.01.2020) (rus)
- 2. The action plan for the implementation in 2016-2020 of the Concept of the demographic policy of the Russian Federation for the period until 2025. Approved by order of the Government of the Russian Federation of April 14, 2016 No. 669-r [Plan meropriyatij po realizacii v 2016-2020 godax Koncepcii demograficheskoj politiki Rossijskoj Federacii na period do 2025 goda. Utverzhden rasporyazheniem Pravitel`stva Rossijskoj Federacii ot 14 aprelya 2016

- goda N_{\odot} 669-r]. URL: http://docs.cntd.ru/document/420350355 (date of treatment: 12.01.2020) (rus)
- 3. Chebereva O.N. The architecture of a medical hospital as a medical architecture. [Apxitektura medicinskogo stacionara kak lechebnaya arxitektura]. Proceedings of graduate students and undergraduates. Architecture. Geoecology. Economy. Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering. 2003. Pp. 38-42 (rus)
- 4. Purves G. Primary Care Centres. A Guide to Health Care Design. Second Edition. Oxford, Elsevier Ltd., 2009. Pp. 4-86
- 5. Health Building Note 09-02: Maternity Care Facilities. Department of Health. London. 2013.71 p.
- 6. Fahy K.M., Parratt J. A. Birth Territory: a theory for midwifery practice. Women and birth: journal of the Australian College of Midwives. 2006. Pp. 4–78.
- 7. Fahy K.M., Foureur M., Hastie C. Birth Territory and Midwifery Guardianship: Theory For

Practice, Education And Research 1st Edition. Elsevier, Edinburgh. 2008. 198 p.

- 8. Penyugina E.N. Conceptual approaches to optimizing the network of hospitals and organizing inpatient medical care, taking into account urban planning policies and the main directions of socioeconomic development of a large city [Konceptual'ny'e podxody' k optimizacii seti bol'nicz i organizacii stacionarnoj medicinskoj pomoshhi s uchetom gradostroitel'noj politiki i osnovny'x napravlenij social'no-e'konomicheskogo razvitiya krupnogo goroda] PhD thesis. St. Petersburg., 2008. 388 p. (rus)
- 9. Chebereva O.N. The principles of architectural modernization of complexes of medical somatic hospitals (for example, city hospitals in Nizhny Novgorod) [Principy` arxitekturnoj modernizacii kompleksov medicinskix somaticheskix stacionarov (na primere gorodskix bol`nicz Nizhnego Novgoroda)]. PhD thesis. NN., 2009. 210 p. (rus)
- 10. Aberkhaev, L.S. Scientific and methodological substantiation of the organization of the interdistrict center of perinatal medicine [Nauchnometodicheskoe obosnovanie organizacii mezhrajonnogo centra perinatal`noj mediciny`]. PhD thesis. K., 2012. 178 p. (rus)
- 11.Davydenko N.B. The scientific rationale for the organization of the system of rehabilitation of high-risk puerperas in the perinatal center [Nauchnoe

- obosnovanie organizacii sistemy` reabilitacii rodil`nicz gruppy` vy`sokogo riska v perinatal`nom centre]. PhD thesis. Ch., 2007. 160 p. (rus)
- 12.Design of perinatal centers and other obstetric facilities. Guidelines [Proektirovanie perinatal'ny'x centrov i drugix uchrezhdenij rodovspomozheniya. Metodicheskie rekomendacii. Ministerstvo zdravooxraneniya i social'nogo razvitiya Rossijskoj Federacii]. URL: http://docs.cntd.ru/document/1200069546 (date of treatment: 10.09.2019)
- 13. Yakovleva T.V. Improving the three-tier system of medical care for women during pregnancy, childbirth and the postpartum period: methodical letter [Sovershenstvovanie trexurovnevoj sistemy` okazaniya medicinskoj pomoshhi zhenshhinam v period beremennosti, rodov i v poslerodovom periode: metodicheskoe pis`mo] M., 2014. 27 p. (rus)
- 14.Frank K. A., Lepori R. B. Architecture from the inside out: From the body, the senses, the site, and the community, 2nd edition. Wiley-Academy, West Sussex, Great Britain. 2007. P.33
- 15. Parratt J. Territories of the self and spiritual practices during childbirth. Territory and Midwifery Guardianship: Theory for practice, education and research Edinburgh: Butterworth Heinemann Elsevier, Edinburgh, 2008. Pp.39-54
- 16. Purves G. Healthy Living Centres a guide to primary health care design. Oxford, Elsevier Ltd., 2002. 241 p.

Information about the authors

Chashchina, Alexandra I. Postgraduate student. E-mail: leksa-07@yandex.ru. Academy of Architecture and Arts of the Southern Federal University. Russia, 344002, Rostov Region, Rostov-on-Don, Ave.Budennovsky 39.

Skopintsev, Anatoly V. DSc, Professor. E-mail: scoparh@yandex.ru. Academy of Architecture and Arts of the Southern Federal University. Russia, 344002, Rostov Region, Rostov-on-Don, Ave.Budennovsky 39.

Received 13.02.2020

Для цитирования:

Чащина А.И., Скопинцев А.В. Анализ современного состояния архитектурной среды родильных домов и перинатальных центров (на примере городов юга России) // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2020. № 4. С. 74–83. DOI: 10.34031/2071-7318-2020-5-4-74-83

For citation:

Chashchina A.I., Skopintsev A.V. Analysis of the current state of the architectural environment of maternity hospitals and perinatal centers (on the example of cities of the south of Russia). Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2020. No. 4. Pp. 74–83. DOI: 10.34031/2071-7318-2020-5-4-74-83

ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ

DOI: 10.34031/2071-7318-2020-5-4-84-93

*Кочергин Ю.С., Григоренко Т.И., Золотарева В.В.

Донецкий национальный университет экономики и торговли имени Михаила Туган-Барановского *E-mail: viktoria802@gmail.com

СВОЙСТВА КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ СМЕСЕЙ ЭПОКСИДНЫХ ПОЛИМЕРОВ И ОЛИГОСУЛЬФОНОВ. ЧАСТЬ 4. АДГЕЗИОННЫЕ СВОЙСТВА.

Аннотация. Исследовано влияние олигосульфонов с концевыми карбоксильными и фенольными группами и молекулярной массой от 1200 до 44500 на адгезионные свойства эпоксидных полимеров при сдвиге и отрыве клеевых соединений. Показано, что модификация приводит к формированию систем, характеризующихся улучшенными адгезионными свойствами, особенно при повышенных температурах испытания. Установлено, что существует оптимальный диапазон концентраций и молекулярных масс олигосульфонов (ориентировочно от 2000 до 20000), который обеспечивает максимальный эффект модификации. Предположено, что формирующиеся в эпоксидной матрице частицы олигосульфонов с малой молекулярной массы имеют размеры и объем, недостаточные, чтобы быть эффективной преградой на пути распространения возможной в полимере трещины. В то же время олигосульфоны с большой молекулярной массой способны включать в свой объем определенную часть эпоксидной смолы. Это приводит к относительному уменьшению в композиции доли эпоксидной составляющей, которая в значительной мере определяет адгезию к склеиваемому материалу. Показано, что величина эффекта модификации практически не зависит от природы концевых групп. Максимальный комплекс свойств реализуется для олигосульфонов с концевыми карбоксильными группами и молекулярной массой в диапазоне от 2500 до 4700 при их концентрации 3-10 масс. ч. на 100 масс. ч. эпоксидного олигомера. Для олигосульфона с концевыми карбоксильными группами и молекулярной массой 4700 при концентрации 10 масс. ч. удается повысить прочность клеевых соединений при сдвиге в 1,47 и 3,58 раза и отрыве в 1,39 и 5,08 раза соответственно при температурах испытания 293 и 423 К. Результаты исследований позволяют рекомендовать эпоксидно-олигосульфоновые смеси для разработки конструкционных клеев, работоспособных в широком интервале температур.

Ключевые слова: эпоксидная смола, отвердитель, олигосульфоны, концевые карбоксильные и фенольные группы, модификация, адгезионные свойства.

Введение. В настоящее время для модификации эпоксидных смол с успехом применяют добавки высокомолекулярных ароматических полисульфонов [1–3]. Модифицирующий эффект таких добавок заключается в улучшении влагостойкости, теплостойкости, прочности при разрыве и ударной прочности эпоксидных композиций.

Ряд работ [4–12] посвящен исследованию взаимодействия на границе раздела модифицированная полисульфоном эпоксидная смола–волокно. Авторами показано, что прочность сцепления полимерной матрицы с волокном имеет экстремальную зависимость с максимумом при содержании полисульфона 10 масс. ч. При этом увеличение прочности составляет примерно 25 %. Для данной системы согласно [12] наблюдается также увеличение адгезионной прочности при сдвиге, которое составляет примерно 2,5 раза (рост с 6,4 до 16,3 МПа). При этом следует обратить внимание на очень низкую базу для сравнения: всего 6,4 МПа для немодифицированного полимера. Изменение адгезионной прочности

было связано с изменением структуры межфазного слоя [10, 11]. На основе проведенных исследований были разработаны связующие для композиционных материалов с повышенной стойкостью к ударным нагрузкам, трещиностойкостью и теплостойкостью [13, 14–21].

Ранее нами описано влияние добавок низкомолекурных полисульфонов (олигосульфонов) на теплофизические, деформационно-прочностные и релаксационные свойства эпоксидных полимеров [22–24].

В продолжение исследований целью настоящей работы явилось изучение влияния полисульфонов на адгезионные свойства эпоксидных полимеров.

Методология. В качестве объектов исследования выбраны эпоксидные полимеры на основе промышленной смолы марки ЭД-20 с массовой долей эпоксидных групп 21,3 % и молекулярной массой (ММ) – 410. Отвердителем служил диэтилентриаминометилфенол марки УП-583Д. В ка-

честве модификаторов были использованы олигосульфоны (ОСФ) с концевыми карбоксильными группами и концевыми фенольными группами (таблица). Совмещение олигосульфонов с эпоксидной смолой проводили при 393 К.

Отверждение композиций вели без подвода тепла извне при температуре $293 \pm 1~\mathrm{K}$ в течение $240~\mathrm{y}$.

Таблица 1.

Свойства олигосульфонов.

Шифр	Молекулярная	Параметр	Температура размягчения, К			
образца	масса	растворимости,* $(MДж/м^3)^{0,5}$	в капилляре	термомеханический метод		
Б-3-К	1200	20,27	425–431	423		
Б-6-К	2500	20,33	431–438	433		
Б-10-К	4700	20,42	450–456	451		
Б-50-К	22500	20,46	_	466		
Б-3-Ф	1480	20,91	427 - 432	436		
Б-30-Ф	13500	20,66	-	463		
Б-100-Ф	44500	20,46	-	478		

^{*)} Определяли расчетным путем по формуле [25]:

$$\delta = \left(\frac{\sum \Delta E_i^*}{N_A \sum \Delta V_i}\right)^{1/2},\tag{1}$$

где ΔE_i — вклад каждого атома и типа межмолекулярного взаимодействия в величину эффективной мольной энергии когезии; N_A — число Авогадро; ΔV_i — вандерваальсовый объем молекулы, складывающийся из вандерваальсовых объемов атомов.

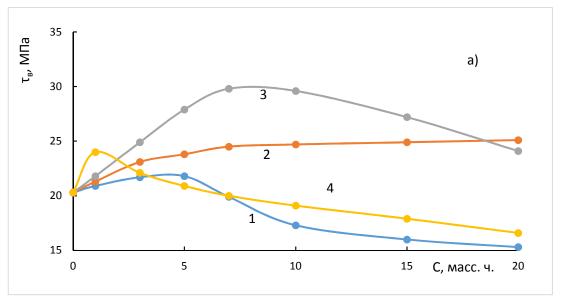
Адгезионную прочность при сдвиге ($\tau_{\rm B}$) и отрыве ($\sigma_{\rm отр}$) определяли по ГОСТ 14759-69 и 14760-69 соответственно. Поверхности под склеивание стальных образцов (Ст.3) обрабатывали на шлифовальной плите с помощью электрокорунда до равномерной шероховатости, после чего обезжиривали ацетоном.

Основная часть. Как видно из рис. 1, модификация эпоксидных полимеров олигосульфонами с концевыми карбоксильными группами дает возможность улучшить адгезионные характеристики как при комнатной, так и повышенной (423К) температурах. Причем зависимость прочности при сдвиге от содержания ОСФ при комнатной температуре выражена весьма слабо. Для ОСФ с ММ от 2500 до 4700 наблюдается размытый максимум с вершиной приблизительно при 10 масс. ч. Для олигосульфонов с MM<2500 и MM>4700 максимумы $\tau_{\scriptscriptstyle B}$ выражены еще слабее, и их вершины проявляются в диапазоне концентраций 1-3 масс. ч. Значения максимальных величин тв для ОСФ различной ММ приведены на рис. 2. Из него отчетливо видно преимущество олигосульфона Б-10-К над другими добавками с меньшей или большей ММ. При этом увеличение тв для эпоксидного полимера, содержащего олигосульфон Б-10-К, относительно немодифицированного об-

разца составляет около 47%. Более рельефно эффект упрочнения при модификации эпоксидных смол ОСФ проявляется при повышенной температуре испытания (рис. 1б). Максимумы тв выражены намного отчетливее по сравнению с комнатной температурой испытания. Наибольшее увеличение адгезионной прочности при сдвиге наблюдается для ОСФ марок Б-6-К и Б-10-К (рис. 2б) и составляет примерно 3,5 раза. Аналогичная картина наблюдается и для зависимости адгезионной прочности при равномерном отрыве $\sigma_{\text{отр}}$ (рис. 3). При комнатной температуре наилучшие результаты обеспечивают те же ОСФ (Б-6-К и Б-10-К), что и в случае $\tau_{\text{в}}$. Причем для Б-10-К эффект выражен более явно (рис. 4а). В случае его введения в состав композиции увеличение $\sigma_{\text{отр}}$ составляет около 40%, т. е. примерно такую же величину, что и для тв. При повышенной температуре эффект увеличения о_{отр}, как и в случае тв, выражен более четко (рис. 3б). Наибольший рост $\sigma_{\text{отр}}$ имеет место для Б-10-К и Б-50-К. Так, для Б-10-К увеличение $\sigma_{\text{отр}}$ составляет более 5 раз относително немодифицированного образца (рис. 4б). Природа концевых реакционноспособных групп (карбоксильные или фенольные) не оказывает заметного влияния на величину адгезионной прочности (рис. 5). При этом несколько большие значения $\sigma_{\text{отр}}$, как при комнатной, так и повышенной температуре испытания могут быть в большей степени обусловлены не химической природой концевых круп ОСФ, а более высокой молекулярной массой Б-3-Ф (1470) по сравнению с Б-3-К (1200). Как следует из рис. 6, концентрационные зависимости адгезионной прочности для ОСФ с фенольными группами аналогичны таковым для ОСФ с карбоксильными группами. Однако достигаемые максимальные значения $\sigma_{\text{отр}}$ при введении ОСФ

с фенольными группами ниже, чем в случае ОСФ с карбоксильными группами (рис. 4). На основе полученных зависимостей можно заключить, что существует оптимальный диапазон концентраций и молекулярных масс ОСФ (ориентировочно 2000<MM<20000), который обеспечивает максимальный эффект модификации. По-видимому, при ММ<2000 формирующиеся в эпоксидной матрице частицы ОСФ имеют размеры и объем, недостаточные, чтобы реализовать эффект упрочнения, прежде всего быть эффективной преградой на пути распространения полимере возможной В трещины. ММ>20000, вероятно, олигосульфон, благодаря хорошей совместимости компонентов, способен окклюдировать (включать в свой объем) определенную часть эпоксидной смолы, что приводит

к относительному уменьшению концентрации эпоксидной матрицы в композиции, которая в значительной мере и определяет величину адгезии к склеиваемому материалу. Кроме того, определенный вклад в упрочнение клеевого шва будут вносить и дополнительне водородные связи, которые образуются между полярными группами молекул эпоксидной смолы, отвердителя и ОСФ. Повышение адгезионной прочности при повышенной температуре может быть также связано с увеличением плотности химической сетки в эпоксидной матрице при введении модификаторов, а также насыщением системы компонентом с более высокими жесткостью и теплостойкостью.



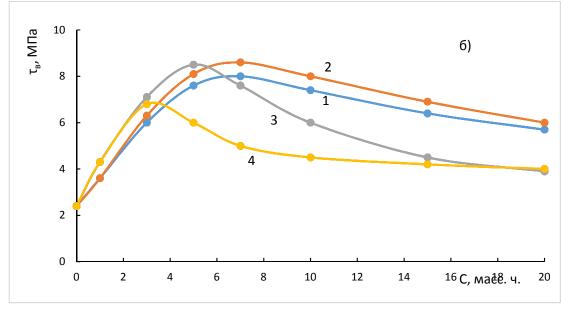


Рис. 1. Зависимость адгезионной прочности при сдвиге от концентрации олигосульфонов Б-3-К (1), Б-6-К (2), Б-10-К (3) и Б-50-К (4) в эпоксидных композициях. Температура испытания 293 K (a) и 423 K (б)

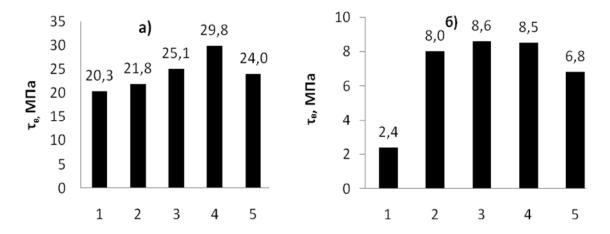


Рис. 2. Максимальные значения адгезионной прочности при сдвиге, измеренной при 293 К (а) и 423 К (б), для исходного эпоксидного полимера (1) и модифицированного Б-3-К (2), Б-6-К (3), Б-10-К (4) и Б-50-К (5).

