

Научно-теоретический журнал

ВЕСТНИК

БГТУ им. В.Г. Шухова

ISSN 2071-7318

1

2020

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

№ 1, 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 (COPE).

Официальный сайт журнала: <https://bulletinbstu.editorum.ru>

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

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

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

Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov

scientific and theoretical journal

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

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

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

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

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

Official website of the journal: <https://bulletinbstu.editorum.ru>

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

Subscription index in the united catalogue of "Press of Russia" – 44446.

Online subscription: <http://www.akc.ru/itm/2558104627/>

Главный редактор

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

Заместитель главного редактора

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

Члены редакционной коллегии

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

Баженов Юрий Михайлович, академик РААСН наук, д-р техн. наук, проф., заведующий кафедрой технологии вяжущих веществ и бетона НИУ Московского государственного строительного университета (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).

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Павлович Ненад, PhD, проректор по научной работе и издательской деятельности, проф. Машиностроительного факультета Государственной Нишской 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 университета имени И.С. Тургенева (РФ, г. Орел).

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

CHIEF EDITOR

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

DEPUTY OF CHIEF EDITOR

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

MEMBER OF EDITORIAL BOARD

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

Алексеев В.А., Баженова С.И. ОПТИМИЗАЦИЯ БЕТОННЫХ СОСТАВОВ ДЛЯ НАБРЫЗГБЕТОНИРОВАНИЯ ПРИ СООРУЖЕНИИ ПОДЗЕМНЫХ КОНСТРУКЦИЙ	8
Курлыкина А.В., Денисов В.П., Кузнецов Д.А., Лукаш Е.А. ЩЕБЕНОЧНО-МАСТИЧНЫЙ АСФАЛЬТОБЕТОН С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СЕРОВОВЛЕКАЮЩИХ ТЕХНОЛОГИЙ	18
Хомяков А.И. АРХИТЕКТУРА МОНУМЕНТОВ: СОЦИАЛЬНО-КУЛЬТУРНЫЙ ВЕКТОР	26
Белова А.Ю., Петрусенко Ю.В. РОМАНТИЗМ В АРХИТЕКТУРЕ ДОХОДНЫХ ДОМОВ ТВОРЧЕСТВА НИКОЛАЯ МАТВЕЕВИЧА СОКОЛОВА	32
Черныш Н.Д., Василенко Н.А. ОСОБЕННОСТИ ФУНКЦИОНАЛЬНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ АРХИТЕКТУРНЫХ ОБЪЕКТОВ НА ПРИМЕРЕ МОРСКИХ ПАССАЖИРСКИХ ТЕРМИНАЛОВ	40
Корякова К.С., Курякова Н.Б. ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА МЕСТА ДЛЯ СТРОИТЕЛЬСТВА ЭТНОПАРК-ОТЕЛЕЙ НА ОСНОВЕ ГРАДОСТРОИТЕЛЬНОГО АНАЛИЗА ТЕРРИТОРИИ	51

ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ

Череватова А.В., Кожухова Н.И., Осадчая М.С., Жерновская И.В., Кожухова М.И. ТЕРМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ НАНОСТРУКТУРИРОВАННОГО ВЯЖУЩЕГО НА ОСНОВЕ ГРАНИТА	62
Котлярова И.А., Степина И.В. ОПРЕДЕЛЕНИЕ КИНЕТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ТЕРМОДЕСТРУКЦИИ И ГРУППЫ ОГНЕЗАЩИТНОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ДРЕВЕСИНЫ СОСНЫ, МОДИФИЦИРОВАННОЙ БОРАЗОТНЫМ АНТИПИРЕНОМ	70
Куделин Д.В., Несиоловская Т.Н. ВЛИЯНИЕ УСЛОВИЙ ИСПЫТАНИЙ НА ПРОЧНОСТНЫЕ СВОЙСТВА ТОНКОСТЕННЫХ РЕЗИНОВЫХ ИЗДЕЛИЙ	78

МАШИНОСТРОЕНИЕ И МАШИНОВЕДЕНИЕ

Посыпкин М.А., Халапян С.Ю., Маслова И.В., Мамаев В.А., Виравян Л.Г. АНАЛИЗ И КЛАССИФИКАЦИЯ РЕАБИЛИТАЦИОННЫХ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ НА БАЗЕ ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ МАНИПУЛЯТОРОВ	85
Уваров В.А., Кайтуков Б.А., Скель В.И. ГИДРАВЛИЧЕСКИЕ ЭКСКАВАТОРЫ И КРАНЫ С МОДУЛЬНЫМИ МЕХАНИЗМАМИ ПРИВОДА	95
Агарков А.М., Шарапов Р.Р. К ВОПРОСУ О СКОРОСТИ ДВИЖЕНИЯ ВОЗДУХА И ДАВЛЕНИИ В ИНЕРЦИОННОМ КОНЦЕНТРАТОРЕ	101
Семикопченко И.А., Воронов В.П., Беляев Д.А., Чужинов В.О. ОПИСАНИЕ ПРОЦЕССА ИСТЕЧЕНИЯ ДВУХФАЗНОЙ СРЕДЫ ИЗ КАМЕРЫ ПОМОЛА ДЕЗИНТЕГРАТОРА В ПЛОСКОСТИ, ПЕРПЕНДИКУЛЯРНОЙ ОСИ ВРАЩЕНИЯ РОТОРОВ	110
Севостьянов М.В., Сеница Е.В., Уральский А.В., Шкарпеткин Е.А., Бабуков В.А. ВИБРО-ЦЕНТРОБЕЖНЫЕ АГРЕГАТЫ ДЛЯ КОМПЛЕКСНОЙ ПЕРЕРАБОТКИ ТЕХНОГЕННЫХ МАТЕРИАЛОВ	115

CONSTRUCTION AND ARCHITECTURE

Alekseev V.A., Bazhenova S.I.

OPTIMIZATION OF CONCRETE COMPOSITIONS FOR SPRAYED CONCRETE
IN THE CONSTRUCTION OF UNDERGROUND STRUCTURES 8

Kurlykina A.V., Denisov V.P., Kuznetsov D.A., Lukash E.A.

CRUSHED STONE MASTIC ASPHALT CONCRETE USING GRAYISH TECHNOLOGIES 18

Khomiyakov A.I.

ARCHITECTURE OF MONUMENTS: SOCIAL AND CULTURAL VECTOR 26

Belova A.Y., Petrusenko Y.V.

ROMANTICISM IN THE ARCHITECTURE OF APARTMENT HOUSES
OF NIKOLAI MATVEEVICH SOKOLOV 32

Chernysh N.D., Vasilenko N.A.

FEATURES OF FUNCTIONAL AND TECHNOLOGICAL SOLUTIONS
OF ARCHITECTURAL OBJECTS ON THE EXAMPLE OF SEA PASSENGER TERMINALS 40

Koryakova K.S., Kuryakova N.B.

PLACE SELECTION JUSTIFICATION FOR THE CONSTRUCTION OF ETHNOPARK-HOTEL
ON THE BASIS OF URBAN PLANNING ANALYSIS OF THE TERRITORY 51

CHEMICAL TECHNOLOGY

Cherevatova A.V., Kozhukhova N.I., Osadchaya M.S., Zhernovskaya I.V., Kozhukhova M.I.

THERMAL CHARACTERISTICS OF GRANITE-BASED NANOSTRUCTURED BINDERS 62

Kotlyarova I.A., Stepina I.V.

DETERMINATION OF KINETIC PARAMETERS OF THERMODESTRUCTION
AND GROUPS OF FIREPROOF EFFICIENCY OF PINE WOOD,
MODIFIED BY BORON NITROGEN FLAME RETARDANT 70

Kudelin D.V., Nesiolovskaya T.N.

INFLUENCE OF TEST CONDITIONS ON STRENGTH PROPERTIES
OF THIN-WALL RUBBER PRODUCTS 78

MACHINE BUILDING AND ENGINEERING SCIENCE

Posypkin M.A., Khalapyan S.Y., Maslova I.V., Mamaev V.A., Virabyan L.G.

ANALYSIS AND CLASSIFICATION OF REHABILITATION ROBOTIC SYSTEMS
BASED ON PARALLEL MANIPULATORS 85

Uvarov V.A., Kaytukov B.A., Skel V.I.

HYDRAULIC EXCAVATORS AND CRANES WITH MODULAR DRIVE MECHANISMS 95

Agarkov A.M., Sharapov R.R.

ON THE QUESTION OF AIR VELOCITY AND PRESSURE IN AN INERTIAL
CONCENTRATOR 101

Semikopenko I.A., Voronov V.P., Belyaev D.A., Chuzhinov V.O.

DESCRIPTION OF THE PROCESS OF A TWO PHASE MEDIA OUTFLOW FROM
THE DISINTEGRATOR GRINDING CHAMBER
IN THE PLANE PERPENDICULAR ROTORS AXIS 110

Sevostyanov M.V., Tit E.V., Uralsky A.V., Shkarpetkin E.A., Babukov V.A.

VIBRO-CENTRIFUGAL UNITS FOR COMPLEX PROCESSING
OF TECHNOGENIC MATERIALS 115

СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

DOI: 10.34031/2071-7318-2020-5-1-8-17

Алексеев В.А., *Баженова С.И.

Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет

*E-mail: sofia.bazhenova@gmail.com

ОПТИМИЗАЦИЯ БЕТОННЫХ СОСТАВОВ ДЛЯ НАБРЫЗГБЕТОНИРОВАНИЯ ПРИ СООРУЖЕНИИ ПОДЗЕМНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Аннотация. При сооружении подземных конструкций широко используется формирование бетонных конструкций методом набрызга. Технология набрызгбетонирования широко используется для крепления подземных выработок, при устройстве постоянных обделок тоннелей и коллекторов, в качестве элементов оболочек и несущих конструкций подземных сооружений городской инфраструктуры. Набрызгбетонирование позволяет широко варьировать форму и толщину конструкций подземных сооружений, позволяя исключать опалубочные (а в ряде случаев и арматурные) монтажные работы.

Целью работы являлась определение общих закономерностей развития технологии набрызгбетонирования, обзор существующих наработок в РФ по оптимизации составов набрызгбетона и выявление наиболее перспективных направлений по сделанным исследованиям.

В статье был проведен обзорный анализ создания набрызгбетонных конструкций с повышенными физико-механическими, а также технологическими параметрами должно вестись с учетом последних достижений в сфере строительного материаловедения. Приведены авторские исследования по оптимизации составов набрызгбетона, в которых применяются в качестве вяжущего модифицированные композиции с оптимально подобранным гранулометрическим и минералогическим составом и введение фибры в бетонную смесь. Благодаря использованию в подземных конструкциях с вмещающим грунтовым массивом различной степени устойчивости, требования к характеристикам набрызгбетона могут варьироваться в самых широких пределах. С учетом распространения «мокрого» способа набрызга (где готовая бетонная смесь подается к соплу с высокой скоростью) особые требования предъявляются к реологическим характеристикам смеси и деформативным характеристикам при изгибе (т.к. несущая способность сводчатые покрытия прямо пропорционально зависит от их способности выдерживать нагрузки в растянутых зонах) особенно для обделок сложных контуров.

Проведенный обзорный анализ позволил выявить значимость аспекта модификации вяжущих композиций для составов набрызгбетона, позволяющий повысить физико-механические и технические свойства набрызгбетонных смесей за счет оптимизации гранулометрического состава вяжущего вещества микронаполнителем с самостоятельной гидравлической активностью.

Ключевые слова: подземные конструкции, подземное строительство, набрызгбетон, композиционное вяжущее, микронаполнитель, оптимизация грансостава, фибра.

Расширение современных мегаполисов происходит за счет освоения новых территорий, высотного и подземного строительства. Крупнейшие города, столкнувшись с проблемой доступного присоединения новых территорий, растут за счет активного строительства подземных сооружений. Увеличивающаяся транспортная нагрузка на существующую инфраструктуру также вынуждает сооружать новые транспортные артерии под землей [1].

Необходимость возведения подземных конструкций (тоннелей, шахт, наклонных ходов, межтоннельных и притоннельных сооружений) в короткие сроки вызывает необходимость использования эффективных технологий и материалов, оптимизации технологических и конструктивных решений. Строительство в подземном про-

странстве является достаточно трудоемким и затратным процессом ввиду ограниченности рабочего пространства, трудной логистики и необходимости повышенных мер безопасности [2].

Одним из эффективных методов при строительстве подземных сооружений является сооружение конструкций из набрызгбетона, позволяющее исключить арматурные и опалубочные работы, и реализовать принцип восприятия нагрузок конструкции, совместно с грунтовым массивом [3].

Достоинства набрызгбетона активно проявляются при сооружении подземных конструкций:

- снижение общей толщины конструкции обделки и соответственно сечения выработки;

- отказ от арматурных работ и возможность непосредственного бетонирования в течение 2–3 часов после вскрытия породы;

- исключение тампонажных работ в заобделочное пространство железобетонных, металлических и чугунных обделок при традиционных методах проходки;

- возможность создания комбинированных конструкций (например, с эффективными гидроизолирующими слоями) в сочетании с разными видами крепления (при проектном обосновании) – анкерном, сеточно-армированным, арочном и т.п.;

- возведение в условиях подземного пространства конструкции крепи высокой степени долговечности, непосредственно работающей со вмещающим грунтовым массивом;

- потенциальная реализация укрепления забойной части проходки для максимального использования полного сечения выработки;

- возможность максимальной автоматизации и механизации процесса сооружения крепи в условиях сложных контуров и различного сечения в свету (что особенно эффективно при отказе от процессов армирования, требующих индивидуального изготовления сеток и каракасов).

Используемые в настоящее время методы проектирования составов бетонов в технологии набрызга не позволяют в полном объеме решать задачи по созданию эффективных конструкций с максимальной степенью использования свойств материала. Также стоит проблема повышения качества набрызгбетона в каждом конкретном случае с учетом технологичности процесса и логистики в подземном строительстве. Анализ исследований по получению набрызгбетона с повышенными свойствами подтверждает необходимость использования широкого спектра химических и органоминеральных добавок, специальных подборов рецептуры бетонной смеси, оптимизации технологии набрызгбетонирования [3, 4, 5, 6].

Как следует из обзора литературных источников важнейшим фактором, влияющим на свойства набрызгбетона, является характеристики используемого вяжущего вещества. В большинстве

случаев это портландцемент, широко представленный на рынке строительных материалов. Однако достижение требуемых свойств для высококачественного набрызгбетона требует повышенных расходов цемента, пластификаторов, стабилизаторов и других добавок [4, 6, 7].

Расчет набрызгбетонных конструкций ведется согласно нормативному документу ВСН 126-90 «Крепление выработок набрызгбетоном и анкерами при строительстве транспортных тоннелей и метрополитенов. Нормы проектирования и производства работ», толщина набрызгбетонной конструкции h_H рассчитывается из соотношения:

$$h_H \geq 0,9 \frac{m_1 m_2 m_3}{f_{кр.р}} \sqrt{u \frac{3\gamma_{гр}}{R_{bt}}} \quad (1)$$

где R_{bt} – расчетное сопротивление набрызгбетона на осевое растяжение по первой группе предельных состояний, МПа; m_1, m_2, m_3 – коэффициенты условий работы, u – размер возможного вывала; $\gamma_{гр}$ – объемный вес грунта вывала; $f_{кр.р}$ – расчетное значение коэффициента крепости грунта «в массиве». Т.е. за счёт повышения сопротивления на растяжения в 4 раза можно уменьшить толщину обделки в 2 раза.