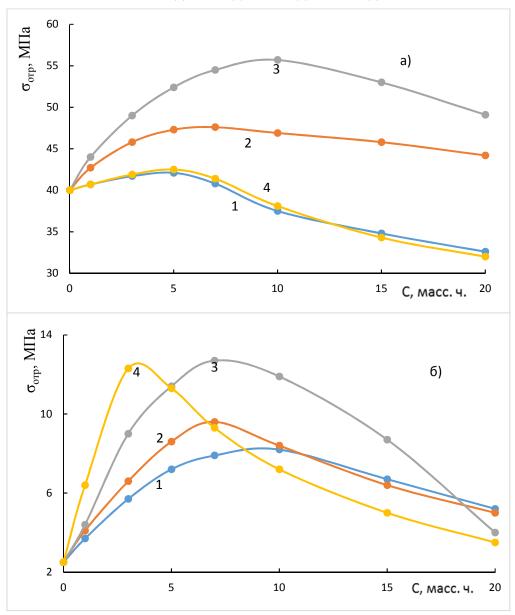


Рис. 3. Зависимость адгезионной прочности при отрыве от концентрации олигосульфонов Б-3-К (1), Б-6-К (2), Б-10-К (3) и Б-50-К (4) в эпоксидных композициях. Температура испытания 293 К (а) и 423 К (б).

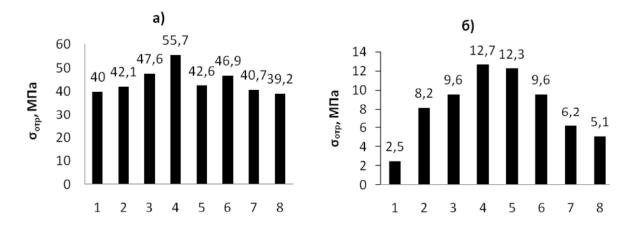


Рис. 4. Максимальные значения адгезионной прочности при отрыве, измеренной при 293 К (а) и 423 К (б), для исходного эпоксидного полимера (1) и модифицированного Б-3-К (2), Б-6-К (3), Б-10-К (4), Б-50-К (5), Б-3-Ф (6), Б-30-Ф (7) и Б-100-Ф (8)

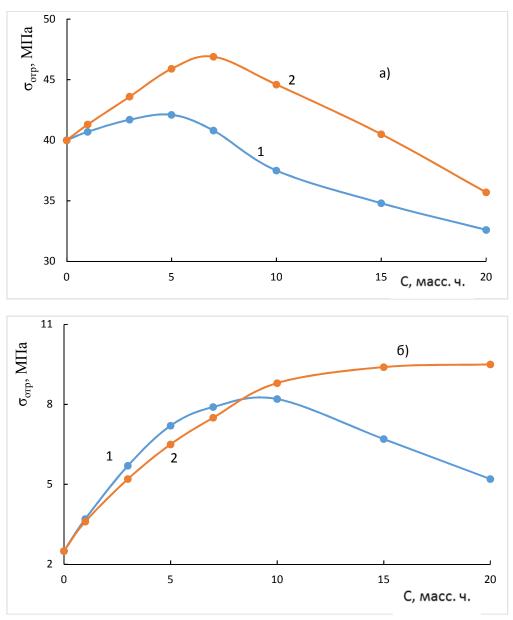
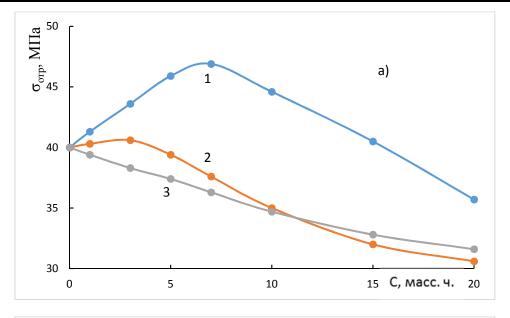


Рис. 5. Зависимость адгезионной прочности при отрыве от концентрации олигосульфонов Б-3-К (1) и Б-3-Ф (2) в эпоксидных композициях. Температура испытания 293 К (а) и 423 К (б)



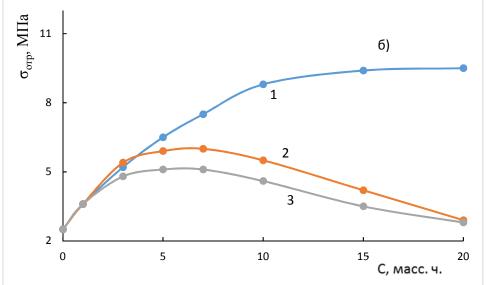


Рис. 6. Зависимость адгезионной прочности при отрыве от концентрации олигосульфонов Б-3-Ф (1), Б-30-Ф (2) и Б-100-Ф (3) в эпоксидных композициях. Температура испытания 293 К (а) и 423 К (б).

Выводы. Таким образом, модификация ЭО олигосульфонами приводит к формированию систем, характеризующихся улучшенными адгезионными свойствами. В большей степени эффект упрочнения проявляется при повышенных температурах. Величина эффекта в большей степени зависит от количества введенного модификатора и его молекулярной массы и в значительно меньшей мере – от природы концевых групп. Максимальный комплекс свойств реализуется для олигосульфонов с концевыми карбоксильными группами и молекулярной массой в диапазоне от 2500 до 4700 при их концентрации 3–10 масс. ч. на 100 масс. ч. эпоксидного олигомера. Полученные данные свидетельствуют о том, что использование олигосульфонов в качестве модификаторов эпоксидных смол позволяет получать полимеры с высокими адгезионными свойствами (особенно при повышенных температурах), которые могут

применяться как конструкционные клеи в различных отраслях народного хозяйства.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- 1. Raghava R.S. Secondary transitions and fracture toughness of cured epoxy resins and their blends with polyethersulfones // 28th Nat. SAMPE Symp. and Exhib. 1983. Vol. 28. Pp. 367–373.
- 2. Buckall C.B., Partridge I.K. Addition of polyethersulphone to epoxy resins // Brit. Polym. J. 1983. Vol. 15. № 1. Pp. 71–75.
- 3. Ibrahim A.M., Quinlivan T.J., Seferis J.C. Processing of polyethersulfone reinforced high performance epoxy blends // Amer. Chem. Soc. Polym. Prepr. 1985. Vol. 26, № 1. Pp. 277–278.
- 4. Горбунова И.Ю., Кербер М.Л., Шустов М.В. Особенности поведения эпоксидных связующих, модифицированных термопластом // Пласт. массы. 2003. № 12. С. 38–41.

- 5. Горбаткина Ю.А. Влияние модификаторов на адгезионные свойства полимерных композиций. Часть 1. Общие представления // Клеи. Герметики. Технологии. 2004. №4. С. 18–24.
- 6. Горбаткина Ю.А. Влияние модификаторов на адгезионные свойства полимерных композиций. Часть 2. Эпоксидиановые олигомеры (окончание) // Клеи. Герметики. Технологии. 2004. №5. С. 24–29.
- 7. Solodilov V.I., Gorbatkina Yu. A. Properties of unidirectional GFRPs based on an epoxy resin modified with polysulphone or an epoxyurethane oligomer // Mechanics of Composite Materials. 2006. Vol. 73, № 5. P. 513–526.
- 8. Горбунова И.Ю., Шустов М.В., Кербер М.Л. Влияние термопластичных модификаторов на свойства и процесс отверждения эпоксидных полимеров // Инженерно-физический журнал. 2003. Т. 6. № 3. С. 1–4.
- 9. Сопотов Р.И., Горбунова И.Ю. Изучение влияния содержания термопластичных модификаторов и режима отверждения на ударную вязкость эпоксиаминного связующего // Успехи в химии и химической технологии. 2013. Т. 27, № 3(143). С. 101–103
- 10. Чалых А.Е., Герасимов В.К. Фазовые равновесия и фазовая структура смесей полимеров // Успехи химии. 2004. Т. 73, №1. С. 63–78.
- 11. Чалых А.Е., Герасимов В.К., Бухтеев А.Е. Совместимость и эволюция фазовой структуры смесей полисульфон—отверждающиеся эпоксидные олигомеры // Высокомолек. соед. Сер. А. 2003. Т. 45, №7. С. 1148–1159.
- 12. Солодилов В.И., Горбаткина Ю.А. Свойства однонаправленных стеклопластиков на основе эпоксидной смолы, модифицированной полисульфоном или эпоксиуретановым олигомером // Механика композитных материалов. 2006. Т. 42, № 6. С. 739–758.
- 13. Солодилов В.И., Баженов С.Л., Горбаткина Ю.А., Куперман А.М. Определение энергии межслойного разрушения стеклопластика на образцах в виде сегментов кольца // Механика композитных материалов. 2003. Т. 38, № 5. С. 615—626.
- 14.Солодилов В.И., Корохин Р.А., Горбаткина Ю.А., Куперман А.М. Органопластики на основе сложных гибридных матриц, включающих в качестве модификаторов эпоксидных смол полисульфон и углеродные нанотрубки // Химическая физика. 2012. Т. 3, №6. С. 63–71.
- 15.Солодилов В.И., Горбаткина Ю.А., Корохин Р.А., Куперман А.М. Свойства намоточных органопластиков на основе эпоксисульфоно-

- вых матриц и парамидных волокон Армос и Русар // Клеи. Герметики. Технологии. 2018. №2. С. 2–7.
- 16.Solodilov V.I., Gorbatkina Yu.A., Korokhin R.A., Kuperman A.M. Properties of filament-wound organoplastics based on epoxy polysulfone matrices and Armos and Rusar aramid fibers // Polymer Science. 2018. Series D. Vol. 11, issue 3. Pp. 247–251.
- 17.Солодилов В.И., Бессонов И.В., Кирейнов А.В., Тараскин Н.Ю., Куперман А.М. Свойства стеклопластиков на основе эпоксидного связующего, модифицированного фурфуролацтоновой смолой и полисульфоном // Композиты и наноструктуры. 2016. Т.8, №2. С.77–87.
- 18. Solodilov V.I., Korokhin R.A., Gorbatkina Yu.A., Kuperman A.M. Comparison of structure energies of epoxy-polysulfone matrices and unidirectional composites based on them // Mechanics of Composite Materials. 2015. V. 51, №2. Pp. 177–190.
- 19.Korokhin R.A., Solodilov V.I., Gorbatkina Yu.A., Shapagin A.V. Rheological and physicomechanical properties of epoxy-polyetherimide compositions // Mechanics of Composite Materials. 2015. V. 51, №3. Pp. 313–320.
- 20.Korokhin R.A., Solodilov V.I., Gorbatkina Yu.A., Kuperman A.M. Carbon nanotubes as modifiers for epoxypolysulfone matrices for wound organic fiber reinforced plastics // Mechanics of Composite Materials. 2013. V. 49, №1. Pp. 51–58.
- 21. Дементьева Л.А., Куцевич К.Е., Лукина Н.Ф., Рубцова Е.В., Петрова А.П. Свойства эпоксидных конструкционных пленочных клеев, модифицированных полисульфоном // Клеи. Герметики. Технологии. 2016. №11. С. 13–18.
- 22. Кочергин Ю.С., Григоренко Т.И., Золотарева В.В. Свойства композиционных материалов на основе смесей эпоксидных полимеров и олигосульфонов. Часть 1. Термомеханические свойства // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2018. № 5. С. 66–77.
- 23. Кочергин Ю.С., Григоренко Т.И., Золотарева В.В. Свойства композиционных материалов на основе смесей эпоксидных полимеров и олигосульфонов. Часть 2. Статические и динамические релаксационные свойства // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2019. № 6. С. 140–146.
- 24. Кочергин Ю.С., Золотарева В.В. Свойства композиционных материалов на основе смесей эпоксидных полимеров и олигосульфонов. Часть 3. Физико-механические свойства // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2019. № 11. С. 101—111.
- 25. Аскадский А.А., Матвеев Ю.И. Химическое строение и физические свойства полимеров. М.: Химия, 1983. 248 с.

Информация об авторах

Кочергин Юрий Сергеевич, доктор технических наук, профессор кафедры общеинженерных дисциплин. E-mail: ivano.tanya2011@yandex.ua. Донецкий национальный университет экономики и торговли имени Михаила Туган-Барановского. Украина, 83117, Донецк, ул. Щорса, 31.

Григоренко Татьяна Ильинишна. Донецкий национальный университет экономики и торговли имени Михаила Туган-Барановского. Украина, 83117, Донецк, ул. Щорса, 31.

Золотарева Виктория Владимировна, кандидат технических наук, доцент кафедры товароведения и экспертизы непродовольственных товаров E-mail: viktoria802@gmail.com. Донецкий национальный университет экономики и торговли имени Михаила Туган-Барановского» Украина, 83117, Донецк, ул. Щорса, 31.

Поступила 26.01.2020 г.

© Кочергин Ю.С., Григоренко Т.И., Золотарева В.В., 2020

*Kochergin Y.S., Grigorenko T.I., Zolotareva V.V.

Donetsk National University of Economics and Trade named after Mikhail Tugan-Baranovsky Ukraine, 83117, Donetsk, st. Shchorsa 31
*E-mail: viktoria802@gmail.com

PROPERTIES OF COMPOSITE MATERIALS BASED ON MIXTURES OF EPOXY POLYMERS AND OLIGOSULFONES. PART 4. ADHESION PROPERTIES

Abstrsct. The influence of oligosulfons with terminal carboxyl and phenolic groups and a molecular weight from 1200 to 44500 on the adhesion properties of epoxy polymers during the shift and separation of adhesive compounds is studied. It is shown that modification leads to the formation of systems characterized by improved adhesion properties, especially at elevated test temperatures. It is established that there is an optimal range of concentrations and molecular weights of oligosulfons (approximately from 2000 to 20000), which provides the maximum effect of modification. It is assumed that the oligosulfon's particles formed in the epoxy matrix with a small molecular weight have dimensions and volume that are insufficient to be an effective barrier to the propagation of a possible crack in the polymer. At the same time, an oligosulfon with a large molecular weight is able to include a certain part of the epoxy resin in its volume. This leads to a relative decrease in the composition of the share of the epoxy component, which largely determines the adhesion to the material to be bonded. It is shown that the magnitude of the modification effect practically does not depend on the nature of the end groups. The maximum set of properties is realized for oligosulfones with terminal carboxyl groups and a molecular weight in the range from 2500 to 4700, when the concentration of 3–10 mass parts on 100 mass parts epoxy oligomer. For oligosulfone with terminal carboxyl groups and a molecular weight of 4700 at a concentration of 10 mass parts manages to increase adhesive strength at a shear of 1.47 and 3,58 times and tensile strength of 1,39 and 5,08 times, respectively, at test temperatures of 293 and 423 K. The research results allow to recommend epoxy-oligosulfone mix to design of structural adhesives, operable in a wide temperature range.

Keywords: epoxy resin, hardener, oligosulfones, terminal carboxyl and phenolic groups, modification, adhesion properties.

REFERENCES

- 1. Raghava R.S. Secondary transitions and fracture toughness of cured epoxy resins and their blends with polyethersulfones. 28th Nat. SAMPE Symp. and Exhib., 1983. Vol. 28. Pp. 367–373
- 2. Buckall C.B., Partridge I.K. Addition of polyethersulphone to epoxy resins. Brit. Polym. J., 1983. Vol. 15, No. 1. Pp. 71–75.
- 3. Ibrahim A.M., Quinlivan T.J., Seferis J.C. Processing of polyethersulfone reinforced high performance epoxy blends. Amer. Chem. Soc. Polym. Prepr., 1985. Vol. 26, No. 1. Pp. 277–278
- 4. Gorbunova I. Yu., Kerber M. L., Shustov M. V. Features of behavior of epoxy binders modified by thermoplastics [Osobennosti ovedeniya ehpoksidnyh svyazuyushchih modificirovannyh termoplastom]. Plast. Masses. 2003. No. 12. Pp. 38–41. (rus)
- 5. Gorbatkina Yu.A. The influence of modifiers on adhesion properties of polymer compositions. Part 1. Common views [Vliyanie modifikatorov na adgezionnye svojstva polimernyh kompozicij. Chast.1. Obshchie predstavleniya]. Glues. Sealants. Technologies, 2004. No. 4. Pp. 18–24. (rus)
- 6. Gorbatkina Yu.A. The influence of modifiers on adhesion properties of polymer compositions.

- Part 2. Epoxy oligomers (end) [Vliyanie modifikatorov na adgezionnye svojstva polimernyh kompozicij. Chast. 2. Ehpoksidianovye oligomery (okonchanie)]. Glues. Sealants. Technologies, 2004. No. 5. Pp. 24–29. (rus)
- 7. Solodilov V.I., Gorbatkina Yu.A. Properties of unidirectional GFRPs based on an epoxy resin modified with polysulphone or an epoxy oligomer. Mechanics of Composite Materials, 2006. Vol. 73, No. 5. Pp. 513–526.
- 8. Gorbunova I.Yu., Shustov M.V., Kerber M.L. The influence of thermoplastic modifiers on properties and curing process of epoxy polymers [Vliyanie termoplastichnyh modifikatorov na svojstva i process otverzhdeniya ehpoksidnyh polimerov]. Engineering-physical Journal, 2003. Vol. 6, No. 3. Pp. 1–4. (rus)
- 9. Sopotov R.I., Gorbunova I.Y. Study of the influence of the content of thermoplastic modifiers and curing regime on the toughness of epoxy-amine binder [Izuchenie vliyaniya soderzhaniya termoplastichnyh modifikatorov i rezhima otverzhdeniya na udarnuyu vyazkost ehpoksiaminnogo svyazuyushchego]. Successes in chemistry and chemical technology, 2013. Vol. 27, No. 3(143). Pp. 101–103. (rus)
- 10. Chalykh A.E., Gerasimov V.K.. Phase equilibrium and phase structure of polymer mixtures [Fazovye ravnovesiya i fazovaya struktura smesej polimerov]. Advances in chemistry, 2004. Vol. 73, No. 1. Pp. 63–78. (rus)
- 11.Chalykh A.E., Gerasimov V.K., Bukhteev A.E. Compatibility and the evolution of the phase structure of blends of polysulfone curing epoxy resins [Sovmestimost i ehvolyuciya fazovoj struktury smesej polisulfon-otverzhdayushchiesya ehpoksidnye oligomery]. High-molecular compounds. Ser. A, 2003. Vol. 45, No. 7. Pp. 1148–1159. (rus)
- 12. Solodilov V.I., Gorbatkina Yu.A. Properties of unidirectional fiberglass based on epoxy resin modified with polysulfone or epoxyurethane oligomer [Svojstva odnonapravlennyh stekloplastikov na osnove ehpoksidnoj smoly modificirovannoj polisulfonom ili ehpoksiuretanovym oligomerom]. Mechanics of composite materials, 2006. Vol. 42, No. 6. Pp. 739–758. (rus)
- 13. Solodilov V.I., Bazhenov S.L., Gorbatkina Yu.A., Kuperman AM. Determination of energy of interlaminar fracture of glass on the samples in the form of segments of rings [Opredelenie ehnergii mezhslojnogo razrusheniya stekloplastika na obrazcah v vide segmentov kolca]. Mechanics of composite materials, 2003. Vol. 38, No. 5. Pp. 615–626. (rus)
- 14.Solodilov V.I., Korokhin R.A., Gorbatkina Yu.A., Kuperman A.M. Organoplastic on the basis

- of a complex hybrid matrix, such as modifiers of epoxy resins polysulfone and carbon nanotubes [Organoplastiki na osnove slozhnyh gibridnyh matric vklyuchayushchih v kachestve modifikatorov ehpoksidnyh smol polisulfon i uglerodnye nanotrubki]. Chemical physics, 2012. Vol. 3, No. 6. Pp. 63–71. (rus)
- 15. Solodilov V.I., Gorbatkina Yu.A., Korokhin R.A., Kuperman A.M. Properties of filament-wound organoplastics based on epoxy polysulfone matrices and Armos and Rusar aramid fibers [Svojstva namotochnyh organoplastikov na osnove ehpoksisulfonovyh matric i paramidnyh volokon Armos i Rusar]. Glues. Sealants. Technologies, 2018. No. 2. Pp. 2–7. (rus)
- 16.Solodilov V.I., Gorbatkina Yu.A., Korokhin R.A., Kuperman A.M. Properties of filament-wound organoplastics based on epoxy polysulfone matrices and Armos and Rusar aramid fiber Polymer Science, Ser. D, 2018. Vol.11, No. 3. Pp. 247–251.
- 17.Solodilov V.I., Bessonov I.V., Kuranov A.V., Taraskin N.Yu., Kuperman, A. M., Properties of glass-reinforced plastics based on epoxy resins modified with furfuralcohol resin and polysulfone [Svojstva stekloplastikov na osnove ehpoksidnogo svyazuyushchego modificirovannogo furfurolactonovoj smoloj i polisulfonom]. Composites and nanostructures, 2016. Vol. 8, No. 2. Pp. 77–87. (rus)
- 18.18. Solodilov V.I., Korokhin R.A., Gorbatkina Yu.A., Kuperman A.M. Comparison of structure energies of epoxy-polysulfone matrices and unidirectional composites based on them. Mechanics of Composite Materials, 2015. Vol. 51, No.2. Pp.177–190.
- 19.Korokhin R.A., Solodilov V.I., Gorbatkina Yu.A., Shapagin A.V. Rheological and physicomechanical properties of epoxy-polyetherimide compositions. Mechanics of Composite Materials, 2015. Vol. 51, No.3. Pp.313–320.
- 20.Korokhin R.A., Solodilov V.I., Gorbatkina Yu.A., Kuperman A.M. Carbon nanotubes as modifiers for epoxypolysulfone matrices for wound organic fiber reinforced plastics. Mechanics of Composite Materials, 2013. Vol. 49, No.1. Pp.51–58.
- 21.Dementieva L.A., Kuntsevich K.E., Lukina N.F., Rubtsova E.V., Petrova A.P. Properties of epoxy structural film adhesives modified with polysulfone[Svojstva epoksidnyh konstrukcionnyh plenochnyh kleev, modificirovannyh polisul'fonom]. Glues. Sealants. Technologies. 2016. No. 11. Pp. 13–18. (rus)
- 22.Kochergin Yu.S., Grigorenko T.I., Zolotareva V.V. Properties of composite on the basis of mixtures of epoxy polymers and oligosulfones. Part 1. Thermomechanical properties [Svojstva kompozicionnyh materialov na osnove

smesej ehpoksidnyh polimerov i oligosulfonov. Chast 1. Termomekhanicheskie svojstva]. Bulletin of BSTU named after V. G. Shukhov, 2018. No. 5. Pp. 66–77. (rus)

23.Kochergin Yu.S., Grigorenko T.I., Zolotareva V.V. Properties of composite on the basis of mixtures of epoxy polymers and oligosulfones. Part 2. Static and dynamic relaxation properties [Svojstva kompozicionnyh materialov na smesei ehpoksidnyh polimerov oligosulfonov. Staticheskie Chast 2. dinamicheskie relaksacionnye svojstva]. Bulletin of BSTU named after V. G. Shukhov, 2019. No. 6. Pp. 140–146. (rus)

Yu.S., Zolotareva V.V. 24.Kochergin Properties of composite on the basis of mixtures of epoxy polymers and oligosulfones. Part 3. Physicomechanical properties [Svojstva kompozicionnyh materialov na osnove smesej ehpoksidnyh polimerov i oligosulfonov. Chast 3. Fizikomekhanicheskie svojstva]. Bulletin of BSTU named after V. G. Shukhov, 2019. No. 11. Pp. 101-111. (rus)

25. Askadsky A.A., Matveev Yu.I. Chemical structure and physical properties of polymers [Himicheskoe stroenie i fizicheskie svojstva polimerov]. Moscow: Chemistry, 1983. 248 p. (rus)

Information about the authors

Kochergin, Yuri S. PhD, Professor. E-mail: ivano.tanya2011@yandex.ua. Donetsk National University of Economics and Trade named after Mikhail Tugan-Baranovsky Ukraine, 83117, Donetsk, st. Shchorsa 31

Grigorenko, Tat'yana I. Donetsk National University of Economics and Trade named after Mikhail Tugan-Baranovsky Ukraine, 83117, Donetsk, st. Shchorsa 31.

Zolotareva, **Victoriya V.** PhD, Assistant professor. E-mail: viktoria802@gmail.com Donetsk National University of Economics and Trade named after Mikhail Tugan-Baranovsky Ukraine, 83117, Donetsk, st. Shchorsa 31.

Received 26.01.2020

Для цитирования:

Кочергин Ю.С., Григоренко Т.И., Золотарева В.В. Свойства композиционных материалов на основе смесей эпоксидных полимеров и олигосульфонов. Часть 4. Адгезионные свойства // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2020. № 4. С. 84–93. DOI: 10.34031/2071-7318-2020-5-4-84-93

For citation:

Kochergin Y.S., Grigorenko T.I., Zolotareva V.V. Properties of composite materials based on mixtures of epoxy polymers and oligosulfones. Part 4. Adhesion properties. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2020. No. 4. Pp. 84–93. DOI: 10.34031/2071-7318-2020-5-4-84-93

МАШИНОСТРОЕНИЕ И МАШИНОВЕДЕНИЕ

DOI: 10.34031/2071-7318-2020-5-4-94-100

1,*Богданов В.С., ¹Анциферов С.И., ¹Богданов Д.В.,² Vöth S, ¹Кулаков Л.С. ¹Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова ²Technische Hochshule Georga Agricola *E-mail: v.bogdanov1947@gmail.com

МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ КОНСТРУКЦИИ АЭРАЦИОННОГО УСТРОЙСТВА НА РАЗГРУЗКУ ПНЕВМОКАМЕРНОГО НАСОСА

Аннотация. Невозможно представить технологический процесс производства строительных материалов, сухих строительных смесей, железобетонных изделий без важной технологической операции транспортирования порошковых материалов. Для транспортирования порошковых сыпучих материалов большое распространение получили пневмокамерные насосы и является обязательным элементом в комплектации бетонных заводов и другого смесительного оборудования Они обладают такими преимуществами как, возможность полной автоматизации работы, надежная защита от атмосферных воздействий и необходимые санитарно-гигиенические условия труда. Поэтому в сложившейся ситуации для транспортирования все чаще используют пневмокамерные насосы. Сжатый воздух по трубопроводу поступает в камеру насоса. Происходит насыщение сыпучего материала воздухом, полученная аэрированная смесь под действием избыточного давления попадает в трубопровод и транспортируется в заданном направлении. Недостатком пневмокамерных насосов является повышенный расход сжатого воздуха при транспортировании. Для снижения расхода воздуха применяют различные аэрационные устройства. В настоящее время на этапе моделирования для определения эффективности разработанного аэрационного устройства используют современное программное обеспечение. Рассмотрено влияние скорости воздушного потока на разгрузку пневмокамерного насоса. Предложено конструктивное решение для аэрационного устройства пневмокамерного насоса ТА-29.

Ключевые слова: пневмокамерный насос, аэрационное устройство, сжатый воздух, транспортирование.

Введение. Пневмотранспорт используется для смешения, дозировки, перемещения сыпучих материалов по сложной траектории и на значительные высоты. Он обладает такими преимуществами как забор материала из различных средств доставки и труднодоступных мест, выдачу его в различных точках, надежная защита от атмосферных воздействий и необходимые санитарногигиенические условия труда обслуживающего персонала. Пневмокмаерные насосы отличаются простотой эксплуатации, легкостью управления, возможностью автоматизации процесса транспортирования и использования дистанционного управления.

Основными недостатками пневмокамерных насосов являются высокий удельный расход воздуха на тонну перемещаемого материала, износ трубопроводов и других частей установок, соприкасающихся с транспортируемым материалом [1]. Целью работы является и подбор рационального диаметра сопел аэрационного устройства.

Принципиальная схема пневмокамерного насоса. Действие насоса основано на вытеснении материала энергией сжатого воздуха, подавае-

мого в камеру насоса под давлением. Производительность систем с пневмокамерным насосом достигает 150 т/ч, а дальность транспортировки – до 3,5 км [2]. Вертикальные пневмокамерные насосы имеют более высокую производительность и стабильность работы [3]. В зависимости от направления разгрузки вертикальные насосы подразделяют на устройства с нижней и верхней (рис. 1.) разгрузкой.

Пневмокамерный насос состоит из корпуса 1, дисковой задвижки 2, загрузочного клапана 3, входного клапана 4, клапана выпуска воздуха 5, датчика уровня 6, трубопровода 7, аэрационного устройства 8, сопел 9, конфузора 10, трубы выдачи 11. Транспортируемый материал загружаются в камеру через загрузочный клапан 3 [4].

Принцип работы пневмокамерного насоса. В корпус 1 загружается порошковый материал через дисковую задвижку 2 и открытый загрузочный клапан 3. При этом входной клапан 4 закрыт, а подача сжатого воздуха происходит при открытом клапане 5. При наборе в камере определенного уровня материала, срабатывает датчик уровня 6, выдавая сигнал на закрытие клапана 5 выпуска воздуха, закрывается дисковая задвижка 2 загрузочного клапана 3. Для подачи сжатого

воздуха открывается входной клапан 4. Сжатый воздух нагнетается в аэрационное устройство 8, который с помощью сопел 9, позволяет создать в нижней части камеры псевдожиженный слой материала. Увеличение избыточного давления воздуха в корпусе 1 способствует разгрузке пылевоздушной смеси и направляет ее через конфузор 10 в трубу выдачи 11 для выдачи аэрированного порошкового материала. После разгрузки материала закрывается входной клапан 4 сжатого воздуха и открывается клапан 5 выпуска сжатого воздуха, потом открывается дисковая задвижка 2 и загрузочный клапан 3 [5]. Затем цикл повторяется.

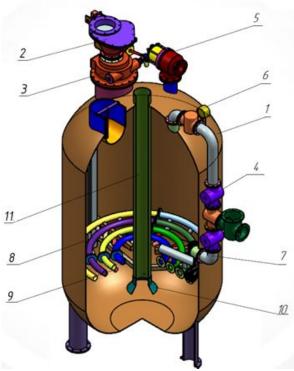


Рис. 1. Пневмокамерный насос ТА-29: 1 – корпус насоса; 2 –дисковая задвижка; 3 –загрузочный клапан; 4 – входной клапан; 5 – клапан выпуска воздуха; 6 – датчик уровня; 7 – трубопровод; 8 – аэрационное устройство; 9 – сопло; 10 – конфузор; 11 – труба выдачи

При разгрузке пневмокамерного насоса изза разности скоростей воздушного потока из сопел 9 аэрационного устройства 8, в разгрузочной трубе воздушный поток смещается ближе к стенке из-за чего снижается скорость потока, повышается абразивное воздействие транспортируемого материала. При достаточных скоростях транспортного агента (режим а) твердые частицы распределяются равномерно по сечению трубы, но при снижении скорости воздушного потока происходит образование участков скопления материала сначала в виде лент (режим б), а затем и труднопроходимых узлов (режим в). В случае снижения скорости потока ниже скорости витания одной частицы наступает частичная блокировка материалопровода (режим г). Целью моделирования была поставлена задача максимально сравнять скорости воздушного потока из сопел 9.

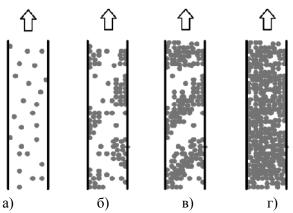


Рис. 2. Состояния аэрированного порошкового материала при вертикальной транспортировке снизу-вверх:

а) свободный унос; б) образование лент; в) образование дюн; г) образование перемычек (частичная блокировка)

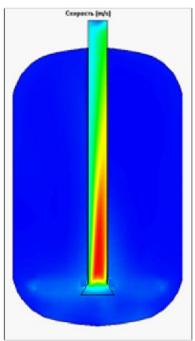


Рис. 3. Влияние разности скоростей воздушного потока на разгрузку

Технологические параметры, принятые для моделирования. Для проектирования, прочностных расчетов, симуляции движения воздушных потоков в настоящее время используют современные программные продукты, позволяющие на этапе моделирования цифровой модели определить технологические характеристики разрабатываемого устройства [6, 7]. При определении скорости движения воздушных потоков в аэрационном устройстве был использован мо-

дуль SolidWorks Flow Simulation. Для моделирования процесса разгрузки был выбран пневмокамерный насос ТА-29.

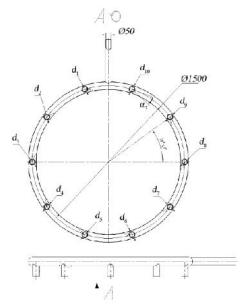


Рис. 4. Схема расположения сопел аэрационного устройства



Рис. 5. Модель аэрационного устройства

В процессе решения поставленной задачи была использована схема расположения сопел приведена на рис. 4. Исходные данные: Диаметр кольца трубопровода $\emptyset1500$ мм, условный проход кольца трубопровода $\emptyset65$ мм, условный проход патрубка подачи воздуха $\emptyset50$ мм, диаметр сопел d1... $d10 = \emptyset50$ мм, скорость подачи воздуха 40 м/с, давление сжатого воздуха 0.35 МПа, угол между ближайшими соплами $\alpha=36^{\circ}$ [8].

Моделирование. Для моделирования движения воздушных потоков при разгрузке пневмокамерный насос состоит из корпуса, разгрузочной трубы и аэрационного устройства с соплами [9]. Первым шагом были заданы границы расчетной зоны, включающие внутренний объем корпуса насоса, аэрационное устройство и трубу выдачи порошкового материала. Следующим шагом были заданы граничные условия, определяющие давление окружающей среды, скорость воздушного потока в патрубке подачи сжатого воздуха аэрационного устройства давление сжатого воздуха. Результаты расчетов представлены в табл. 1.

На рис. 6 представлены результаты расчета скоростного режима движения сжатого воздуха в аэрационном устройстве, полученное с помощью программного продукта SolidWorks. В рассматриваемом варианте диаметры всех сопел были равными и составляли 50 мм [10, 11, 12]. Внутренний диаметр кольцевой трубы был равен 65 мм, а диаметр кольца 1500 мм. Давление сжатого воздуха в подводящем трубопроводе 1 составляло 0,35 МПа.

Таблица 1
Результаты моделирования при постоянном сечении сопел аэрационного устройства

Пара- метры	Значения									
	d1	d2	d3	d4	d5	d6	d7	d8	d9	d10
Ø, мм	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
v, m/c	2,82	2,94	3,64	5,16	6,48	6,51	5,01	3,85	3,66	2,94

Установлено, что при таком конструктивном решении максимальная скорость воздуха 40 м/с наблюдается у выхода из трубы 1, затем воздушный поток ударяется о стенку кольцевого трубопровод 2 и его скорость снижается до 18–23 м/с. У выхода из сопел d1, d10 она равна около 14 м/с. Далее воздушный поток перемещается в направлении от сопла d1 к соплу d2 и от сопла d10 к соплу d9 его скорость снижается до 9–11 м/с. Скорость воздуха на участках от сопла d3 к соплу d4 и от сопла d8 к соплу d7 снижается до 4 м/с. На участке кольцевой трубы от сопла d4 до сопла

d7 расчетная скорость воздушного потока снижается до 3 м/с.

Таким образом, при выбранном конструктивном решении, когда диаметр выходных отверстий сопел одинаковый (50 мм) скорость сжатого воздуха сопел снижается от 6,8 до 2,8 м/с, уменьшается в 2,4 раз. Это приводит к тому, что расход воздуха из сопел d4, d5, d6, d7 существенно выше (до 2,4 раз), чем через сопла d1, d2, d3, d8, d9, d10. В результате этого аэрация порошкового материала в корпусе пневмокамерного насоса происходит неравномерно, циклически, что приводит, в

отдельных случаях, к закупориванию трубы выдачи и снижению производительности насоса.