В соответствии с ГОСТ 10180-2012 «Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам» (табл. Л.1.) для тяжелых бетонов с прочностями на сжатие от В15 до В40 значения коэффициентов перехода напряженного состояния от прочности по сжатию к осевому растяжению и растяжению при изгибе допускается принимать как 0,07 и 0,012. Для определения качественной характеристики набрызгбетона, показывающей повышение её несущей способности были приняты сравнение прочностных показателей бетонных образцов на сжатие и растяжение при изгибе согласно ГОСТ 10180-2012 с пересчётом возможной оптимизации параметров обделки.

Для повышения показателей бетонных смесей в плане показателей прочности на изгиб (и соответственно на осевое растяжение) традиционно применяется введение фибры в бетонную смесь и модификацию вяжущих веществ.

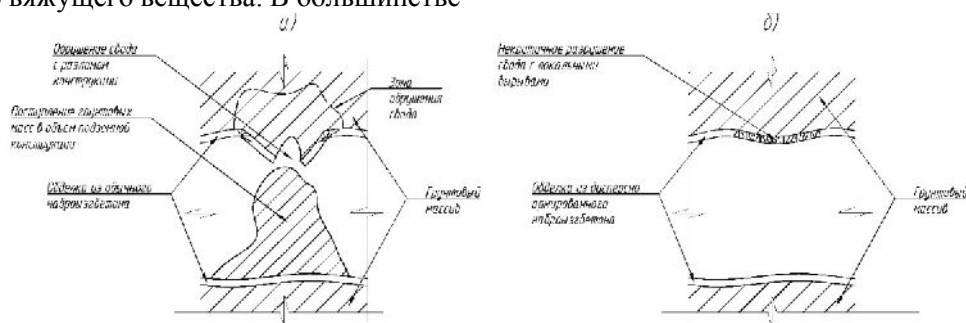


Рис. 1. Сравнение характера обрушения свода из набрызгбетона для традиционной крепи (а) и для набрызгбетонной крепи, армированной дисперсными волокнами (б)

Проведенный в статье обзорный анализ по более ранним исследованиям (в том числе и работ авторов) по вопросу получения и применения набрызгбетонирования позволил выявить следующий аспект: за счет оптимизированных характеристик бетонной смеси возможно повышение несущей способности набрызгбетонных конструкций или её использование в случае повышенных значений горного давления. Кроме того, при проектировании подземных конструкций должен учитываться факт возможной эвакуации при аварийной ситуации. Так благодаря комбинированному использованию фибронабрызгбетона на модифицированном вяжущем можно использовать безопасное создание набрызгбетонной отделки, которая в отличие от традиционной имеет невзрывной характер обрушения без вывалов и поступления вмещающей породы в эксплуатируемое пространство и позволяет некоторое время эксплуатировать подземное сооружение (см. рис. 1, 2) [6].

Авторами на базе кафедры «Технология вяжущих веществ и бетонов» МГСУ в целях повышения качественных показателей набрызгбетона было разработано композиционное вяжущее (КВ) для использования в технологии набрызга. Составы набрызгбетона на основе КВ комплексно исследовались с целью адаптации технологии и возможности применения разработанной модификации, с учетом, возможного введения дисперсных компонентов (пластиковой и металлической фибры). Использование на строительных объектах фибронабрызгбетона с композиционным вяжущим показывает высокую технологичность и повышенные количественно-качественные показатели материала, что подтверждается работами на опытных участках Московского метрополитена и зарубежными работами иностранных авторов [3, 6, 7].

Разработанное композиционное вяжущее имеет оптимизированный гранулометрический и минералогический состав, и по сравнению с портландцементом имеет сниженный объем межзерновых пустот. Обычный цемент имеет случайный зерновой состав, в котором часть мелких зерен расположена в межзерновом пространстве более крупных, а объемные зоны между мелкими зернами соответственно ничем не заполнены [8, 9]. В композиционном вяжущем (КВ) имеется более широкий спектр мелких зерен, которые заполняют те зоны, которые в обычном цементе являются воздушной порой.

За счет введения в состав стандартного портландцемента М500 диспергированных микронаполнителей не только существенно повышается плотность упаковки частиц вяжущего и улучша-

ются его свойства, обеспечивается плотная и качественная контактная зона между растворной частью и подложкой [10, 11]. Особенностью предлагаемого микронаполнителя является воспроизводимый плавный гранулометрический состав, постоянство физико-химических свойств и способность к самостоятельному гидратационному твердению. Иные типы микронаполнителей являются отходами различных производств или добываются из природных материалов, характеризуются нестабильной гранулометрией, непостоянными физико-химическими свойствами, не обладают сколь либо значимой самостоятельной способностью к гидратационному твердению, требуют построения сложных моделей расчёта составов с учетом их дисперсности [12]. Используемый наполнитель двух модификаций «Экстра» и «Ультра» в составе КВ представляет собой гидравлически активный тонкозернистый порошок, изготавливаемый методом воздушного сепарирования предварительно размолотых до высокой удельной поверхности подобранных минеральных компонентов ($d_{95}=5,5$ и $8,5$ мкм. и содержание частиц менее $0,1$ мкм. до 10 и 5% соответственно).

В качестве базового вяжущего применялся портландцемент М500Д0 $S_{уд}=3025$ см²/гр. Активный микронаполнитель имел удельную поверхность $S_{уд}=16500$ и 22500 см²/гр. В качестве мелкого заполнителя использовались кварцевые пески ($M_{кр}=2,4; 1,8; 0,9$). Для повышения удобоукладываемости смеси, при заданных водовязущих отношениях, использовались пластифицирующая добавка на основе поликарбоскислатных эфиров. Испытания образцов производились в соответствии с ГОСТ 10180-2012 «Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам».

Использование микронаполнителя с заданными гранулометрическими параметрами зерен позволяет заполнять межзерновое пространство гранул стандартной фракции портландцемента частицами с размерами, сравнимыми с объемом образованной поры. При подборе состава композиционного вяжущего также должно учитываться максимальное заполнение межзернового пространства микронаполнителем в заданном объеме без его превышения с исключением эффекта расклинивания крупных частиц. Содержащиеся в наполнителе наночастицы в свою очередь заполняют самые мелкие поры и способствуют уплотнению структуры на микроуровне [11].

Было отмечено, что пластичность смеси увеличивается и повышается её связность, также улучшается сцепление свежего бетона с подлож-

кой и соседними слоями при набрызге, что позволяет существенно повысить качество конструкции. Составы на КВ отличались увеличенными прочностными показателями и сниженной проницаемостью. Также был выполнен комплекс исследований составов и свойств мелкозернистых (безщебёночных) бетонов для условий набрызгбетонирования с учетом местной сырьевой базы кварцевых песков с различным модулем крупности.

На подвижность бетонных смесей оказывает влияние модуль крупности ($M_{кр}$) песка. Как показано в табл. 1 при понижении $M_{кр}$ песка снижается прочность и пластичность бетонной смеси, что объясняется повышением необходимого количества воды затворения для полного смачивания всех зерен инертного заполнителя. При использовании композиционного вяжущего повышается прочность и снижается количество воды, необходимое для обеспечения требуемой удобоукладываемости смеси.

Таблица 1

Зависимость увеличения подвижности бетонной смеси и прочности на сжатие от модуля крупности мелкого заполнителя, содержания и типа микроцемента

№ п/п	Вяжущее	ПЦ-500, %	Мн Экстра ($d_{95}=5,5$ мкм.), %	Мн Ультра ($d_{95}=8,5$ мкм.), %	$M_{кр}$ песка	Диаметр распыла, мм.	Прочность бетона на сжатие, МПа
1	ПЦ-500	100	—	—	0,9	245	41,2
2	КВ-1	85	—	15	0,9	270	46,5
3	КВ-2	85	15	—	0,9	290	51,1
4	ПЦ-500	100	—	—	1,9	255	49,5
5	КВ-1	85	—	15	1,9	275	53,5
6	КВ-2	85	15	—	1,9	300	57,0
7	ПЦ-500	100	—	—	2,4	270	53,7
8	КВ-1	85	—	15	2,4	315	58,6
9	КВ-2	85	15	—	2,4	330	61,1

Подземные конструкции ввиду своих особенностей имеют разнонаправленно действующие нагрузки по всей внешней объемной поверхности, что в некоторых случаях заставляет материал конструкций работать не только на сжатие,

но и на растяжение, изгиб, сдвиг и т.д. Как известно бетон хорошо работает на сжатие и плохо на изгиб и растяжение.