Анализируя данные табл. 1, полученные в ходе моделирования можно заметить, что сопла равноудаленные от патрубка подачи воздуха имеют незначительное расхождение скорости воздушного потока. Скорость воздуха в соплах при их одинаковом диаметре уменьшается в зависимости от их расположения по отношению к трубе 1 подача сжатого воздуха. Для усреднения скорости в соплах можно либо увеличить диаметр кольцевого трубопровода или изменить диаметр сопел. Увеличение диаметра кольцевого трубопровода приведет к увеличению расхода сжатого воздуха. Поэтому было принято решение на основе полученных данных из таблицы 1 и рисунка 5 изменить диаметры сопел для выравнивания скорости сжатого воздушного потока.

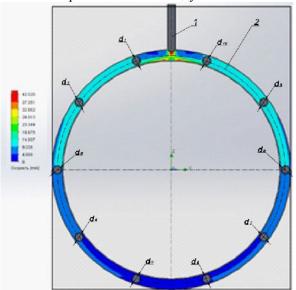


Рис. 6. Распределение воздушного потока в аэрационном устройстве: 1 — подводящий трубопровод; 2 — кольцевой трубопровод

В данном случае необходимо учесть то, что скорость движения сжатого воздуха по кольцевой трубе снижается, в связи с его истечением из

сопел d1, d2, d3, d4, d5, расположенных по ходу движения сжатого воздуха, необходимо рассчитать диаметры сопел таким образом, чтобы расход воздуха через них был одинаковым.

Поскольку скорость сжатого воздуха из сопел d4, d5, d6, d7 больше, чем из сопел d1, d2, d3, d8, d9, d10, то для обеспечения равного расхода сжатого воздуха через все сопла диаметр сопел d1, d2, d3, d8, d9, d10 должен быть меньше, чем сопел d4, d5, d6, d7 пропорционально скорости воздуха из них. Например, скорость воздуха сопла d6 равна около 6,5 м/c, а в зоне сопла d1 она составляет 2,8 м/с, следовательно, диаметр сопла d1 должен быть меньше диаметра сопла d6 примерно в 2,4 раза. При равном диаметре сопел d6 и d1 (50 мм) и скоростях, соответственно, 6,5 м/с и 2,8 м/с расход воздуха через сопло d6 будет равен 46 м 3 /ч, а через сопло d1 – 20 м 3 /ч, то есть в 2,3 раза меньше. Безусловно такой режим расхода воздуха через сопла не обеспечит равномерной аэрации порошкового материала в камере насоса.

Если выполнить диаметры сопел d1 и d6 в соответствии со скоростями режимов истечения, то, например, диаметр сопла должен быть d1 равен 32 мм, а сопла d6 – 50 мм. С учетом того, что расход воздуха из сопла d1 равна 21 м³/ч, а из сопла d6 – 40 м³/ч. Скорость сжатого воздуха из сопла d1 будет равна – 6.0 м/с, а из сопла d6 – 6.5 м/с. Было принято решение использовать при моделировании диаметры сопел d1, d10 равные 32 мм, а d2, d9 равные 40 мм.

Результаты моделирования представлены в таблице 2 и на рис. 7 и 8. Из рисунка 6 следует, что распределение воздушного потока по трубопроводу 2 изменилось незначительно. Скорость сжатого воздуха из сопел d1, d2, d3, d4, d5 имеет близкие значения к средней скорости равной 5,7 м/с. Величины скорости сжатого воздуха из сопел d10, d9, d8, d7, d6 и d1, d2, d3, d4, d5 имеют расхождение в пределах 5 %.

Таблица 2 Влияние диаметра сопел на скорость аэрационного устройства

Пара-	Значения									
метры	d1	d2	d3	d4	d5	d6	d7	d8	d9	d10
Ø, mm	32	40	50	50	50	50	50	50	40	32
v, m/c	6,2	5,8	4,9	5,7	6,6	6,8	5,8	4,8	5,7	6,5

Таким образом, мы обеспечиваем равную скорость сжатого воздуха из всех сопел и, естественно равномерную аэрацию пылевоздушной смеси и стабильную работу пневмокамерного насоса. Из этого следует, что диаметр всех сопел

в аэрационном устройстве не должен быть одинаковым, он должен учитывать скорость сжатого воздуха в зоне установки каждого сопла, чтобы обеспечить одинаковую скорость сжатого воздуха из сопел.

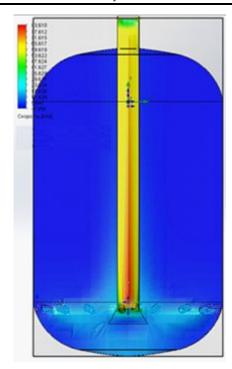


Рис. 7. Результаты моделировани движения воздушного потока в корпусе

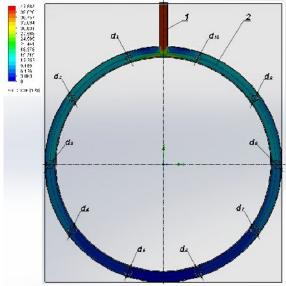


Рис. 8. Результаты моделировани движения воздушного потока в аэрационном устройстве

Вывод. Снижение скорости в разгрузочной трубе ниже скорости витания частицы может привести к закупорке разгрузочной трубы, снижению производительности, повышенному абразивному износу, повышению расхода сжатого воздуха. Поэтому обеспечение равномерной аэрации пылевоздушной смеси в пневмокамерном насосе является актуальной проблемой энергосбережения. Для представленной конструкции были подобраны диметры сопел аэрационного устройства с помощью программного продукта SolidWorks. Решение подобных задач еще на этапе проектирования позволит сократить сроки испытания оборудования, повысить технические

характеристики оборудования, что в конечном счете повысит конкурентоспособность продукции.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- 1. Nakagawa J., Tanabe S. Residential pneumatic floor-heating system using phase-change material // Journal of Environmental Engineering. 2019. Vol. 84. №. 757. Pp. 271–280.
- 2. Deng X., Dong J., Wang Z., Tu J. Numerical analysis of an annular water-air jet pump with self-induced oscillation mixing chamber // Journal of Computational Multiphase Flows. 2017. Vol. 9. №. 1. Pp. 47-53.
- 3. Богданов В.С., Лозовая С.Ю., Фадин Ю.М., Гавриленко А.В., Кулаков Л.С., Гавшин А.П. Исследование мультисоплового аэрационного устройства в пневмокамерном насосе // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2017. № 8. С. 145–148.
- 4. Bogdanov V.S. Research of influence of the main parameters on the capability of the pneumatic chamber pump with multijet aeration unit // International Journal of Pharmacy & Technology. 2016. Vol. 8. №. 4. Pp. 24669–24680.
- 5. Rodionov G.A., Buhmirov V.V. Energy efficiency improvement systems with pneumatic chamber pump // EPJ Web of Conferences. 2016. Vol. 110. 01066.
- 6. Liao Y., Shu C., Liao Q., Wei Y., Wang L., Wang D., Zheng J. Air pressure stabilizing method and experiment of pneumatic seed-metering system of precision rapeseed planter // Nongye Gongcheng Xuebao/Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering. 2016. Vol. 33. №. 15 Pp. 49–56.
- 7. Lukianov E.S., Lozovaya S.Y., Lozovoy N.M. Modeling of thermal mode of drying special purposes ceramic products in batch action chamber dryers // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2018. Vol. 327. 2. 022043.
- 8. Cavazutti M., Corticelli M.A., Karayiannis T.G. Compressible Fanno flows in micro-channels: An enhanced quasi-2D numerical model for laminar flows // Thermal Science and Engineering Progress. 2019. Vol. 10. Pp. 10–26.
- 9. Rogovyi A. Energy performances of the vortex chamber supercharger // Energy. 2018. Vol. 163. Pp. 52–60.
- 10.Gebhart T.E., Shiraki D., Baldzuhn J., Baylor L.R., Meitner S.J. Design and modeling of vacuum pumping for steady-state pellet fueling systems // Fusion Science and Technology. 2019 Vol. 75. №. 2. Pp. 89–97.
- 11.Karan P., Chakraborty J., Chakraborty S. Small-scale flow with deformable boundaries // Journal of the Indian Institute of Science. 2018. Vol. 98. № 2. Pp. 159–183.

12.He W., Wang J. Optimal selection of air expansion machine in Compressed Air Energy Storage:

A review Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2018. Vol. 87. Pp. 77–95.

Информация об авторах

Богданов Василий Степанович, доктор технических наук, заведующий кафедры механического оборудования. E-mail: v.bogdanov1947@gmail.com. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Анциферов Сергей Игоревич, кандидат технических наук, доцент кафедры механического оборудования. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Богданов Денис Васильевич, кандидат технических наук, доцент кафедры механического оборудования. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Vöth Stefan, доктор технических наук, профессор кафедры материаловедения и технологии материалов. E-mail: Stefan.Voeth@thga.de. Technische Hochschule Georg Agricola. Germany, 44787, Bochum, Herner Str. 45

Кулаков Леонид Сергеевич, аспирант. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Поступила 27.01.2020

© Богданов В.С., Анциферов С.И., Богданов Д.В., Vöth S, Кулаков Л.С., 2020

^{1,*}Bogdanov V.S., ¹Anciferov S.Ig., ¹Bogdanov D.V., ²Vöth S., ¹Kulakov L.S.

¹Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov Russia, 308012, Belgorod, Kostukova st., 46 ²Technische Hochshule Georga Agricola Germany, 44787, Bochum, Herner Str. 45 *E-mail: v.bogdanov1947@gmail.com

MODELING THE INFLUENCE OF THE DESIGN OF THE AERATION DEVICE ON THE UNLOADING OF THE AIR PUMP

Abstract. It is impossible to imagine the technological process of production of building materials, dry building mixes, reinforced concrete products without an important technological operation of transporting powder materials. Pneumatic chamber pumps are widely used for transporting powder bulk materials and are a mandatory element in the configuration of concrete plants and other mixing equipment. Their advantages are the possibility of full automation of work, reliable protection from atmospheric influences and the necessary sanitary and hygienic working conditions. Therefore, pneumatic chamber pumps are increasingly used for transportation. Compressed air is piped into the pump chamber. The bulk material is saturated with air, the resulting aerated mixture under the influence of excess pressure enters the pipeline and is transported in the specified direction. The disadvantage of pneumatic chamber pumps is the increased consumption of compressed air during transportation. To reduce air consumption, various aeration devices are used. Currently, at the modeling stage, modern software is used to determine the effectiveness of the developed aeration device. The influence of the air flow velocity on the discharge of a pneumatic chamber pump is considered. A design solution for the aeration device of the TA-29 pneumatic chamber pump is proposed.

Keywords: pneumatic chamber pump, aeration device, compressed air, transportation.

REFERENCES

- 1. Nakagawa J., Tanabe S. Residential pneumatic floor-heating system using phase-change material. Journal of Environmental Engineering (Japan). 2019. Vol. 84. No. 757. Pp. 271–280.
- 2. Deng X., Dong J., Wang Z., Tu J. Numerical analysis of an annular water-air jet pump with self-induced oscillation mixing chamber. Journal of
- Computational Multiphase Flows. 2017. Vol. 9. No. 1. Pp. 47–53.
- 3. Bogdanov V.S., Lozovaya S.Yu., Fadin Yu.M., Gavrilenko A.V., Kulakov S.L., Gavshin A.P. Research of the aeration device in the pneumatic chamber pump [Issledovanie mul'tisoplovogo aeracionnogo ustrojstva v pnevmokamernom nasose]. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2017. No. 8. Pp. 145–148. (rus)

- 4. Bogdanov V.S. Research of influence of the main parameters on the capability of the pneumatic chamber pump with multijet aeration unit. International Journal of Pharmacy & Technology. 2016. Vol. 8. No. 4. Pp. 24669–24680.
- 5. Rodionov G.A., Buhmirov V.V. Energy efficiency improvement systems with pneumatic chamber pump. EPJ Web of Conferences. 2016. Vol. 110. 01066.
- 6. Liao Y., Shu C., Liao Q., Wei Y., Wang L., Wang D., Zheng J. Air pressure stabilizing method and experiment of pneumatic seed-metering system of precision rapeseed planter. Nongye Gongcheng Xuebao/Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering. 2016. Vol. 33. No. 15. Pp. 49–56.
- 7. Lukianov E.S., Lozovaya S.Y., Lozovoy N.M. Modeling of thermal mode of drying special purposes ceramic products in batch action chamber dryers IOP Conference Series: Materials Science and Engineering 2018 Vol. 327. 2. 022043.

- 8. Cavazutti M., Corticelli M.A., Karayiannis T.G. Compressible Fanno flows in micro-channels: An enhanced quasi-2D numerical model for laminar flows. Thermal Science and Engineering Progress. 2019. Vol. 10. Pp. 10–26.
- 9. Rogovyi A. Energy performances of the vortex chamber supercharger. Energy. 2018. Vol. 163. Pp. 52–60.
- 10.Gebhart T.E., Shiraki D., Baldzuhn J., Baylor L.R., Meitner S.J. Design and modeling of vacuum pumping for steady-state pellet fueling systems. Fusion Science and Technology. 2019. Vol. 75. No. 2. Pp. 89–97.
- 11.Karan P., Chakraborty J., Chakraborty S. Small-scale flow with deformable boundaries. Journal of the Indian Institute of Science. 2018. Vol. 98. No. 2. Pp. 159–183.
- 12. He W., Wang J. Optimal selection of air expansion machine in Compressed Air Energy Storage. A review Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2018. Vol. 87. Pp. 77–95.

Information about the authors

Bogdanov, Vasilij S. DSc, Professor. E-mail: v.bogdanov1947@gmail.com. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Anciferov, Sergej Ig. PhD, Assistant professor. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Bogdanov, Denis V. PhD, Assistant professor. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Vöth Stefan, DSc, Professor. E-mail: Stefan.Voeth@thga.de. Technische Hochschule Georg Agricola. Germany, 44787, Bochum, Herner Str. 45

Kulakov, Leonid S. Postgraduate student. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Received 27.01.2020

Для цитирования:

Богданов В.С., Анциферов С.И., Богданов Д.В., Vöth S, Кулаков Л.С. Моделирование влияния конструкции аэрационного устройства на разгрузку пневмокамерного насоса // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2020. № 4. С. 94–100. DOI: 10.34031/2071-7318-2020-5-4-94-100

For citation:

Bogdanov V.S., Anciferov S.Ig., Bogdanov D.V., Vöth S., Kulakov L.S. Modeling the influence of the design of the aeration device on the unloading of the air pump. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2020. No. 4. Pp. 94–100. DOI: 10.34031/2071-7318-2020-5-4-94-100

DOI: 10.34031/2071-7318-2020-5-4-101-107

*Юдин К.А., Погосбеков А.А

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова *E-mail: kyudin@mail.ru

ОСОБЕННОСТИ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРИВОДНОГО УЗЛА СМЕСИТЕЛЯ С ДВУНАПРАВЛЕННЫМ ВРАЩАТЕЛЬНЫМ ВОЗДЕЙСТВИЕМ НА МАТЕРИАЛ

Аннотация. Рассматриваются смесители периодического действия. Представлена целесообразность разработки смесителей нового типа. Особенности движения материала в смесителе позволяют говорить о наличии элементов гироскопического эффекта. Вращение смесительной камеры осуществляется посредством ременной, цепной и конической передачи. Возникающее сложное пространственное движение частиц материала можно регулировать частотным преобразователем и подбором соответствующих зубчатых колес или с применением ременной передачи привода. Представлен алгоритм моделирования приводного узла смесителя с двунаправленным вращательным воздействием на материал. Рассматриваются особенности приводного узла и его компоненты. Задачей является построение модели деформации приводного узла смесителя. Для анализа работы приводного узла смесителя используем метод конечных элементов (МКЭ). Проведены машинные эксперименты, реализующие усталостные расчеты приводного узла с исследованием в среде SolidWorks Simulation. Получены результаты статического анализа работы приводного узла при определении деформации, статического анализа работы приводного узла при определении напряжения при варьировании крутящего момента. Представлен вариант статического анализа при использовании ремённой передачи вместо зубчатой. Показана практическая реализации приводного узла смесителя в металле. Сделаны выводы по моделированию.

Ключевые слова: смеситель периодического действия, вращение камеры относительно двух взаимно перпендикулярных осей, автоматизация проектирования, приводной узел.

Введение. В современных условиях внедрение каких-либо инновационных видов оборудования предполагает предварительное исследование и апробации с помощью основ математического моделирования и соответствующего современного софта. Значительная ресурсная потребность при перемешивании материалов и разнообразие сфер применения требуют создания инновационных объектов, одним из примеров которых является смеситель с двунаправленным вращательным воздействием на материал [1].

Инновационный подход требует тщательно подходить к особенностям конструкции смесителя, с подтверждением и проверкой всех узлов предлагаемого объекта.

Основная часть. Предлагаемая патентночистая конструкция смесителя претерпела изменения, однако важнейшие элементы остались прежними. Двунаправленное вращательное воздействие на смешиваемый материал в смесителе со сферической смесительной камерой реализуется вращением водила с камерой относительно горизонтальной оси и собственно камеры относительно второй оси, перпендикулярной первой [2, 3, 4]. Компьютерная реализация конической передачи, используемой в конструкции, была приведена ранее [5]. Нами предлагается исследовать многоцикловую усталость приводного узла смесителя с двунаправленным вращательным воздействием на материал.

Конструкция предлагаемого смесителя предполагает наличие нескольких базовых узлов (сборочных единиц), существенно влияющих на его работу. Сложное двунаправленное вращательное воздействие на материал в смесительной камере сферической формы получается при правильном конструировании, в частности, приводного узла смесителя. Задачей является построение модели деформации приводного узла смесителя с двунаправленным вращательным воздействием на материал. Приводной узел состоит из следующих элементов: ступица звездочки, пыльник, вал, четыре втулки, цапфа рамки приводная, корпус, четыре гайки, колесо приводное, стакан, две шпонки.

На начальной стадии необходимо моделирование каждой детали сборки. Для каждой детали следует выбрать материал. Например, для колеса зубчатого выбираем сталь 45 ГОСТ1050-94. Затем реализуется процедура компоновки приводного узла из указанных деталей. Реализация компоновки проходит по определенным правилам. Например, можно использовать инструмент Посадка с натягом.

Усталостный расчет системы, например, вал-фланец с натягом под действием нагрузки переменного направления предполагает наличие

расчетной модели, диаграммы перемещений, напряжений и т.д. Можно реализовать восемь статических исследований.

Для анализа работы приводного узла смесителя используем популярный метод решения краевых задач в моделировании и САПР - метод конечных элементов (МКЭ).

Преимущества метода:

- 1) доступность;
- 2) применимость для задач с произвольной формой области решений;
- 3) возможность создать на основе метода высококачественные программы для ПК.

В МКЭ исходная область определения разбивается с помощью сетки, в общем случае неравномерной на отдельные подобласти – конечные элементы, т.е. искомая непрерывная функция представляется кусочно-непрерывной, определенной на множестве конечных элементов. Аппроксимация может задаваться произвольным образом, но чаще для этого используют полиномы для обеспечения непрерывности искомой функции в узлах на границах элементов.

В двумерной области определения функции конечные элементы - треугольники или четырехугольники с прямо- и криволинейными границами. Для трехмерных областей конечные элементы выступают в форме тетраэдров и параллелепипедов.

От качества разбиения области на конечные элементы зависит точность получаемых результатов. Разбиение области на элементы обычно начинают от ее границы с целью наиболее точной аппроксимации формы границы, затем производится разбиение внутренних областей.

В качестве аппроксимации функции элементов используют полиномы:

- а) симплекс-элементы (содержат константы A0 и линейные члены A(l));
- б) комплекс-элементы (кроме линейных членов содержат члены более высоких степеней);
 - в) мультиплекс-элементы.

В общем, алгоритм проектирования приводного узла в среде SolidWorks выглядит следующим образом:

- 1) моделирование каждой детали сборки,
- 2) компоновка сборки,
- 3) активация подпрограммы Simulation,
- 4) создание нового статического исследования,
 - 5) закрепление стакана неподвижно,
- 6) определение направления силы тяжести и наложение вращающего момента на зубчатое колесо или шкив клиноременной передачи,
 - 7) нанесение сетки,

- 8) запуск исследования,
- 9) получение результатов.

Нагрузку можно имитировать силой, действующей в окружном направлении. Для этого необходимо создать ось. Используемые конечные элементы сетки воспроизводят с достаточным качеством напряженно-деформированные состояния в зоне контакта. Плотность сетки подбирается так, чтобы обеспечить корректное описание деформированного состояния в целом.

Входной информацией для усталостного расчета должно быть несколько статических расчетов, описывающих состояние системы с различными значениями вращательного момента, взаимного расположения компонентов сборочной единицы и т.д. В этом случаи можно говорить об изменении положения сборочной единицы, сопровождая это приложением силы тяжести в соответствующем направлении. Для усталостного исследования выбираем, например, статическое с нанесением сетки на выбранный узел.

Среди свойств системы, определяющих несущую способность под нагрузкой, можно выделить окружное перемещение относительно общей оси вала. Кроме того, интересно провести исследование отклика соединения на изменение крутящего момента. Зададимся значением крутящего момента 10 Нм.

Модель, позволяющая это осуществить, показана на рис. 1. В качестве конечных элементов выступают треугольники.

Результаты статического анализа предполагают дополнительную визуализацию - создание так называемой «легенды», которая в многоцветном режиме показывает спектр значений деформации от максимального до минимального значений.

Покажем результат статического анализа работы приводного узла при определении деформации на рис. 2. при значении крутящего момента 10 Нм. Результат содержит дерево построений, многоцветный исследуемый узел и «легенду».

Как следует из рисунка, максимальные значения (красный цвет «легенды») можно увидеть на валу (величина составляет 0.005208 в эквивалентном напряжении).

Следующим этапом статического анализа работы приводного узла при определении напряжения является сравнение значений при изменении крутящего момента (например, 10 КН·м и 20 КН·м). Двухкратный прирост крутящего момента позволяет говорить о вариативности степени заполнения материалом смесительной камеры сферический формы.

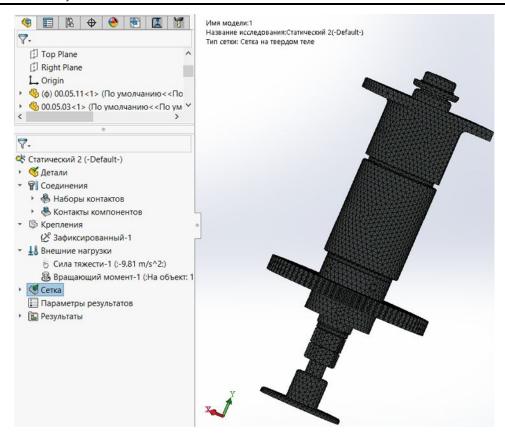


Рис. 1. Нанесение сетки на приводной узел

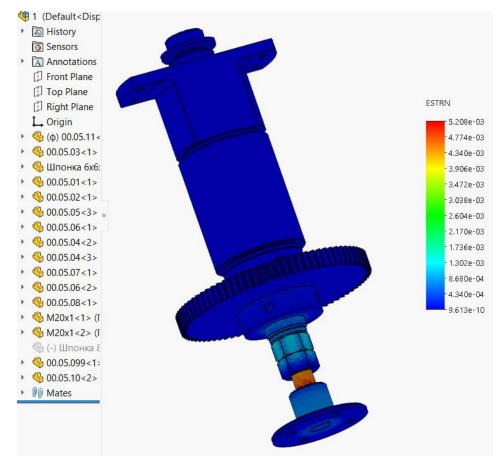


Рис. 2. Результат статического анализа работы приводного узла при определении деформации

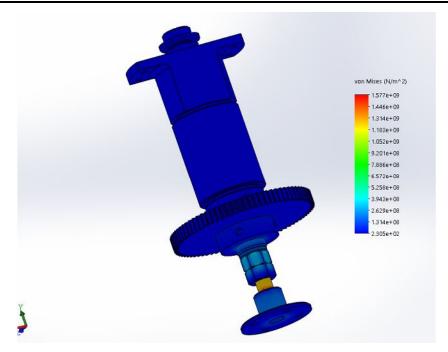


Рис. 3. Результат статического анализа работы приводного узла при определении напряжения

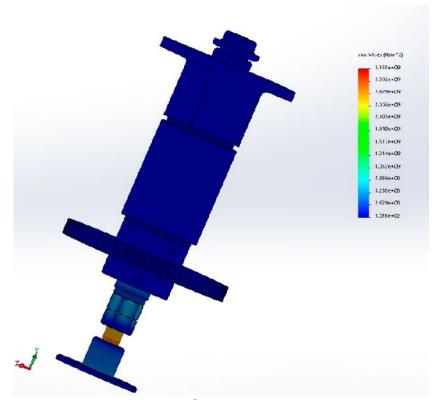


Рис. 4. Результат статического анализа работы приводного узла при определении напряжения

Получим концентрацию напряжений по краю канавки на границах вала и смежных компонентов. Полученные пиковые значения $1.577 \cdot 10^9 \text{ H/m}^2$ и $3.155 \cdot 10^9 \text{ H/m}^2$ позволят делать рекомендации по выбору материала для вала и смежных компонентов (например, для вала Ст3пс3-II ГОСТ 535-88).

Кроме того, для подбора наиболее рациональной конструкции предлагаемого смесителя можно заменить цилиндрическую зубчатую передачу на клиноременную передачу.

Выбор ременной передачи для приводного узла смесителя с двунаправленным вращательным воздействием на материал обеспечивает простое бесступенчатое варьирование частоты вращения водила с помощью частотного преобразователя, упрощает конструкцию и снижает материалоемкость. Все это подтверждает экономическую целесообразность применения такой передачи.

Традиционные расчеты включают проектировочный расчет для выбранного поперечного

сечения ремня, расчет нагрузочной способности ременной передачи, расчет силовых параметров передачи и т.д. На рис. 5 представлен результат

статического анализа работы приводного узла с ременной передачей при заданном крутящем моменте, равном 20 КН·м.

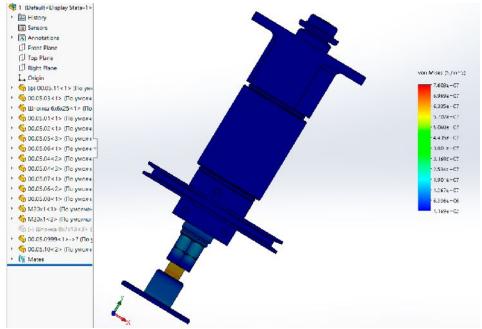


Рис. 5. Результат статического анализа работы приводного узла с ременной передачей при определении напряжения (20 КН·м)

Полученное пиковое значение составляет $7.604\cdot10^7~\mathrm{H\cdot m^2}$, что меньше значения, полученного для цилиндрической зубчатой передачи $(3.155\cdot10^9~\mathrm{H/m^2})$ при той же величине напряжения $20~\mathrm{KH\cdot m}$.

На рисунке 6 представлена практическая реализация описываемого приводного узла смесителя (ременная передача).



Рис. 6. Практическая реализация описываемого приводного узла смесителя (ременная передача)

Аналогичные действия могут быть реализованы для всех сборочных единиц смесителя с двунаправленным вращательным воздействием на материал.

Особенность конструкции предлагаемого смесителя позволяет говорить о его применимости в малотоннажных производствах.

В качестве варианта практического применения смесителя с двунаправленным вращательным воздействием на смешиваемый материал может выступить смеситель, установленный на

подвижном портале, используемый при производстве газосиликатных изделий. Кроме того, предлагается применение смесителя при производстве сухих строительных смесей или для линий лакокраски.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Юдин К.А., Дегтярь А.Н., Харин Н.П. Моделирование двунаправленного вращатель-

ного воздействия на материал в сферической смесительной камере // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2017. \mathbb{N} 5. С. 126–132.

- 2. Пат. №193687 Российская Федерация, МПК7В01 F9/02. Устройство для перемешивания материалов / К.А. Юдин, И.А. Семикопенко, Ю.М. Фадин, А.С. Костин; заявитель и патентообладатель ФГБОУВО БГТУ им. В.Г. Шухова. No 2019124456; заявл. 30.07.2019; опубл. 12.11.19, Бюл. № 32. 4 с.
- 3. Пат. №174442 Российская Федерация, МПК7В01 F9/02. Устройство для перемешивания материалов / К.А. Юдин, И.А. Семикопенко, Ю.М. Фадин; заявитель и патентообладатель ФГБОУВО БГТУ им. В.Г. Шухова. № 2017112567; заявл. 12.04.2017; опубл. 13.10.17, Бюл. № 29. 4 с.
- 4. Пат. №188718 Российская Федерация, МПК7В01 F9/02. Устройство для перемешивания материалов/ К.А. Юдин, И.А. Семикопенко, Ю.М. Фадин, А.С. Костин; заявитель и патентообладатель ФГБОУВО БГТУ им. В.Г. Шухова. No 2019100388; заявл. 09.01.2019; опубл. 22.04.19, Бюл. № 12. 4 с.
- 5. Юдин К.А., Харин Н.П. Особенности моделирование конической передачи для смесителя с двунаправленным вращательным воздействием

- на материал // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2019. № 3. С. 149–154.
- 6. Yudin K.A., Degtyar A.N., Stovpenko A.S. Movement of materials in gyroscopic-type mixer // Proceedings of the International Conference "Actual Issues of Mechanical Engineering" 2017 (AIME 2017) http://www.atlantis-press.com/proceedings/aime-17/articles Pp. 909–913.
- 7. Юдин К.А., Хахалев П.А., Дегтярь А.Н. Динамика движения загрузки материала в смесительной камере при двунаправленном вращательном воздействии // Строительные и дорожные машины. 2018. №7. С. 20–24.
- 8. Yudin K.A., Kuschev L.A., Savkin I.N., Negrun A.N. Modeling mixers gyroscopic type/Middle-East Journal of Scientific Research. 2013. 17 (8): 1125–1129.
- 9. Yudin K.A., Khakhalev P.A. Simulation of a mixer with a bidirectional rotational effect on material // Journal of Physics: Conference Series Proceedings of The International Conference Information Technologies in Business and Industry IOP Publishing https://iopscience.iop.org/volume/1742-6596/1333
- 10. Киркач Н.Ф., Баласанян Р.А. Расчет и проектирование деталей машин. Харьков.: Основа, 1991. 276 с.

Информация об авторах

Юдин Константин Анатольевич, кандидат технических наук, доцент кафедры механического оборудования. E-mail: kyudin@mail.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Погосбеков Артём Анатольевич, бакалавр кафедры механического оборудования. E-mail: ryssak13@rambler.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Поступила 30.01.2020 © Юдин К.А., Погосбеков А.А., 2020

*Yudin K. A., Pogosbekov A.A.

Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov *E-mail: kyudin@mail.ru

FEATURES OF MODELING THE DRIVE UNIT OF THE MIXER WITH BIDIRECTIONAL ROTATIONAL IMPACT ON THE MATERIAL

Abstract. Periodical mixers are considered. The expediency of developing a new type of mixer is presented. Features of the material movement in the mixer allow to speak about the presence of elements of a gyroscopic effect. The mixing chamber is rotated by means of belt, chain and conical transmission. The resulting complex spatial movement of material particles can be controlled by a frequency Converter and the selection of appropriate gears or using a belt drive. An algorithm for modeling the drive unit of a mixer with a bidirectional rotational effect on the material is presented. The features of the drive unit and its components are considered. The task is to build a model of deformation of the drive unit of the mixer. The finite element method (FEM) for the drive unit of the mixer is used. Machine experiments are performed that implement fatigue calculations of the drive unit with a study in the SolidWorks Simulation environment. The results of

static analysis of the drive unit operation in determining the deformation, static analysis of the drive unit operation in determining the voltage with varying torque are obtained. A variant of static analysis is presented when using a belt drive instead of a gear drive. The practical implementation of the mixer drive unit in metal is shown. Conclusions on modeling are made.

Keywords: periodical mixer, rotation of the chamber relative to two mutually perpendicular axes, design automation, drive unit.

REFERENCES

- 1. Yudin K.A., Degtyar A.N., Kharin N.P. Modelling of bi-directional rotary impact on the material in a spherical mixing chamber [Modelirovanie dvunapravlennogo vrashchatel'nogo vozdejstviya na material v sfericheskoj smesitel'noj kamere]. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2017. No 5. Pp. 126–132. (rus)
- 2. Yudin K.A., Semikopenko I.A., Fadin Y.M., Kostin A.S. A device for mixing materials. Patent RF, no 193687, 2019.
- 3. Yudin K.A., Semikopenko I.A, Fadin Y.M. A device for mixing materials. Patent RF, no 17444, 2017.
- 4. Yudin K.A., Semikopenko I.A, Fadin Y. M., Kostin A.S. A device for mixing materials. Patent RF, no 188718, 2019.
- 5. Yudin K.A., Kharin N.P. Features modeling of a bevel gear for a mixer with bi-directional rotational impact on the material [Osobennosti modelirovanie konicheskoj peredachi dlya smesitelya s dvunapravlennym vrashchatel'nym vozdejstviem na material]. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2019. No. 3. Pp. 149–154. (rus)

- 6. Yudin K.A., Degtyar A.N., Stovpenko A.S. Movement of materials in gyroscopic-type mixer. Proceedings of the International Conference "Actual Issues of Mechanical Engineering" 2017 (AIME 2017).
- 7. Yudin K.A., Degtyar A.N., Khakhalev P.A. The dynamics of the movement of the loading of material in the mixing chamber with a bi-directional rotational impact Construction and road building machinery 2018. No. 7. Pp. 20–24 (rus)
- 8. Yudin K.A., Kuschev L.A., Savkin I.N., Negrun A.N. Modeling mixers gyroscopic type/Middle-East Journal of Scientific Research. 2013. 17 (8). Pp. 1125–1129.
- 9. Yudin K.A., Khakhalev P.A. Simulation of a mixer with a bidirectional rotational effect on material. Journal of Physics: Conference Series Proceedings of The International. Conference Information Technologies in Business and Industry IOP Publishing. https://iopscience.iop.org/volume/1742-6596/1333
- 10. Kirkach N.F., Balasanian R.A. Calculation and design of machine parts. [Raschet i proektirovanie detalej mashin]. Kharkov: Foundation, 1991.276 p. (rus)

Information about the authors

Yudin, Konstantin A. PhD, Assistant professor. E-mail: kyudin@mail.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov.Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Pogosbekov, Artem A. Bachelor student. E-mail: ryssak13@rambler.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Received 30.01.2020

Для цитирования:

Юдин К.А., Погосбеков А.А, Особенности моделирования приводного узла смесителя с двунаправленным вращательным воздействием на материал // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2020. № 4. С.101–107. DOI: 10.34031/2071-7318-2020-5-4-101-107

For citation:

Yudin K.A., Pogosbekov A.A. Features of modeling the drive unit of the mixer with bidirectional rotational impact on the material. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2020. No. 4. Pp. 101–107. DOI: 10.34031/2071-7318-2020-5-4-101-107

DOI: 10.34031/2071-7318-2020-5-4-108-113

*Семикопенко И.А., Беляев Д.А., Воронов В.П.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова *E-mail: semickopencko.i@yandex.ru

ОПИСАНИЕ ПРОЦЕССА ИСТЕЧЕНИЯ ДВУХФАЗНОЙ СРЕДЫ ИЗ КАМЕРЫ ПОМОЛА ДЕЗИНТЕГРАТОРА В ПЛОСКОСТИ, ПЕРПЕНДИКУЛЯРНОЙ ОСИ ВРА-ЩЕНИЯ РОТОРОВ В ТАНГЕНЦИАЛЬНЫЙ ПОЛУБЕСКОНЕЧНЫЙ ПАТРУБОК

Аннотация. В последние десятилетия мельницы дезинтеграторного типа получили широкое распространение при измельчении, активации и смешении строительных материалов. На эффективность работы данных мельниц в значительной степени влияют конструктивные параметры рабочей камеры, загрузочного и разгрузочного узлов, а также некоторые технологические параметры, такие как частота вращения роторов. В данной статье предпринята попытка определить условия вылета частиц материала из камеры помола дезинтегратора в тангенциальный разгрузочный патрубок и геометрические параметры данного патрубка, исходя из условий истечения двухфазной среды от внешнего ряда ударных элементов в зону разгрузки. Дана схема процесса истечения двухфазной среды из камеры помола дезинтегратора в тангенциальный разгрузочный патрубок. При этом предполагается, что скорость движения двухфазной среды на данном участке не изменяется по модулю и длина тангенциального патрубка значительно больше его ширины.