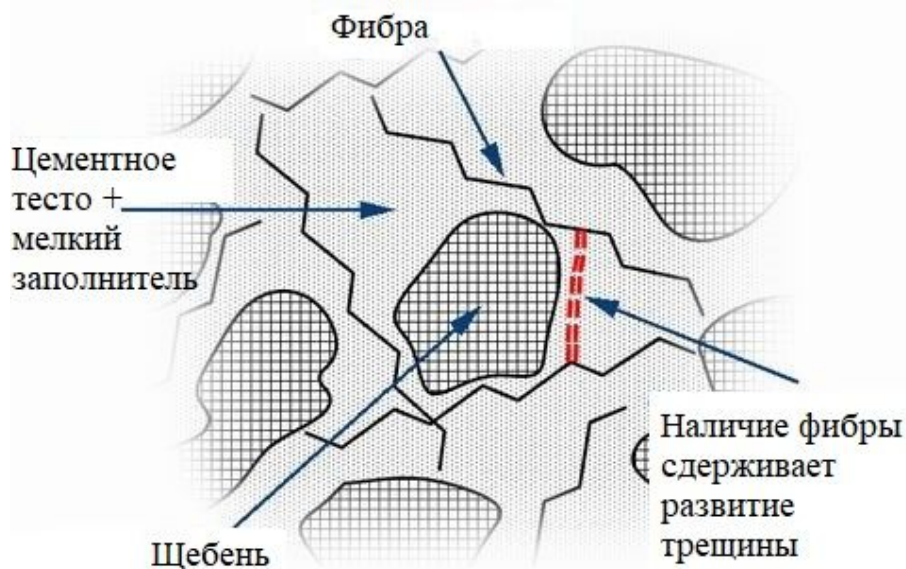


Рис. 2. Механизм повышения трещиностойкости набрызгбетонной смеси при добавлении фибры в исходную готовую бетонную смесь (Источник <https://1beton.info/proizvodstvo/rabota/armirovanie/kak-pravilno-armirovat-beton-posledovatelnost-poleznye-sovet>)

Поэтому в подземных конструкциях необходимо повышать деформационные показатели набрызгбетона или предусматривать соответ-

ствующее армирование, что удорожает и осложняет работы в ограниченных подземных условиях. В этой связи эффективным способом повышения качества конструкций из набрызгбетона,

является комбинация использования не только композиционных вяжущих, но и расширяющихся компонентов, химических добавок и введение в состав бетонной смеси фибры различного состава [13, 14]. Это обеспечивает повышенную

прочность набрызбетона при растяжении и изгибе, повышенную трещиностойкость, а также увеличивает водонепроницаемость и долговечность [15, 16].

Таблица 2

Прочность на растяжение при изгибе мелкозернистого фибронабрызбетона на основе композиционного вяжущего

№ п/п	Вяжущее	ПЦ-500, %	Мн Экстра ($d_{95}=5,5$ мкм.), %	Мн Ультра ($d_{95}=8,5$ мкм.), %	Фибра	Прочность бетона на изгиб, МПа
1	ПЦ-500	100	—	—	без фибры	6,8
2	КВ-1	85	—	15	без фибры	8,5
3	КВ-2	85	15	—	без фибры	9,1
4	ПЦ-500	100	—	—	полипропилен	8,9
5	КВ-1	85	—	15	полипропилен	11,9
6	КВ-2	85	15	—	полипропилен	13,1
7	ПЦ-500	100	—	—	сталь	12,7
8	КВ-1	85	—	15	сталь	15,9
9	КВ-2	85	15	—	сталь	16,7

При использовании дисперсного армирования синтетическими или металлическими волокнами можно добиться снижения материалоемкости бетонных конструкций, исключения арматурных работ и производства армокаркасов, возведения в более короткие сроки. Таких результатов возможно достичь при замене армирования в традиционных железобетонных конструкциях стандартных элементов (каркасов, сочленения

стержней и сеток) на дисперсное армирование, и некоторой переналадке технологии при приготовлении бетонных смесей за счет наличия дополнительных ёмкостей фиброволокна. Добавление фиброволокна можно дозировать и непосредственно загружать как в сухие смеси для набрызга, так и в готовые бетонные составы в условиях действующего строительного участка.



Рис. 3. Пример механизма разрушения фибронабрызбетона при превышении предела критической нагрузки, характерной для неармированных образцов (заметен процесс сдерживания фибры от критического «взрывного» отрыва для образцов с дисперсным армированием) – увеличение $\times 100$
(Источник: <http://masters.donntu.org/2015/igg/barsuk/library/article2.htm>)

С целью повышения качественных показателей набрызбетона, в его состав вводили фибру: полипропиленовую фибру «ПолиАрм» – 8 кг/м³ (длина – 50 мм, толщина – 0,6 мм, ширина – 1,2 мм.) и стальную фибру «Dramix 3D 45/50BL» – 85 кг/м³ (длина – 50 мм, толщина – 1,05 мм).

Введение фибры в состав бетона на композиционном вяжущем и её распределение в системе, позволяет повысить трещиностойкость, деформативные характеристики и долговечность бетона [3, 17]. Также были проведены испытания образцов бетона на мелком заполнителе $M_{кр}=1,9$

с отношением П/Ц=1,5; В/Ц=0,4; дозировка гиперпластификатора – 0,3÷1,5 % от массы цемента.

В целях изучения микроструктуры были выполнены комплексные исследования с применением электронного сканирующего микроскопа XL 30 ESEM-FEG. Были исследованы образцы гидратированного вяжущего и контактные зоны «заполнитель-фибра-вяжущее». В процессе исследований было отмечено достаточно равномерное распределение фибры в объеме цементного камня и бетона, в объеме композиционного

вяжущего заметны тонкие новообразования и частично непрореагировавшие частицы мелкодисперсных частиц (см. рис. 4).

В процессе вовлечения в гидратацию более мелких составляющих вяжущего вещества создавалась более плотная упаковка цементного камня и контактной зоны [3]. В зоне «вяжущее-фибра» выделяются гидратированные дисперсные частицы микрочастиц, обеспечивающие плотное прилегание фибры с вяжущим.

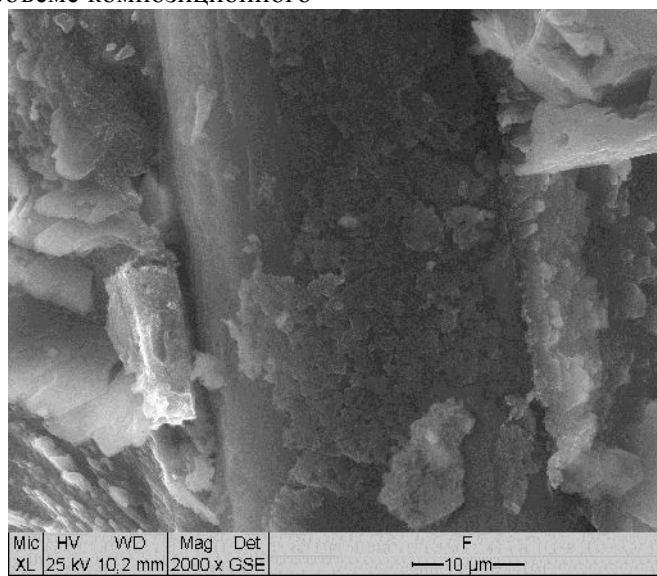


Рис. 4. Контактная зона гидратированного композиционного вяжущего и стальной фибры – увеличение $\times 2000$

В результате обработки ряда экспериментальных данных авторов [3, 5, 6] и табл. 1, 2 было установлено, что формирование структуры бетона, величина общей пористости, а также параметры капиллярно-пористой структуры на макро- и микроуровне зависят не только от величины водовяжущего отношения и степени гидратации, но и от вида микронаполнителей. При этом микронаполнитель оценивается не только по тонкости измельчения и величине удельной поверхности, но и по характеристике его гранулометрического и минерального состава. В результате опытов установлено, что оптимизация гранулометрического состава вяжущего повышает физико-технические свойства бетона на его основе, что согласуется с теоретическими представлениями критериев регулирования свойств дисперсных систем [6, 7, 8]. Полученные результаты были оформлены соответствующей заявкой на изобретение с получением положительного решения и защищены соответствующим патентом [18].

На подвижность до определенного предела также оказывает влияние модуль крупности (Мк) песка. В таблице 1 приведены результаты испытаний, из которых следует, что при повышении модуля крупности песка удобоукладываемость

смеси возрастает. Однако следует учитывать, что при дальнейшем повышении Мкр песка повышается межзерновая пустотность инертного заполнителя, что требует повышения расхода вяжущего или заполнения возникающих пустот фракциями более мелкого инертного заполнителя. При мокром способе набрызга (основной способ сооружения в закрытых выработках ввиду сильного пыления при сухом способе) в основном используются достаточно подвижные смеси, которые позволяют транспортировать её по технологическим трубопроводам набрызг-установки и равномерно наносить её на поверхность (бетонные смеси низкой подвижности склонны к комкованию при нанесении мокрым способом и неровной поверхности набрызгбетонной конструкции).

При пересчете показателей характеристик бетонных смесей по формуле (1) и соответствующих коэффициентов пересчета по ГОСТ 10180-2012 можно сделать вывод что набрызгбетон при модифицировании вяжущего и дисперсном армировании позволяет снизить толщину обделки на 35–65 %, или допустить использование при более высоких темпах роста горного давления за счет общего повышения прочностных показателей и применять в более неустойчивых грунтах.

Кроме того можно констатировать что дисперсное армирование набрызгбетона позволяет повысить безопасность подземных сооружений за счет исключения «взрывного» характера обрушения свода и стеновых конструкций из фибронабрызгбетона и увеличения времени эвакуации.

Применение добавки, способной к самостоятельному гидравлическому твердению на основе микроцемента создает более плотную контактную зону «фибра-цементный камень», повышает прочностные показатели набрызгбетона и его эксплуатационную надежность.

Проведенный в статье обзорный анализ (в т.ч. результатов ранних исследований авторов) позволяет сделать следующие выводы:

1. Возможно получение составов мелкозернистого набрызгбетона с повышенной прочностью на растяжение при изгибе до 10 МПа, что оптимизирует возможности проектирования набрызгбетонных конструкций.

2. Введение в состав базового портландцемента микронаполнителя с высокой степенью самостоятельной гидравлической активности ($d_{95} \leq 5,5$ мкм, $d_{10} \leq 0,1$ мкм) в количестве 15–21 %, позволяет повысить подвижность смеси и прочность набрызгбетона.

3. При совместном введении в состав композиционного вяжущего и фибры улучшаются физико-механические и технологические свойства фибронабрызгбетона: удобоукладываемость смеси, предел прочности на изгиб и сжатие.

4. Исследования микроструктуры бетона на основе композиционного вяжущего с микроцементными позволило установить качественную контактную зону как стальной, так и полипропиленовой фибры с цементным камнем, повышение плотности упаковки композиционного вяжущего, что является главной предпосылкой для получения конструкций с повышенной прочностью и долговечностью.

5. Комбинирование методов модифицирования бетонных смесей, используемых при набрызге и введения в их состав фиброволокон позволяет снижать толщину обделок, применять их в грунтах с повышенными критериями горного давления, повысить безопасность эксплуатации в аварийных ситуациях что особенно важно для подземных сооружений в условиях крупных городов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Alan Bloodworth, Jiang Su. Numerical analysis and capacity evaluation of composite sprayed concrete lined tunnels // *Underground Space*. 2018.

Vol. 3, Iss. 2. Pp. 87–108. DOI: 10.1016/j.undsp.2017.12.001.

2. Isaac Galobardes, Sergio H. Cavalaro, Chris I. Goodier, Simon Austin, Ángel Rueda. Maturity method to predict the evolution of the properties of sprayed concrete // *Construction and Building Materials*. 2015. Vol. 79. Pp. 357–369. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2014.12.038.

3. Алексеев В.А., Харченко А.И., Соловьев В.Г., Никоноров Р.Н. Набрызгбетон в шахтном строительстве // *Вестник МГСУ*. 2017. Т. 12. №7 (106). С. 780–787. DOI: 10.22227/1997-0935.2017.7.780-787.

4. Nicolas Ginouse, Marc Jolin. Mechanisms of placement in sprayed concrete // *Tunnelling and Underground Space Technology*. 2016. Vol. 58. Pp. 177–185. DOI: 10.1016/j.tust.2016.05.005

5. Алексеев В.А., Баженов Ю.М., Баженова С.И., Баженова О.Ю., Бисембаев Р.С., Мирончук Н.С. Добавки с самостоятельной гидравлической активностью для набрызгбетона // *БСТ: Бюллетень строительной техники*. 2018. № 8 (1008). С. 61–63.

6. Alekseev V.A., Bazhenov Yu.M., Bazhenova S.I., Bazhenova O.Yu., Golovashchenko N.A., Mironchuk N.S. Modified binder for sprayed concrete // *БСТ: Бюллетень строительной техники*. 2018. №5 (1005). С. 18–19.

7. Isaac Galobardes, Cesar L. Silva, Antonio Figueiredo, Sergio H. P. Cavalaro, Chris I. Goodier. Alternative quality control of steel fibre reinforced sprayed concrete (SFRSC) // *Construction and Building Materials*. 2019. Vol. 223. Pp. 1008–1015. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2019.08.003.

8. Белов В.В., Образцов И.В. Компьютерное оптимизирование зерновых составов строительных композитов на основе цементно-минеральных смесей // *Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета*. 2014. №3. С. 172–178.

9. Петропавловская В.Б., Новиченкова Т.Б., Белов В.В., Бурьянов А.Ф. Гранулометрический состав как критерий регулирования свойств дисперсных систем // *Строительные материалы*. 2013. №1. С. 64–65.

10. Курочка П.Н., Гаврилов А.В. Соотношение размера частиц в полидисперсных структурах как первый шаг к оптимизации составов композиционных вяжущих // *Инженерный вестник Дона*. 2013. № 2 (25). С. 7.

11. Федюк Р.С., Баранов А.В., Хроменок Д.В., Зеленский И.Р., Ким С.В. Уплотнение структуры цементного камня в бетоне за счет эффективного использования композиционного вяжущего // *Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета*. 2019. Т. 21. № 3. С. 195–206.

12. Тарарушкин Е.В. Восстановление плотности распределения частиц дисперсных материалов методом окна Парзена-Розенблатта // Вестник МГСУ. 2018. Т. 13. №7 (118). С. 855–862. DOI: 10.22227/1997–0935.2018.7.855-862.

13. Соловьев В.Г., Бурьянов А.Ф., Елсуфьева М.С. Особенности производства сталефибробетонных изделий и конструкций // Строительные материалы. 2014. № 3. С. 18–21.

14. Masoud Ghahremannejad, Maziar Mahdavi, Arash Emami Saleh, Sina Abhaee, Ali Abolmaali. Experimental investigation and identification of single and multiple cracks in synthetic fiber concrete beams // Case Studies in Construction Materials, 2018. Vol. 9. Article e00182. DOI: 10.1016/j.cscm.2018.e00182.