В результате теоретических расчетов полученная формула, которая позволяет определить диаметр частиц, выходящих в тангенциальный разгрузочный патрубок с круговой траектории, а формулы, описывающие процесс поворота вектора скорости двухфазной среды при истечении в тангенциальный разгрузочный патрубок дезинтегратора.

Ключевые слова: дезинтегратор, камера помола, двухфазная среда, частица.

Дезинтеграторы являются эффективными машинами для помола, смешения и активации твердых сыпучих материалов [1]. Положительными факторами применения дезинтеграторов являются их компактность; гибкость переналадки; возможность автоматизации процесса; возможность варьирования параметров среды, введения функциональных добавок в момент измельчения, использования создаваемого роторами вентиляционного потока; относительно малая установленная мощность [6].

Однако ведущие производители данного типа оборудования продолжают поиски новых конструктивно-технических решений, что в свою очередь требует дополнений к существующей теории расчёта конструктивных и технологических параметров дезинтеграторов.

В данной статье поставлены задачи определения условия вылета частиц материала из камеры помола дезинтегратора в тангенциальный разгрузочный патрубок и геометрических параметров данного патрубка, исходя из условий истечения воздушно-материальной среды от внешнего ряда ударных элементов в зону разгрузки.

На рис. 1 представлена схема процесса истечения двухфазной среды из камеры помола дезинтегратора в тангенциальный разгрузочный патрубок.

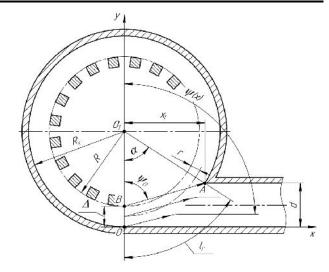


Рис. 1. Расчетная схема процесса истечения двухфазной среды из камеры помола дезинтегратора в тангенциальный разгрузочный патрубок

Определим условия вылета частиц материала из камеры помола дезинтегратора в тангенциальный разгрузочный патрубок в зависимости от конструктивных и технологических параметров.

Согласно расчётной схеме (рис. 1) для установившегося движения частиц материала в зазоре Δ между внутренней стенкой камеры помола дезинтегратора и внешним рядом ударных элементов запишем зависимость значения длины

участка l_r , соответствующее равновесной траектории движения частиц материала вблизи тангенциального разгрузочного патрубка:

$$l_r = (R+r) \cdot \alpha, \tag{1}$$

где α — угловой размер тангенциального разгрузочного патрубка, рад.

Здесь d — геометрический размер тангенциального патрубка в плоскости, перпендикулярной оси вращения роторов; Δ — радиальный зазор между внешним рядом ударных элементов и внутренней поверхностью корпуса; R — радиус внешнего ряда ударных элементов, R_k — внутренний радиус цилиндрического корпуса.

Угловой размер α связан с частотой вращения ω роторов дезинтегратора следующим соотношением:

$$\alpha = \omega \cdot t, \tag{2}$$

где t – время, за которое частица материала преодолевает участок длиной l_r , с.

Подстановка выражения (2) в (1) позволяет записать следующее выражение:

$$t = \frac{l_r}{(R+r) \cdot \omega}. (3)$$

Для определения зависимости между радиальной скоростью θ_r частиц материала и их диаметром d_r во время движения по равновесной траектории радиусом «R+r» воспользуемся известным выражением [7]:

$$\frac{m_r \mathcal{G}_{\varphi}^2}{r+R} \le 3\pi \mu d_r \mathcal{G}_r, \tag{4}$$

где μ — коэффициент динамической вязкости запыленного воздуха в зазоре Δ , $\Pi a \cdot c$ [8]; d_r — диаметр частицы, м; m_r — масса частицы, движущейся по траектории радиусом «R+r», кг:

$$m_r = \frac{\pi \cdot d_r^3}{6} \cdot \gamma, \tag{5}$$

где γ – плотность частицы материала, кг/м³.

Также в выражении (4) введено следующее обозначение:

$$\upsilon_{\varphi} = \omega \cdot (r + R). \tag{6}$$

Подставив выражения (5) и (6) в (4) получим соотношение следующего вида:

$$\gamma \cdot \frac{d_r^2}{6} \cdot \omega^2 \cdot (r+R) \le 3 \cdot \mu \cdot \theta_r, \tag{7}$$

из которого выразим радиальную скорость частицы материала θ_r :

$$\mathcal{G}_r \ge \gamma \cdot \frac{\omega^2 \cdot d_r^2}{18 \cdot \mu} \cdot (r + R).$$
(8)

Известно, что для перехода частиц материала из камеры помола дезинтегратора в тангенциальный разгрузочный патрубок необходимо, чтобы за время t (3) частица, двигаясь в радиальном направлении, прошла не меньшее расстояние, чем расстояние Δ_1 [9]:

$$\theta_r \cdot t \ge \Delta_1,$$
 (9)

где Δ_1 — значение минимального расстояния, необходимого для выхода частицы материала в тангенциальный разгрузочный патрубок с круговой траектории, м.

Подставив выражения (3) и (8) в (9) получим соотношение следующего вида:

$$\gamma \frac{\omega d_r^2}{18 \, \mu} l_r \ge \Delta_1. \tag{10}$$

Для круговой траектории, равной:

$$r = \frac{d_1}{2},\tag{11}$$

зададимся следующим условием перехода с неё частиц материала:

$$\Delta_1 = \Delta. \tag{12}$$

В соотношении (11) d_{I} диаметр частиц, совершающих переход из камеры помола в тангенциальный разгрузочный патрубок, м.

Применив выражения (11) и (12) к формулам (1) и (10) получим следующее соотношение:

$$\gamma \frac{\omega d_1^2}{18 \, \mu} \left(R + \frac{d_1}{2} \right) \alpha \ge \Delta. \tag{13}$$

Заметим, что отношение:

$$\frac{d_1}{2 \cdot R} \sqcup 1, \tag{14}$$

является малой величиной первого порядка малости, которой можно пренебречь. Тогда на основании соотношения (13) определим диаметр частицы, выходящей в тангенциальный разгрузочный патрубок с круговой траектории (11):

$$d_1 \ge \sqrt{\frac{18\mu\Delta}{\gamma\omega\alpha R}}.$$
 (15)

На рис. 2 представлена графическая зависимость, построенная на основании соотношения (15).

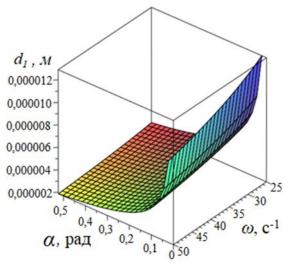


Рис. 2. График изменения диаметра частиц материала, выходящих в тангенциальный разгрузочный патрубок для следующих параметров: R = 0.6 м, $\Delta = 0.1$ м

Исходя из анализа графика, представленного на рисунке 2, делаем вывод, что при заданных условиях и конструктивно-технологических параметрах диапазон диаметров частиц, выходящих в тангенциальный разгрузочный патрубок из камеры помола дезинтегратора, находится в пределах от $8 \cdot 10^{-6}$ м до $12 \cdot 10^{-6}$ м. Так же из графика видно, что при увеличении частоты вращения роторов и углового размера тангенциального разгрузочного патрубка диаметр рассматриваемых частиц нелинейно уменьшается.

Далее рассмотрим процесс разворота скорости двухфазной среды при выходе последней из камеры помола дезинтегратора в тангенциальный полубесконечный патрубок в плоскости, перпендикулярной оси вращения роторов.

Естественно предположить, что при установившемся движении двухфазной среды из камеры помола дезинтегратора в тангенциальный разгрузочный патрубок происходит с постоянной по модулю скоростью движения среды:

$$\vec{\vartheta}^2 = const. \tag{16}$$

При этом происходит только разворот вектора скорости.

На основании расчетной схемы, представленной на рисунке 1, разворот вектора скорости $\vec{\vartheta}$ будет описываться с помощью изменения угла $\psi(x)$ вдоль оси «ox».

В силу сделанных выше предположений вектор скорости «*хоу*» можно представить в следующем виде:

$$\vec{\vartheta} = \{\vartheta_x, \vartheta_y, 0\},\tag{17}$$

$$\vartheta_x = \sqrt{\vec{\vartheta}^2} \cdot \cos(\frac{\pi}{2} - \psi(x)) = \sqrt{\vec{\vartheta}^2} \cdot \sin\psi(x), (18)$$

$$\vartheta_y = \sqrt{\vec{\vartheta}^2} \cos \psi(x). \tag{19}$$

Для нахождения координаты точки A (X_L,d) рассмотрим уравнение окружности радиусом R_k в системе координат «xoy», представленной на рисунке 1:

$$x^2 + (y - R_k)^2 = R_k^2, (20)$$

совместно с уравнением вертикальной прямой:

$$y = d. (21)$$

Подстановка (21) в (20) приводит к следующему выражению:

$$x^2 + d^2 - 2dR_k = 0. (22)$$

На основании (22) находим:

$$x_L = \sqrt{2d \cdot R_k - d^2},\tag{23}$$

где d – размер тангенциального патрубка по оси $\langle y \rangle$.

Уравнение прямой, соединяющей точки A и B, имеет вид:

$$y = \frac{x(d-\Delta)}{\sqrt{2d \cdot R_k - d^2}} + \Delta. \tag{24}$$

Исходя из выражения (24), находим значение угла в точке x = 0:

$$\psi(x=0) = \psi_0 = \frac{\pi}{2} - arctg \frac{d-\Delta}{\sqrt{2d \cdot R_k - d^2}}$$
 (25)

Для нахождения уравнения, описывающего изменение угла при движении двухфазной среды вдоль оси «ох», необходимо найти минимальное значение следующего функционала кинетической энергии:

$$E\left(\psi(x),\frac{d\psi}{dx}\right) = \rho \, \frac{\vec{\delta}^2}{2} \int \left[\cos^2\psi(x) + x_L^2 (\nabla \vec{\vartheta})^2\right] dV \ , \ (26)$$

где ρ – плотность двухфазной среды; x_L – расстояние, на котором происходит разворот вектора скорости, описываемый функцией $\psi(x)$ с граничными условиями вида:

при
$$x = 0$$
 $\psi(0) = \psi_0$, $\frac{d\psi}{dx} = 0$, (27)

при
$$x = \infty$$
 $(x \gg x_L)$ $\psi(\infty) = \frac{\pi}{2}$, $\frac{d\psi}{dx} = 0$, (28)

Первое слагаемое в (26) представляет собой плотность единицы объема кинетической энергии потока вдоль оси *«оу»*, а второе слагаемое представляет собой изменение плотности единицы объема энергии, затрачиваемой на разворот вектора скорости относительно оси *«оу»*.

Минимизация функционала (26), удовлетворяющая условиям (27) и (28), позволяет получить следующее уравнение:

$$x_L^2 \frac{d^2 \psi}{dx^2} + \sin \psi(x) \cdot \cos \psi(x) = 0. \quad (29)$$

Вычисление первого интеграла (29) приводит к следующему соотношению:

$$\left(\frac{d\psi}{dx}\right)^2 + \sin^2\psi(x) = c_1. \quad (30)$$

Применив граничное условие (28) к (30) находим, что:

$$c_1 = 1. (31)$$

С учетом (31) уравнение (30) принимает вид:

$$\frac{d\psi(x)}{\cos\psi(x)} = \pm \frac{dx}{x_L}.$$
 (32)

Интегрирование уравнения (32) приводит к следующему результату:

$$\ln \left| tg(\frac{\pi}{4} - \frac{\psi(x)}{2}) \right| = \pm \frac{x}{x_1} + c_2 . \tag{33}$$

Применив граничное условие (27) к соотношению (33), находим, что:

$$c_2 = \ln \left| tg(\frac{\pi}{4} - \frac{\psi_0}{2}) \right|.$$
 (34)

Подстановка (34) в (33) позволяет получить выражение, описывающее изменение угла поворота вектора скорости в тангенциальный патрубок:

$$\psi(x) = \frac{\pi}{2} - 2\arctan\left[tg\left(\frac{\pi}{4} - \frac{\psi_0}{2}\right) \cdot \exp\left(-\frac{x}{x_L}\right)\right], (35)$$

$$\theta_x = \sqrt{\vec{\vartheta}^2} cos \left[2arctg(tg(\frac{\pi}{4} - \frac{\psi_0}{2}) \cdot \exp(-\frac{x}{x_i})) \right], (36)$$

$$\vartheta_y = \sqrt{\vec{\vartheta}^2} sin \left[2arctg \left(tg \left(\frac{\pi}{4} - \frac{\psi_0}{2} \right) \cdot \exp \left(-\frac{x}{x_i} \right) \right] \right]. (37)$$

Таким образом, полученные формулы (36) и (37) описывают процесс поворота вектора скорости двухфазной среды при истечении в тангенциальный разгрузочный патрубок дезинтегратора, а формула (35) описывает изменение угла поворота ψ вектора скорости двухфазного потока. Приведенные формулы позволяют определить оптимальные геометрические параметры тангенциального разгрузочного патрубка.

На рис. 3, 4 представлены графики, описывающие изменение угла поворота ψ вектора скорости двухфазного потока $\bar{\mathcal{G}}$. При этом на рисунке 3 представлены кривые для разных значений расстояния x_L , а на рисунке 4 — для разных значений геометрического размера d тангенциального патрубка.

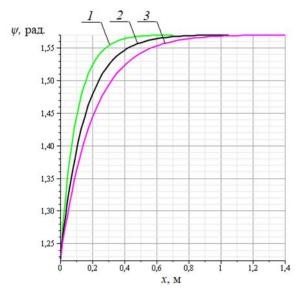


Рис. 3. Графики функции $\psi(x)$: $1-x_l=0,1$ м; $2-x_l=0,15$ м; $3-x_l=0,2$ м

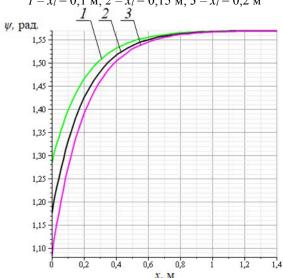


Рис. 4. Графики функции $\psi(x)$: I-d=0.04 м; 2-d=0.06 м; 3-d=0.08 м

Анализ представленных графиков (рис. 3) показывает, что разворот вектора скорости $\vec{\mathcal{S}}$ двухфазного потока происходит на расстоянии $6 \cdot x_L$, чему соответствует значение угла поворота ψ равное 1,57 рад. или 90 град.

Графики, представленные на рисунке 4 показывают, что чем больше значение диаметра разгрузочного патрубка, тем большая его длина необходима для разворота двухфазного потока.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- 1. Хинт И.А. Основы производства силикальцитных изделий. М.: Стройиздат, 1962. 636 с
- 2. Кухлинг X. Справочник по физике. М., Мир, 1985. 196 с.
- 3. Богданов В.С., Семикопенко И.А., Масловская А.Н., Александрова Е.Б. Дезинтегратор с повышенными нагрузками на измельчаемый материал // Строительные и дорожные машины. 2009. №5. С. 51–54.
- 4. Данилов Р.Г. Гипотеза механизма тонкого измельчения в роторных мельницах с зубчатоподобным зацеплением // Промышленность стройматериалов и стройиндустрия. Энерго- и ресурсосбережение в условиях рыночных отношений: Сб. докл. Междунар. конф. Ч.4. Белгород, 1997. С. 164–168.
- 5. Богданов В.С., Семикопенко И.А., Воронов В.П. Дезинтеграторы. Конструкции. Теория.

Эксперимент. Белгород: Изд-во БГТУ, 2016. 235 с.

- 6. Сиваченко Л.А. Современное технологическое машиностроение. Основные положения // Инженер-механик. 2010. № 4. С. 10–20.
- 7. Воронов В.П., Семикопенко И.А., Пензев П.П., Вялых С.В., Гордеев С.И. Определение условия выхода частиц материала в разгрузочный патрубок камеры помола дезинтегратора // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2011. №2. С. 90–91.
- 8. Клочков Н.В., Блиничев В.Н., Бобков С.П., Пискунов А.В. Методика расчета расхода воздуха в центробежно-ударной мельнице // Известия ВУЗов. Химия и хим. технология. 1982. №2. С. 230–232.
- 9. Семикопенко И.А., Вялых С.В., Жуков А.А. Агрегат дезинтеграторного типа с внутренней классификацией материала // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2013. №3. С. 74–76.

Информация об авторах

Семикопенко Игорь Александрович, кандидат технических наук, доцент кафедры механического оборудования. Е-mail: semickopencko.i@yandex.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Беляев Денис Александрович, аспирант, кафедры механического оборудования. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Воронов Виталий Павлович, кандидат физико-математических наук, профессор кафедры механического оборудования. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Поступила в 24.09.2019

© Семикопенко И.А., Беляев Д.А., Воронов В.П., 2020

*Semikopenko I.A., Belyaev D.A., Voronov V.P.

Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov *E-mail: semickopencko.i@yandex.ru

DESCRIPTION OF THE PROCESS OF A TWO-PHASE MEDIUM FLOW FROM THE DISINTEGRATOR GRINDING CHAMBER IN A PLANE PERPENDICULAR TO THE AXIS OF ROTATION OF THE ROTORS INTO A TANGENTIAL SEMI-INFINITE BRANCH PIPE

Abstract. In recent decades, disintegrator type mills have become widely used for grinding, activating and mixing construction materials. The efficiency of these mills is largely influenced by the design parameters of the working chamber, loading and unloading units, as well as some technological parameters, such as the speed of rotation of the rotors. In this article, an attempt is made to determine the conditions for the departure of material particles from the disintegrator grinding chamber into the tangential discharge pipe and the geometric parameters of this pipe, based on the conditions for the flow of a two-phase medium from the external row of shock elements to the discharge zone. Figure 1 shows the flow diagram of the two-phase medium from the disintegrator grinding chamber to the tangential discharge pipe. It is assumed that the speed of movement of the two-phase medium in this section does not change modulo and the length of the tangential branch pipe is significantly greater than its width. The results of this article can be used to design the discharge unit of the disintegrator with a tangentially located discharge pipe.

Keywords: disintegrator, the grinding chamber, two-phase medium, particles.

REFERENCES

- 1. Hint I.A. Fundamentals of production silicalite products [Osnovy proizvodstva silikal'citnyh izdeliy]. M.: Stroyizdat, 1962. 636 p. (rus)
- 2. Kuhling X. Handbook of physics [Spravochnik po fizike]. M., Mir, 1985. 196 p. (rus)
- 3. Bogdanov V.S., Semikopenko I.A., Maslovskaya A.N., Aleksandrova E.B. Disintegrator with increased loads on the crushed material [Dezintegrators povyshennymi nagruzkami na izmel'chaemyy material] Construction and road machinery. 2009. No. 5. Pp. 51–54. (rus)
- 4. Danilov R.G. The hypothesis of the mechanism of fine grinding in rotary mills with gear-like gearing [Gipoteza mehanizma tonkogo izmel'cheniya v rotornyh mel'nicah s zubchatopodobnym zacepleniem]. Promyshlennost' stroymaterialov i stroyindustriya. Sb. dokl. Mezhdunar. konf. Ch.4. Belgorod, 1997. Pp. 164–168. (rus)
- 5. Bogdanov V.S., Semikopenko I.A., Voronov V.P. Disintegrators. Designs. Theory. Experiment [Dezintegratory. Konstrukcii. Teoriya. Eksperiment]. Belgorod: BGTU. 2016, 235 p. (rus)

- 6. Sivachenko L.A. Modern technological machine-building. Basic principles [Sovremennoe tekhnologicheskoe mashinostroenie. Osnovnye polozheniya]. Mechanical engineer. 2010. No. 4. Pp. 10–20.(rus)
- 7. Voronov V.P., Semikopenko I.A., Penzev P.P., Vyalykh S.V., Gordeev S.I. Determining the conditions for the release of material particles into the discharge pipe of the disintegrator grinding chamber [Opredelenie usloviya vyhoda chastic materiala v razgruzochnyj patrubok kamery pomola dezintegratora]. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2011. No. 2. Pp. 90–91. (rus)
- 8. Klochkov N.V., Blinichev V.N., Bobkov S.P., Piskunov A.V. The method of calculating air flow in a centrifugal impact mill [Metodika rascheta raskhoda vozduha v centrobezhno-udarnoj mel'nice]. News of universities. Chemistry and chem. technology. 1982. No. 2. Pp. 230–232. (rus)
- 9. Semikopenko I.A., Vyalykh S.V., Zhukov A.A. Disintegrator type unit with internal material classification [Agregat dezintegratornogo tipa s vnutrennej klassifikaciej materiala]. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2013. No. 3. Pp. 74–76.

Information about the authors

Semikopenko, **Igor A.** PhD, Assistant professor. E-mail: semickopencko.i@yandex.ru Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Belyaev, Denis A. Research assistant. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Voronov, Vitaly P. DSc, Professor. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Received 24.09.2019

Для цитирования:

Семикопенко И.А., Беляев Д.А., Воронов В.П. Описание процесса истечения двухфазной среды из камеры помола дезинтегратора в плоскости, перпендикулярной оси вращения роторов в тангенциальный полубесконечный патрубок // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2020. № 4. С. 108–113. DOI: 10.34031/2071-7318-2020-5-4-108-113

For citation:

Semikopenko I.A., Belyaev D.A., Voronov V.P. Description of the process of a two-phase medium flow from the disintegrator grinding chamber in a plane perpendicular to the axis of rotation of the rotors into a tangential semi-infinite branch pipe. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2020. No. 4. Pp. 108–113. DOI: 10.34031/2071-7318-2020-5-4-108-113

DOI: 10.34031/2071-7318-2020-5-4-114-121

*Кирилов И.В., Ханин С.И., Воронов В.П.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова *E-mail: igor kirilov 1989@mail.ru

ХАРАКТЕРИСТИКИ ВИБРОКОЛЕБАНИЙ ВЯЗКОЙ БЕТОННОЙ СРЕДЫ В ВИБРОФОРМЕ С ЦИЛИНДРИЧЕСКИМИ ПУАНСОНАМИ

Аннотация. Рассмотрена актуальность применения машин объёмного виброформования при производстве железобетонных изделий. Описано поэтапное вибрационное воздействие, создаваемое цилиндрической поверхностью пуансона, закреплённого на виброформе машины непрерывного безопалубочного формования. Обоснована целесообразность достижения эффективного уплотнения через изменение виброскорости. Описано распространение вибрационных колебаний погружённым в вязкую бетонную среду пуансоном. Получены аналитические выражения, описывающие изменения амплитудных и фазовых изменений скорости распространения колебаний в вязкой бетонной среде. С использованием полученных аналитических выражений построены соответствующие графические зависимости, характеризующие воздействие на бетонную среду виброформы с пуансонами, состоящей из двух, колеблющихся с различными амплитудно-частотными характеристиками, частей. Установлено влияние радиального размера поверхности цилиндрического пуансона, частоты и амплитуды его колебаний на изменение амплитуды и сдвига фазы скорости распространения колебаний.

Ключевые слова: цилиндрический пуансон, вязкая бетонная среда, вибрационные колебания, амплитуда, частота, скорость.

Введение. В России около 80 % всего объема выпуска железобетона приходится на различные виды плоских и линейных конструкций (плиты пустотного настила, балки, ригели и др.) [1]. С целью их получения широко используют технологические комплексы (агрегатно-поточный, конвейерный, стендовый), определяющие общие удельные энергозатраты, производительность, ассортимент и себестоимость выпускаемой продукции [2–4].

Производство преднапряжённого железобетона, полученного непрерывным безопалубочным способом формования, относится к числу прогрессивных технологий и заслуженно пользуется популярностью в последние годы у производителей [5].

Реализация этого способа осуществляется машинами, перемещающимися относительно неподвижного стенда, и выполняющими различные технологические функции, центральными из которых являются формообразование и уплотнение бетонной массы [6, 7]. Среди машин данного назначения наибольшее эксплуатационное применение, с долей около 72 %, на заводах и предприятиях РФ заняли формующие агрегаты объёмного вибровоздействия [8, 9]. Платформа, входящая в конструкцию, и являющаяся одним из основных органов этих машин, приводит посредством вибровозбудителя в колебательное движение вязкую бетонную среду. В ее устройстве предусмотрены возможности конструктивных и технологических изменений для совершенствования, часть из которых касается режимов работы, включающих параметры вибрационного

воздействия определённой продолжительности [10, 11]. Предлагаются и условия, обеспечивающие процесс передачи виброколебаний на бетонную среду непосредственно закреплёнными на платформе пуансонами. Однако, их влияние на вибровоздействие в процессе уплотнения бетонной среды недостаточно изучено, что значительно усложняет подбор рациональных значений рассматриваемых параметров для получения бетонной массы плотной структуры.

Обычно, в качестве определяющих эффективность вибрационного воздействия характеристик, отмечают амплитудно-частотный режим колебаний и длительность его воздействия [12—15]. Вместе с тем, встречаются работы [16, 17], в которых отмечается, что ее эффективного уплотнения можно достичь изменяя, в зависимости от реологических свойств бетонной смеси, виброскорость колебательного воздействия.

Методология. Описание распространения колебаний, передаваемых платформой (виброформой) на вязкую бетонную среду с заданной частотой и амплитудой, можно произвести на основе уравнения Навье — Стокса.

Опишем распространение вибрационных колебаний в вязкой среде, излучаемых поверхностью помещённого в бетон пуансона — пустотообразователя цилиндрической формы, применяемого при изготовлении пустотных изделий в виде плит перекрытия. Так как вибрирующая цилиндрическая поверхность обладает аксиальной симметрией, то математическое описание про-

цесса распространения колебаний следует провести в цилиндрической системе координат (r, φ, z) с центром на оси симметрии (рис. 1).

В силу её аксиальной симметрии вектор скорости частиц в вязкой среде будет иметь отличную от нуля лишь радиальную компоненту вектора скорости υ_r , изменение которой, будет зависеть от времени "t" и радиального размера "r" — удаленности рассматриваемой частицы от центра

цилиндра. Поэтому применительно к рассматриваемому случаю изменение скорости смещения частиц бетонной смеси будет описываться уравнением вида:

$$\frac{\partial v_r}{\partial t} = v \Delta_r v_r - v \frac{v_r}{r^2},\tag{1}$$

где v — коэффициент кинематической вязкости; Δ_r — радиальная часть оператора Лапласа.

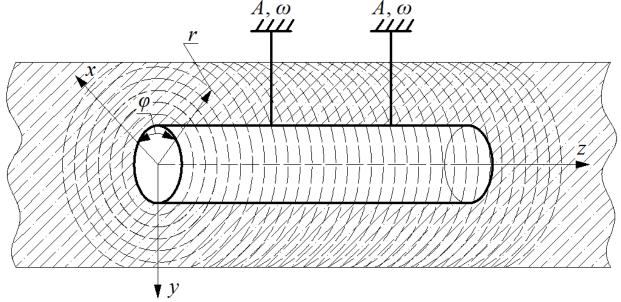


Рис. 1. Иллюстрация распространения вибрации в вязкой бетонной среде, возбуждаемой поверхностью погружённого в бетон цилиндрического пуансона

В свою очередь, скорость колебаний поверхности цилиндра v_0 задаёт начальное значение скорости распространения колебаний вязкой среды и определяется:

$$\upsilon_0 = A_0 \cdot \omega_0, \tag{2}$$

где A_0 и ω_0 – амплитуда и частота колебаний поверхности цилиндра пуансона.

Решение уравнения, описывающего распространение колебаний в бетонной среде, находим в рамках линейной комбинации тригонометрических функций синус и косинус:

$$\nu_r = A_1(r)\sin \omega_0 t + A_2(r)\cos \omega_0 t, \tag{3}$$

где $A_1(r)$ и $A_2(r)$ — амплитуды гармонических колебаний, изменение значений которых происходит в радиальном направлении.

На основании (3) находим:

$$\omega_{0}A_{1}(r)\cos\omega_{0}t - \omega_{0}A_{2}(r)\sin\omega_{0}t =$$

$$= \nu \left[\frac{d^{2}A_{1}(r)}{dr^{2}} + \frac{1}{r} \cdot \frac{dA_{1}(r)}{dr} - \frac{A_{1}(r)}{r^{2}} \right] \cdot \sin\omega_{0}t +$$

$$+ \nu \left[\frac{d^{2}A_{2}(r)}{dr^{2}} + \frac{1}{r} \cdot \frac{dA_{2}(r)}{dr} - \frac{A_{2}(r)}{r^{2}} \right] \cdot \cos\omega_{0}t.$$

$$(4)$$

На основании тождества (4) получаем следующие уравнения:

$$\omega_0 A_1(r) = v \left[\frac{d^2 A_2(r)}{dr^2} + \frac{1}{r} \cdot \frac{dA_2(r)}{dr} - \frac{A_2(r)}{r^2} \right], \quad (5)$$

$$-\omega_0 A_2(r) = v \left[\frac{d^2 A_1(r)}{dr^2} + \frac{1}{r} \cdot \frac{dA_1(r)}{dr} - \frac{A_1(r)}{r^2} \right].$$
 (6)

Полученные соотношения (5), (6) представляют собой систему двух обыкновенных дифференциальных уравнений второго порядка для нахождения неизвестных функций $A_1(r)$ и $A_2(r)$. Поиск решений (5), (6) проведём в поле комплексных чисел.

$$\alpha^2 \cdot \frac{d^2 z}{dr_1} + \frac{\alpha^2}{r_1} \cdot \frac{dz}{dr_1} - \alpha^2 \cdot \frac{z}{r_1^2} + i \cdot \frac{\omega_0}{\nu} \cdot z = 0, \tag{7}$$

где

$$z = A_2(r) + iA_1(r);$$
 8)

и введём параметр:

$$\alpha^2 = -\frac{i\omega_0}{\nu}.\tag{9}$$

Уравнение (7) можно привести к виду:

$$r_1^2 \cdot \frac{d^2 z}{dr_1^2} + r_1 \cdot \frac{dz}{dr_1} - (r_1^2 + 1) \cdot z = 0, \tag{10}$$

здесь r_1 – безразмерный аргумент, связанный с

радиальным размером соотношением:

$$r_1 = \sqrt{-\frac{i\omega_0}{v}} \cdot r = \sqrt{\frac{2\omega_0}{v}} \cdot (1-i) \cdot \frac{r}{2}. \tag{11}$$

С математической точки, уравнение (10) представляет собой уравнение Бесселя, решение которого является линейная комбинация модифицированных функций Бесселя $I_1(r_1)$ и $K_1(r_1)$:

$$z(r_1) = c_1 \cdot I_1(r_1) + c_2 \cdot K_1(r_1), \tag{12}$$

где c_1, c_2 – произвольные постоянные.

По данным работы [18] модифицированная функция Бесселя $I_1(r_1)$ является неограниченно возрастающей функцией при увеличении аргумента, а функция $K_1(r_1)$ с ростом аргумента наоборот монотонно убывающей.

В силу того, что функция $z(r_1)$ должна удовлетворять соотношению: $z(r_1 \to \infty) < \infty$, где неравенство означает ограниченность функции (12), а его применение к выражению (12) приводит к необходимости приравнять к нулю первое слагаемое этой функции, необходимо положить равенство нулю произвольной постоянной c_1 .

Поэтому решение уравнения (10) имеет вид:

$$z(r) = c_2 K_1 \left(\sqrt{\frac{2\omega_0}{\nu}} (1 - i) \cdot \frac{r}{2} \right). \tag{13}$$

Постоянную величину c_2 можно найти из начального условия:

$$z(r = R_0) = \nu_0 = A_0 \omega_0,$$
 (14)

где R_0 — радиус основания цилиндрической поверхности пуансона.

Решение уравнения (3) можно привести к виду:

$$\nu_r = A_n(r) \sin(\omega_0 t + \varphi_0), \tag{15}$$

где:

$$A_p(r) = \sqrt{A_1^2(r) + A_2^2(r)},$$
 (16)

$$\varphi_0 = arctg \frac{A_2(r)}{A_1(r)}.$$
 (17)

Применив (14) к решению уравнения (13) находим:

$$c_{2} = \frac{A_{0}\omega_{0}}{K_{1}\left(\sqrt{\frac{2\omega_{0}}{\nu}}(1-i)\frac{R_{0}}{2}\right)}.$$
 (18)

На основании решения (13) с учётом (18) находим:

$$A_2(x) = A_0 \omega_0 \cdot \sqrt{\frac{R_0}{r}} \cdot e^{-\left(\frac{r-R_0}{l}\right)} \cdot \cos\left(\frac{r-R_0}{l}\right), \quad (19)$$

$$A_{1}(x) = A_{0}\omega_{0} \cdot \sqrt{\frac{R_{0}}{r}} \cdot e^{-\left(\frac{r-R_{0}}{l}\right)} \cdot sin\left(\frac{r-R_{0}}{l}\right), \tag{20}$$

где l — кратчайшее расстояние от цилиндрической поверхности пуансона с радиусом R_0 до рассматриваемой колеблющейся в бетонной среде частицы (глубина проникновения колебаний).

Подстановка (19) и (20) в (15) и (14) приводит к следующему результату:

$$A_{p}(r) = A_{0}\omega_{0} \cdot \sqrt{\frac{R_{0}}{r}} \cdot exp\left(-\sqrt{\frac{\omega_{0}}{2\nu}} \cdot (r - R_{0})\right), \quad (21)$$

$$\varphi_0 = arctg \left(ctg \left(\sqrt{\frac{\omega_0}{2\nu}} (r - R_0) \right) \right). \tag{22}$$

Полученные соотношения (21) и (22) определяют соответственно изменение амплитуды и сдвига фазы скорости распространения колебаний в вязкой бетонной среде.

Основная часть. Полученные выражения применим к описанию поэтапного виброуплотнения бетонной смеси виброформой с цилиндрической поверхностью пуансонов, состоящей из двух частей и колеблющихся с различными частотами и амплитудами [19]. Построим графические зависимости изменения амплитуды и сдвига фазы скорости распространения колебаний от частоты колебаний поверхности пуансонов ω_0 и радиального размера r. Примем радиус цилиндрической поверхности пуансона, в соответствии с промышленно изготавливаемыми изделиями, $R_0 = 0.078$ м, а плотность бетонной смеси ρ равной 2400 кг/м³.

Графики функций $A_p(r)$ от ω_0 r = 0.078...0,100 м (рис. 2) имеют монотонно возрастающий характер до некоторых значений различных ДЛЯ каждой виброформы. Из зависимостей следует, что с увеличением частоты колебаний ω_0 первой части виброформы от 35 Γ ц до 55 Γ ц, при амплитуде A_0 = 0,0007 м (рис. 2, a), амплитуда скорости колебаний распространения У основания поверхности пуансона возрастает линейно с 0,0255 до 0,0385 м/с, т.е. на 50,9 %. Меньший прирост амплитуды скорости распространения основания цилиндрической колебаний поверхности пуансона наблюдается для второй части виброформы. Так, при $A_0 = 0,0004$ м, изменение частоты колебаний ω_0 от 55 Γ ц до 75 Γ ц и постоянной r = 0.078 м, приводит к возрастанию $A_p(r)$ на 0,008 м, т.е. на 36,4 %. Значения амплитуды скорости распространения колебаний $A_p(r)$ зависят и от величины амплитуды колебаний поверхности цилиндра A_0 .