15. Ozkan Sengul. Mechanical properties of slurry infiltrated fiber concrete produced with waste steel fibers // Construction and Building Materials,

2018. Vol. 186. Pp. 1082–1091. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2018.08.042

16. Yu Wen Liu, Shih Wei Cho. Study on application of fiber-reinforced concrete in sluice gates // Construction and Building Materials. 2018. Vol. 176. Pp. 737–746.

17. Nurtdinov M., Solovyev V., Panchenko A. Influence of composite fibers on the properties of heavy concrete // MATEC Web of Conferences "5th International Scientific Conference "Integration, Partnership and Innovation in Construction Science and Education", IPICSE 2016" 2016. С. 04026. DOI: 10.1051/mateconf/20168604026.

18. Патент на изобретение RUS 2622057 27.10.2015. Сухая смесь для приготовления бетона и строительного раствора и применение сухой смеси. Алексеев В.А., Харченко И.Я., Харченко А.И., Матвеев К.Н.

Поступила в октябре 2019 г.

© Алексеев В.А., Баженова С.И., 2020

Информация об авторах

Алексеев Вячеслав Александрович, заведующий лабораторией кафедры «Технологии вяжущих веществ и бетонов». E-mail: 634586@mail.ru. Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет. Россия, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26.

Баженова Софья Ильдаровна, кандидат технических наук, доцент кафедры «Технологии вяжущих веществ и бетонов». E-mail: sofia.bazhenova@gmail.com. Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет. Россия, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26.

Alekseev V.A., *Bazhenova S.I.

National Research Moscow State University of Civil Engineering

**E-mail: sofia.bazhenova@gmail.com*

OPTIMIZATION OF CONCRETE COMPOSITIONS FOR SPRAYED CONCRETE IN THE CONSTRUCTION OF UNDERGROUND STRUCTURES

Abstract. The formation of concrete structures by spraying method is widely used in the construction of underground structures. The technology of sprayed concrete (otherwise known as shotcrete) is widely used for fixing underground development, in the device of permanent lining of tunnels and collectors, as elements of shells and supporting structures of underground structures of urban infrastructure. Sprayed concrete makes it possible to widely vary the shape and thickness of design of underground structures, allowing to eliminate formwork and in some cases reinforcing. The creation of shotcrete structures with increased physical and mechanical properties, as well as technological parameters should be carried out taking into account the latest achievements in the field of construction materials science. The authors investigate the optimized compositions of sprayed concrete in which modified compound with optimally selected granulometric and mineralogical composition and the introduction of fiber into the concrete mixture are used as a binder. Due to the use of different degrees of stability in underground structures with a containing soil mass, the requirements for the characteristics of the spray tone can vary widely. Taking into account the wet spraying process (when the finished concrete mixture is fed to the nozzle at a high speed), special requirements are placed on the rheological characteristics of the mixture and the deformation characteristics during bending (since the bearing capacity of the vaulted coatings depends directly on their ability to withstand loads in stretched zones), especially for lining of complex contour.

Keywords: underground structures, underground construction, sprayed concrete, shotcrete, composite binder, microfill, optimization.

REFERENCES

1. Alan Bloodworth, Jiang Su. Numerical analysis and capacity evaluation of composite sprayed concrete lined tunnels. *Underground Space*. 2018. Vol. 3, Iss. 2. Pp. 87–108. DOI: 10.1016/j.undsp.2017.12.001.
2. Isaac Galobardes, Sergio H. Cavalaro, Chris I. Goodier, Simon Austin, Angel Rueda. Maturity method to predict the evolution of the properties of sprayed concrete. *Construction and Building Materials*. 2015. Vol. 79. Pp. 357–369. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2014.12.038.
3. Alekseev V.A., Kharchenko A.I., Solovyev V.G., Nikonov R.N. Nabry`zgbeton v shaxtnom stroitel'stve [Shotcrete in mine construction]. *Vestnik MGSU [Proceedings of the Moscow State University of Civil Engineering]*. 2017. Vol. 12. №7 (106). Pp. 780–787. DOI: 10.22227/1997-0935.2017.7.780-787. (rus)
4. Nicolas Ginouse, Marc Jolin. Mechanisms of placement in sprayed concrete // *Tunnelling and Underground Space Technology*, Vol. 58, 2016, Pp. 177–185. DOI: 10.1016/j.tust.2016.05.005.
5. Alekseev V.A., Bazhenov Ju.M., Bazhenova S.I., Bazhenova O.Ju., Bisembaev R.S., Mironchuk N.S., Additives with independent hydraulic activity for sprayed concrete. *Bulletin of construction machinery*. 2018. No. 8 (1008). Pp. 61–63. (rus)
6. Alekseev V.A., Bazhenov Yu.M., Bazhenova S.I., Bazhenova O.Yu., Golovashchenko N.A., Mironchuk N.S. Modified binder for sprayed concrete. *Bulletin of construction machinery*. 2018. No. 5 (1005). Pp. 18–19.
7. Isaac Galobardes, Cesar L. Silva, Antonio Figueiredo, Sergio H.P. Cavalaro, Chris I. Goodier. Alternative quality control of steel fibre reinforced sprayed concrete (SFRSC). *Construction and Building Materials*. 2019. Vol. 223. Pp. 1008–1015. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2019.08.003.
8. Belov V.V., Obratsov I.V. Komp'yuternoe optimizirovanie zernovy`x sostavov stroitel'ny`x kompozitov na osnove cementno-mineral'ny`x smesey [Computer optimization of grain composition building composites based on cement-mineral mixtures]. *Proceedings of the Kazan State Academy of Architecture and construction [Izvestiya Kazanskogo gosudarstvennogo arxitekturno-stroitel'nogo universiteta]*. 2014. No. 3. Pp. 172–178. (rus)
9. Petropavlovskaya V.B., Novichenkova T.B., Belov V.V., Buryanov A.F. Granulometric composition as a criterion for regulating the properties of disperse systems. *Building materials*. 2013. No. 1. Pp. 64–65. (rus)
10. Kurochka P.N., Gavrilov A.V. The ratio of particle size in polydisperse structures as the first step to optimize the composition of composite binders. *Engineering Bulletin of Don [Inzhenerny`j vestnik Dona]*. 2013. No. 2(25). Pp. 7. (rus)
11. Fediuk R.S., Baranov A.V., Khromenok D.V., Zelenskiy I.R., Kim S.V. Uplotnenie struktury` cementnogo kamnya v betone za schet e`ffektivnogo ispol'zovaniya kompozitsionnogo vyazhushhego [Cement stone structure compaction with composite binder]. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture*. 2019. Vol. 21. No. 3. Pp. 195–206. DOI: 10.31675/1607-1859-2019-21-3-195-206. (rus)
12. Tararushkin E.V. Vosstanovlenie plotnosti raspredeleniya chastits dispersnykh materialov metodom okna Parzena-Rozenblatta [Reconstructing distribution density of particles for disperse materials by the Parzen–Rozenblatt window method]. *Vestnik MGSU [Proceedings of the Moscow State University of Civil Engineering]*. 2018. Vol. 13, Iss. 7 (118). Pp. 855–862. DOI: 10.22227/1997-0935.2018.7.855-862. (rus)
13. Solovyev V.G., Buryanov A.F., Elsufyeva M.S. Features of production of steel-fiber concrete products and constructions. *Building materials*. 2014. No. 3. Pp. 18–21. (rus)
14. Masoud Ghahremannejad, Maziar Mahdavi, Arash Emami Saleh, Sina Abhaee, Ali Abolmaali. Experimental investigation and identification of single and multiple cracks in synthetic fiber concrete beams. *Case Studies in Construction Materials*. 2018. Vol. 9. Article e00182. DOI: 10.1016/j.cscm.2018.e00182.
15. Ozkan Sengul. Mechanical properties of slurry infiltrated fiber concrete produced with waste steel fibers. *Construction and Building Materials*. 2018. Vol. 186. Pp. 1082–1091. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2018.08.042
16. Yu Wen Liu, Shih Wei Cho. Study on application of fiber-reinforced concrete in sluice gates. *Construction and Building Materials*. 2018. Vol. 176. Pp. 737–746. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2018.05.004
17. Nurtdinov M., Solovyev V., Panchenko A. Influence of composite fibers on the properties of heavy concrete. *MATEC Web of Conferences "5th International Scientific Conference "Integration, Partnership and Innovation in Construction Science and Education", IPICSE 2016"* 2016. 04026. DOI: 10.1051/mateconf/20168604026.
18. The patent for invention RUS 2622057 on 27.10.2015. Dry mix for the preparation of concrete and mortar and the use of dry mix. Alekseev V.A., Kharchenko I.Ya., Kharchenko A.I., Matveev K.N.

Information about the authors

Alexeev, Vyacheslav A. Chief laboratory. E-mail: 634586@mail.ru. National Research Moscow State University of Civil Engineering. Russia, 129337, Moscow, st. Yaroslavskoe Shosse, 26.

Bazhenova, Sofya I. PhD, Associate Professor. E-mail: sofia.bazhenova@gmail.com. National Research Moscow State University of Civil Engineering. Russia, 129337, Moscow, st. Yaroslavskoe Shosse, 26.

Received in October 2019

Для цитирования:

Алексеев В.А., Баженова С.И. Оптимизация бетонных составов для набрызгбетонирования при сооружении подземных конструкций // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2020. №1. С. 8–17. DOI: 10.34031/2071-7318-2020-5-1-8-17

For citation:

Alekseev V.A., Bazhenova S.I. Optimization of concrete compositions for sprayed concrete in the construction of underground structures. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2020. No. 1. Pp. 8–17. DOI: 10.34031/2071-7318-2020-5-1-8-17

DOI: 10.34031/2071-7318-2020-5-1-18-25

Курлыкина А.В., Денисов В.П., Кузнецов Д.А., Лукаш Е.А.Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова***E-mail: anastasiyakurlikina@yandex.ru*

ЩЕБЕНОЧНО-МАСТИЧНЫЙ АСФАЛЬТОБЕТОН С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СЕРОВОВЛЕКАЮЩИХ ТЕХНОЛОГИЙ

Аннотация. К одной из главных причин уменьшения срока службы дорожных асфальтобетонных покрытий (появление и развитие повреждений в виде колеи, различного рода пластических деформаций, выбоин, трещин и т.д.) относится невысокое качество используемых нефтяных битумов. К физико-механическим свойствам дорожных битумов предъявляют ужесточенные требования, особенно это касается органических вяжущих используемых для производства щебеночно-мастичного асфальтобетона (ЩМА), поэтому, на наш взгляд, разработка битумных вяжущих с повышенными физико-механическими свойствами является одной из ключевых и наиболее актуальных задач в дорожном строительстве. Данная проблема решается за счёт введения в состав вяжущего различных модификаторов. В данной статье приведены результаты исследования битума, модифицированного с помощью введения в состав технической серы. Показано влияние модифицирования вяжущего на физико-механические свойства дорожных асфальтобетонов на примере щебеночно-мастичного асфальтобетона (ЩМА-20) относительно базовых образцов, изготовленных для контроля динамики изменения показателей свойств композитов выполненных с использованием серововлекающих технологий. Для комплексной оценки эффективности модифицирования щебеночно-мастичного асфальтобетона на основе различных вяжущих был рассчитан обобщенный критерий качества, с учетом рассчитанных частных критериев качества и различных значений коэффициентов весомости. Произведено сравнение и анализ полученных критериев эффективности.

Ключевые слова: модифицированные вяжущие, щебеночно-мастичный асфальтобетон (ЩМА).

Введение. В современном мире активно ведутся исследования, направленные на создание материалов, характеризующихся совокупностью улучшенных показателей свойств. В связи с этим, направление модифицирования битума различными добавками в области дорожно-строительных материалов является актуальным.

В настоящее время прослеживается бум использования щебеночно-мастичного асфальтобетона (ЩМА) при устройстве покрытий автомобильных дорог. В качестве вяжущего компонента в смеси выступают битумы нефтяные дорожные вязкие по ГОСТ 22245-90 и ГОСТ 33133-2014 [1, 2], вяжущие полимерно-битумные (ПБВ) по ГОСТ Р 52056-2003 [3], а также битумные вяжущие усовершенствованные различными модификаторами по ГОСТ Р 58400.3-2019 [4].

Популярностью в дорожно-строительном сегменте ЩМА обязана совокупности показателей свойств и особенностям структуры, обуславливающих: способность сопротивляться разрушающему воздействию от движущихся транспортных единиц техники и природно-климатических условий, повышенная сдвигоустойчивость, что в комплексе позволяет прогнозировать долгосрочную бездефектную эксплуатацию композита.

Отличительной чертой смесей ЩМА относительно традиционных асфальтобетонных смесей является меньшая остаточная пористость, что

вполне обосновано повышенным содержанием щебня и вяжущего, формирующего совместно с минеральным порошком и стабилизирующей добавкой – мастичную систему, выполняющую функцию клея в композите. Таким образом, использование качественного вяжущего является важным аспектом на пути увеличения сроков службы дорожных покрытий.

Основная часть. Определяющая структурообразующая роль битума в совокупности с минеральным порошком в составе щебеночно-мастичного асфальтобетона, определяют необходимость методично и обосновано подходить к целенаправленному регулированию свойств органических вяжущих для обеспечения работоспособности покрытий дорог при системно увеличивающейся нагрузке. Достижение обозначенных позиций возможно направленной корректировкой свойств битума различными модификаторами: полимерными добавками, антиоксидантами, наномодификаторами, поверхностно-активными веществами (ПАВ) и т.д. [5–6].

Традиционно, для обеспечения необходимого качества органических вяжущих применяются два основных направления модификации: технологический и рецептурный.

К числу перспективных направлений по модифицированию битумов относится использование серы, как многотоннажного сырья, образующегося при переработке нефти. Использованию

серы в качестве модификатора асфальтобетона способствуют следующие факторы [7–9]:

- утилизация серы и снижение расходов на её хранение и утилизацию;
- сокращение содержания битума в композите, за счет замены серой, без снижения его качества;
- снижение объёма инвестиций на закупку органических вяжущих для строительства и эксплуатации дорожных покрытий;
- прирост прочностных и эксплуатационных характеристик сероасфальтобетонов.

В соответствии с современным уровнем исследований по данной тематике [9], сероасфальтобетоны характеризуются высокими прочностными показателями и теплоустойчивостью. При этом, как утверждают исследователи, увеличения жесткости в композите при низких температурах не наблюдается. Симбиоз таких свойств должен позволить снизить образование пластических деформаций летом в слоях дорожных одежд и трещин на покрытии в холодное время года.

Так же, есть мнение [10], что приготовление сероасфальтобетонных смесей возможно с уменьшением температур нагрева сырьевых компонентов, без потери технологичности при смешении и укладки смесей в покрытие.

Использование серы в технологии приготовления асфальтобетонных смесей можно отнести к комплексному методу модификации, что обуславливается не только введением серы как дополнительного компонента, но и необходимостью выполнения ряда технологических операций, для минимизации экологической нагрузки на эко- и биосистемы. История вовлечения серы как модификатора битума не нова.

Например, Bencovitz и Вое [11] уже в 1938 году в журнале ASTM опубликовали статью по добавкам серы в битум. На данный момент зарубежные исследования серобитумных вяжущих не прекратились и активно ведутся поисковые работы [12–17]. А исследования тайваньских учёных [18] показали возможность использования серы как сшивающего и стабилизирующего агента в составах ПБВ при взаимодействии с полимерами типа СБС.