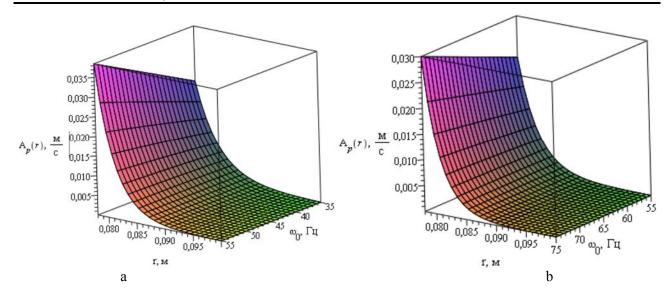


Рис. 2. Зависимости изменения амплитуды скорости распространения колебаний $A_p(r)$ от частоты колебаний поверхности цилиндрического пуансона ω_0 и радиального размера r: a — для первой части виброформы при $A_0 = 0{,}0007$ м; b — для второй части виброформы при $A_0 = 0{,}0004$ м

Рассмотрим изменение величины $A_p(r)$ на исследуемом диапазоне значений r. Изменение амплитуды скорости распространения колебаний $A_p(r)$, при удалении частицы материала от поверхности пуансона, носит нелинейный резко убывающий характер. Это характеризует затухание колебаний на относительно небольшой, в сравнении с R_0 , глубине их проникновения. По мере затухания колебаний изменяется характер зависимости $A_p(r)$ от ω_0 . Так, для первой части виброформы при радиальном размере r=0,085 м (глубина проникновения колебаний l=0,007 м) наблюдается отсутствие влияния частоты колебаний поверхности цилиндрического пуансона

 ω_0 на изменение величины амплитуды скорости распространения колебаний, которая принимает значение $A_p(r)=0.0043$ м/с (рис. 2, a). Для второй части виброформы аналогичное явление наблюдается при r=0.084 м (l=0.006 м), где величина амплитуды скорости распространения колебаний принимает значение $A_p(r)=0.0034$ м/с (рис. 2, b). Амплитуда скорости распространения колебаний, по мере отдалённости от поверхности пуансона, в бетонной среде первой части виброформы уменьшается в 8,2 раза, а во второй части виброформы – в 8,8 раза.

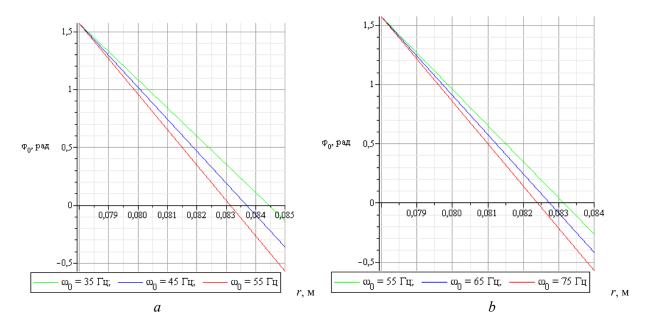


Рис. 3. Зависимости изменения сдвига фазы скорости распространения колебаний φ_0 от радиального размера r: a – для первой части платформы при A_0 = 0,0007 м; б – для второй части платформы при A_0 = 0,0004 м

Графические зависимости изменения сдвига фазы скорости распространения колебаний φ_0 от r, (рис. 3), носят линейный, убывающий характер. По мере удаления частиц материала от поверхности пуансона изменяется фаза скорости распространения колебаний. При этом величина промежутка с положительной фазой скорости распространения колебаний зависит от частоты колебаний поверхности пуансонов ω_0 Так в ограниченном поверхностью промежутке, пуансона и r = 0.0832 м, при $\omega_0 = 55$ Гц, скорость распространения колебаний имеет положительную фазу, за его пределами отрицательную. Для второй части виброформы при $\omega_0 = 75$ Гц рассматриваемые промежутки разделяются радиальным размером r = 0.0824 м.

Выводы. 1. Получены аналитические выражения, позволяющие описать изменения амплитуды и сдвига фазы скорости распространения колебаний в вязкой бетонной среде применительно к виброформе с цилиндрическими пуансонами.

- 2. С использованием построенных графических зависимостей для виброформы с пуансонами радиусом $R_0=0,078$ м выполнен анализ исследуемых параметров в зависимости от частоты колебаний их поверхностей ω_0 (для первой части виброформы $\omega_0=35...55$ Гц, для второй 55...75 Гц), радиального размера r (r=0,078...0,100 м) при амплитуде колебаний $A_0=0,0004$ м и $A_0=0,0007$ м соответственно первой и второй частей виброформы.
- 3. Установлено влияние на изменение амплитуды и сдвига фазы скорости распространения колебаний в вязкой бетонной среде частоты и амплитуды колебаний поверхностей пуансонов, радиального размера r.

Источник финансирования. Статья подготовлена в рамках программы развития опорного университета на базе БГТУ им. В.Г. Шухова.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- 1. Михайлов К.В., Волков Ю.С. Сборный железобетон: история и перспективы // Научнотехнический и производственный журнал. Бетон и железобетон. М: Изд-во Ладья, 2007. №5 С. 8—12.
- 2. Huijben F., Van Herwijnen F., Nijsse R. Concrete shell structures revisited: Introducing a new 'low-tech' construction method using vacuumatics formwork. Structural Membranes 5th International Conference on Textile Composites and Inflatable Structures. 2011. 409 p.
- 3. Вагнер Е.С., Супруненко Е.Ю. Безопалубочное формование как перспективная технология производства ЖБИ // Достижения вузовской

- науки. Новосибирск: ООО «Центр развития сотрудничества». 2014. № 9. С. 108–113.
- 4. Мут А.Р. Современные технологии производства ЖБИ // Бетон и железобетон. 2009. №2. С. 20–23.
- 5. Уткин В.В., Уткин В.Л., Уткин Л.В. Безопалубочное формование железобетона. М.: Издво ООО «Папирус», 2015. 226 с.
- 6. Свищ И.С., Дмитриев А.А. Технология изготовления предварительно-напряженных многопустотных плит перекрытия непрерывного формования по технологии «Тэнсиланд» // Национальная академия природоохранного и курортного строительства. С.340–344.
- 7. Романов Е.С., Капырин П.Д. Современные технологические линии для производства плит перекрытий // Вестник МГСУ. 2011. № 4. С. 499–508.
- 8. Копша С.П. Технология безопалубочного формования ключ к модернизации промышленности и снижению себестоимости // Технологии бетонов. 2013. №11. С. 29–33.
- 9. Копша С.П., Заикин В.А. Оборудование для непрерывного виброформования. Анализ рынка и критерии выбора // ЖБИ и конструкции. 2014. № 3. С. 40–45.
- 10.Pantoja Pinazo, Vicente y Azcona Chico, José Luis. Patente de invencion ES 2245522, Int. Cl.⁷ B28B 1/08. Máquina de vigas de hormigón / Pantoja Pinazo, Vicente y Azcona Chico, José Luis. Titular/es: EXCLUSIVAS RESIMART IBÉRICA, S.L. Número de solicitud: 009601546; Fecha de presentación 10.07.1996; Fecha de publicación de la solicitud: 01.01.2006; Fecha de publicación del folleto de la patente: 16.03.2007.
- 11.D. José Pinos Sallent. Patente de invencion ES 538447, Int. Cl.⁴ B28B 23/02. Mejoras introducidas en las maquinas para la fabricacion continua de piezas de hormigon armado / D. José Pinos Sallent. Solicitante PRENSOLAND, S.A. Fecha de presentacion 10 DIC. 1984; 8507036.
- 12. Huang J., Pei J., Li Y., Yang H., Li R., Zhang J., Wen Y. Investigation on aggregate particles migration characteristics of porous asphalt concrete (PAC) during vibration compaction process. Construction and Building Materials. 2020. Vol. 243. No 118153. doi: 10.1016/j.conbuildmat.2020.118153.
- 13.Nazarenko I., Gaidaichuk V., Dedov O., Diachenko, O. Investigation of vibration machine movement with a multimode oscillation spectrum. Eastern European Journal of Enterprise Technologies. 2017. Vol. 6, Issue 1-90. Pp. 28–36. doi: 10.15587/1729-4061.2017.118731.
- 14. Герасимов М.Д., Мкртычев О.В., Герасимов Д.М. Методика определения величины раз-

балансировки планетарного вибратора направленных колебаний // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2016. № 1. С. 107–110.

15.Sharapov R., Vasiliev V. Analysis of the spectrum distribution of oscillation amplitudes of the concrete mix at shock vibration molding. MATEC Web of Conferences. XXVI R-S-P Seminar 2017, Theoretical Foundation of Civil Engineering. 2017. Vol. 117, No 00152. doi: 10.1051/matecconf/201711700152.

16. Батяновский Э.И., Бондарович А. И. Вибропрессованный бетон: технология и свойства. Минск: БНТУ, 2018. 263 с.

17.Pivinskii Yu.E. Refractory concretes of a new generation. Vibrorheology. Vibration methods

of compacting and forming. Refractories. 1994. Vol. 35, Issue 7. Pp. 211220. doi: 10.1007/BF02310375.

18. Абрамовица М., Стиган И. Справочник по специальным функциям. М.: НАУКА, 1979. 832 с.

19.Пат. 186574, Российская Федерация, МПК B28B 1/08, B13B 1/02, B28B 15/00. Машина для непрерывного виброформования бетонных и железобетонных изделий / И.В. Кирилов, С.И. Ханин; заявитель и патентообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова». №2018139138; заявл. 06.11.2018; опубл. 24.01.2019, Бюл. № 3. 10 с.

Информация об авторах

Кирилов Игорь Викторович, ассистент кафедры механического оборудования. E-mail: igor_kirilov_1989@mail.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Ханин Сергей Иванович, доктор технических наук, профессор кафедры механического оборудования. E-mail: dh@intbel.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Воронов Виталий Павлович, кандидат физико-математических наук, профессор кафедры механического оборудования. E-mail: v.p.voronov@gmail.com. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Поступила 12.02.2020

© Кирилов И.В., Ханин С.И., Воронов В.П., 2020

.гг., воронов в.гг., 2020

*Kirilov I.V., Khanin S.I., Voronov V.P.

Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov *E-mail: igor_kirilov_1989@mail.ru

CHARACTERISTICS OF VIBRATIONS OF VISCOUS CONCRETE MEDIUM IN A VIBROFORM WITH CYLINDRICAL PUNCHES

Abstract. The relevance of using volumetric vibroforming machines in the production of reinforced concrete products is considered. A step-by-step vibration effect created by the cylindrical surface of a punch fixed to the vibration form of a continuous formless forming machine is described. The expediency of achieving effective compaction by changing the vibration velocity is proved. The spread of vibration by a punch immersed in a viscous concrete medium is described. Analytical expressions describing changes in amplitude and phase variations of vibration propagation velocity in viscous concrete medium are obtained. Using the obtained analytical expressions, the corresponding graphical dependencies characterizing the impact on the concrete medium vibroform with punches, consisting of two parts that oscillate with different amplitude and frequency characteristics are constructed. The influence of the radial size of cylindrical punch surface, frequency and amplitude of its oscillations on the change of amplitude and phase shift of vibration propagation velocity is established.

Keywords: cylindrical punch, viscous concrete medium, vibration, amplitude, frequency, speed.

REFERENCES

2. Mikhailov K.V., Volkov Yu.S. Precast concrete: history and prospects [Sbornyj zhelezobeton: istoriya i perspektivy]. Scientific, technical and production journal. Concrete and reinforced concrete. Moscow: Publishing house Rook, 2007. No. 5. Pp. 8–12. (rus)

- 2. Huijben F, Van Herwijnen F. & Nijsse R. Concrete shell structures revisited: Introducing a new 'low-tech' construction method using vacuumatics formwork. Structural Membranes 5th International Conference on Textile Composites and Inflatable Structures. 2011. 409 p.
- 3. Wagner E.S., Suprunenko E.Yu. Formless molding as a promising production technology for

- precast concrete products [Bezopalubochnoe formovanie kak perspektivnaya tekhnologiya proizvodstva ZHBI]. Achievements of university science. Novosibirsk: LLC Center for Development of Cooperation. 2014. No. 9. Pp. 108–113. (rus)
- 4. Mut A.R. Modern production technologies for reinforced concrete products [Sovremennye tekhnologii proizvodstva ZHBI]. Concrete and reinforced concrete. 2009. No2. Pp. 20–23. (rus)
- 5. Utkin V.V., Utkin V.L., Utkin L.V. Formwork-free reinforced concrete molding. [Bezopalubochnoe formovanie zhelezobetona]. Moscow: Publishing house LLC Papirus, 2015. 226 p. (rus)
- 6. Svishch I.S., Dmitriev A.A. The manufacturing technology of prestressed multi-hollow continuous slabs of continuous molding according to the Tensyland technology [Tekhnologiya izgotovleniya predvaritel'no-napryazhennyh mnogopustotnyh plit perekrytiya nepreryvnogo formovaniya po tekhnologii «Tensiland»]. National Academy of Environmental and Resort Construction. Pp.340–344. (rus)
- 7. Romanov E.S., Kapyrin P.D. Modern technological lines for the production of floor slabs [Sovremennye tekhnologicheskie linii dlya proizvodstva plit perekrytij]. Bulletin of MGSU. 2011. No. 4. Pp. 499–508. (rus)
- 8. Kopsha S.P. Formless molding technology is the key to industrial modernization and cost reduction [Tekhnologiya bezopalubochnogo formovaniya klyuch k modernizacii promyshlennosti i snizheniyu sebestoimosti]. Concrete Technologies. 2013. No. 11. Pp. 29–33. (rus)
- 9. Kopsha S.P., Zaikin V.A. Equipment for continuous vibroforming. Market analysis and selection criteria [Oborudovanie dlya nepreryvnogo vibroformovaniya. Analiz rynka i kriterii vybora]. Reinforced Concrete Products and Structures. 2014. No. 3. Pp. 40–45. (rus)
- 10. Pantoja Pinazo, Vicente y Azcona Chico, José Luis. Patente de invencion ES 2245522, Int. Cl. Pa B28B 1/08. Máquina de vigas de hormigón / Pantoja Pinazo, Vicente y Azcona Chico, José Luis. Titular/es: EXCLUSIVAS RESIMART IBÉRICA, S.L. Número de solicitud: 009601546; Fecha de presentación 10.07.1996; Fecha de publicación de la solicitud: 01.01.2006; Fecha de publicación del folleto de la patente: 16.03.2007.

- 11.D. José Pinos Sallent. Patente de invencion ES 538447, Int. Cl.⁴ B28B 23/02. Mejoras introducidas en las maquinas para la fabricacion continua de piezas de hormigon armado / D. José Pinos Sallent. Solicitante PRENSOLAND, S.A. Fecha de presentacion 10 DIC. 1984; 8507036.
- 12. Huang J., Pei J., Li Y., Yang H., Li R., Zhang J., Wen Y. Investigation on aggregate particles migration characteristics of porous asphalt concrete (PAC) during vibration compaction process. Construction and Building Materials. 2020. Vol. 243. No 118153. doi: 10.1016/j.conbuildmat.2020.118153.
- 13. Nazarenko I., Gaidaichuk V., Dedov O., Diachenko O. Investigation of vibration machine movement with a multimode oscillation spectrum. Eastern European Journal of Enterprise Technologies. 2017. Vol. 6, Issue 1-90. Pp. 28–36. doi: 10.15587/1729-4061.2017.118731.
- 14. Gerasimov M.D., Mkrtychev O.V., Gerasimov D.M. Methodology for determining the magnitude of the imbalance of the planetary vibrator of directed vibrations [Metodika opredeleniya velichiny razbalansirovki planetarnogo vibratora napravlennyh kolebanij]. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2016. No. 1. Pp. 107–110. (rus)
- 15. Sharapov R., Vasiliev V. Analysis of the spectrum distribution of oscillation amplitudes of the concrete mix at shock vibration molding. MATEC Web of Conferences. XXVI R-S-P Seminar 2017, Theoretical Foundation of Civil Engineering. 2017. Vol. 117. No 00152. doi: 10.1051/matecconf/201711700152.
- 16. Batyanovsky E.I., Bondarovich A.I. Vibropressed concrete: technology and properties [Vibropressovannyj beton: tekhnologiya i svojstva]. Minsk: BNTU, 2018. 263 p. (rus)
- 17. Pivinskii Yu.E. Refractory concretes of a new generation. Vibrorheology. Vibration methods of compacting and forming. Refractories. 1994. Vol. 35, Issue 7. Pp. 211220. doi: 10.1007/BF02310375.
- 18. Abramovitsa M., Stigan I. Handbook of special functions [Spravochnik po special'nym funkciyam]. Moscow: SCIENCE, 1979. 832 p. (rus)
- 19. Kirilov I.V., Khanin S.I. Machine for continuous vibroforming of concrete and reinforced concrete products. Patent RF, no. 2018139138, 2019.

Information about the authors

Kirilov, Igor V. Assistant. E-mail: igor_kirilov_1989@mail.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Khanin, Sergei I. DSc, Professor. E-mail: dh@intbel.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Voronov, **Vitaly P.** PhD, Professor E-mail: v.p.voronov@gmail.com. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Received 12.02.2020

Для цитирования:

Кирилов И.В., Ханин С.И., Воронов В.П. Характеристики виброколебаний вязкой бетонной среды в виброформе с цилиндрическими пуансонами // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2020. № 4. С. 114—121. DOI: 10.34031/2071-7318-2020-5-4-114-121

For citation:

Kirilov I.V., Khanin S.I., Voronov V.P. Characteristics of vibrations of viscous concrete medium in a vibro-form with cylindrical punches. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2020. No. 4. Pp. 114–121. DOI: 10.34031/2071-7318-2020-5-4-114-121

Научное издание

«Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова» № 4, 2020 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 №ФС 77-26533 от 07.12.2006

Подписано в печать 30.04.2020. Формат $60 \times 84/8$ Усл. печ. л. 14,18. Уч.-изд. л. 15,25 Тираж 40 экз. Заказ 67. 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