В разные периоды интерес к сере, как модификатору битумов, обострялся. В соответствии с ним, в отечественной литературе встречаются разработки [19–21] по использованию различных составов серобитумного вяжущего и способах его приготовления. Предлагаются решения таких проблем как токсичность (добавляют каучук и жирные кислоты, для предотвращения выделения сероводорода, устанавливают температур-

ные режимы при приготовлении модифицированного вяжущего), разрабатывают различного рода добавки для улучшения смешения серы с органическим вяжущим и, следовательно, снижения энергозатрат. В настоящее время, серововлекающие технологии вновь находятся на пике популярности.

В представленной работе, освещается проблематика использования серы, как компонента для модифицирования органических вяжущих и ЩМА на их основе.

В качестве объектов исследования в работе выступал ЩМА-20, приготовленный на различных видах вяжущего:

- исходный битум БНД 60/90 (I);
- битум БНД 60/90, модифицированный серой (II);
- битум БНД 60/90, модифицированный комплексной добавкой на основе серы и полимера «LG» (III);

Добавка серы представляет собой элементарную серу, в избытке образующуюся при нефтепереработке. Было установлено, что оптимальное и рациональное содержание серы при модифицировании битума составляет 15 %.

Комплексная добавка (III) представляет собой гранулы, предназначенные для оперативного приготовления составов модифицированных вяжущих, по механизму действия идентичных ПБВ. В состав гранул входит сера, нейтрализованная дополнительными компонентами, воск и полимер. Оптимальное содержание добавки составило 11 % по мас.

В работе использовались нормативно технические требования к вяжущим в соответствии с ГОСТ 22245-90 [1]. Физико-механические показатели свойств, используемых вяжущих, представлены в таблице 1.

Как видно, полученные значения соответствуют нормативным требованиям к вяжущим [1, 3].

На следующем этапе были подобраны составы ЩМА–20.

Отличие от асфальтобетона, для структуры ЩМА характерно повышенное содержание битума, которое обеспечивает на зернах минеральных материалов, в тандеме со стабилизирующей добавкой, развитые слои. Поэтому, при подборе состава щебёночно-мастичного асфальтобетона, показатели устойчивости смеси к расслаиванию являются определяющими. Также, базовыми показателями при подборе составов являются стекание и остаточная пористость композита.

Подбор минеральной части ЩМАС базировался на требованиях ГОСТ 31015-2002 [22]. Для исследуемых серий композитов подобранное содержание битума являлось константой – 6,1 %.

Испытание образцов ЩМА производили в соответствии с требованиями ГОСТ 31015-2002 [3].

Результаты испытаний образцов представлены в таблице 2.

Таблица 1

Свойства используемого органического вяжущего

Наименование показателя	Требования ГОСТ 22245 БНД 60-90	Наименование вяжущего			ГОСТ Р 52056-2003 ПБВ 60
		(I)	(II)	(III)	
Глубина проникания иглы: при 25 °С, 0,1 мм при 0 °С, 0,1 мм	61–90 не менее 20	64 41	76 42	67 50	не менее 60 не менее 32
Температура размягчения по кольцу и шару (КИШ), °С	не ниже 47	47,3	47,6	62	не ниже 54
Растяжимость, см: при 25 °С при 0 °С	не менее 55 не менее 3,5	110,0 8,4	103,0 8,3	84,4 6,9	не менее 25 не менее 11
Температура хрупкости, °С	не выше -15	-19	-23	-21	не выше -20

Таблица 2

Влияние вида органического вяжущего на физико-механические показатели образцов ЩМА-20

Наименование показателя	По ГОСТ 31015	Используемое вяжущее		
		(I)	(II)	(III)
Стекание, %	не более 0,2	0,09	0,09	0,13
Средняя плотность	–	2,53	2,53	2,53
Пористость минеральной части, %	15–19	16	16,5	16,8
Остаточная пористость, %	1,5–4,5	2,1	1,54	2,1
Водонасыщение, %	1,0–4,0	1,93	2,5	1,85
Предел прочности при сжа- тии, МПа при 20 °С при 50 °С где $\text{tg}\varphi$ сцепление, МПа	не менее 2,2 не менее 0,65 не менее 0,93 не менее 0,18	2,26 0,76 0,98 0,22	3,86 0,69 0,93 0,19	3,44 1,27 0,94 0,23
Трещиностойкость, МПа, при 0 °С	2,5–6,0	4,22	4,7	3,57

Качество щебеночно-мастичного асфальтобетона на основе разработанных вяжущих оценивалось по таким показателям как: водонасыщение, показатель прочности при сжатии при температурах 20 °С, 50 °С, коэффициент трещиностойкости.

Как видно, прочностные показатели образцов соответствуют нормативным требованиям. Использование серобитумного вяжущего положительно повлияло на показатели водонасыщения и предела прочности при сжатии при 20 °С, однако, прочность при 50 °С оказалась неудовлетворительной, что может быть связано с предельно низкой остаточной пористостью. У ЩМА на основе битума, модифицированного комплексной добавкой, показатели физико-механических свойств превышают показатели контрольных образцов.

Однако, для всесторонней оценки анализируемых составов ЩМА, стандартных испытаний на соответствие ГОСТ, недостаточно. Для большей информативности в программу испытаний был включён параметр стойкости к колееобразованию, позволяющий прогнозировать долговечность дорожных покрытий, выполненных на органическом вяжущем, по критерию пластических деформаций. Работа с щебеночно-мастичным асфальтобетоном на основе битумного вяжущего (II) сопровождалась едким запахом в процесс приготовления смеси и формовки образцов.

Результаты испытания на колееобразование для ЩМА-20 на основе органических вяжущих с маркировкой I - III представлены на рисунке 1.

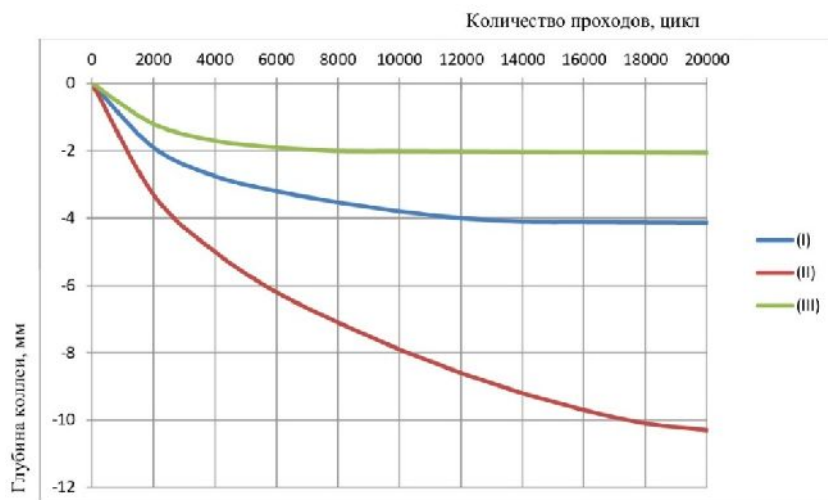


Рис. 1. Интенсивность развития колеи после 20000 проходов у ЩМА-20 на основе битумов (I), (II) и (III)

При оценке результатов выполненных сопоставительных испытаний было установлено: более подвержены процессам колееобразования образцы-плиты ЩМА, приготовленные на базовом битуме БНД 60/90 (I); минимальная колея была зафиксирована на образце, модифицированном комплексной добавкой (III).

Для комплексной оценки эффективности исследуемых композитов на различных вяжущих были рассчитаны частные критерии качества ЩМА-20:

- критерий прочности;

$$k_{R_{\text{сж},20}} = \frac{R'_{\text{сж},20}}{R_{\text{сж},20}}, \quad (1)$$

где $R'_{\text{сж},20}$ и $R_{\text{сж},20}$ — предел прочности при сжатии при температуре 20 °С модифицированного и традиционного щебеночно-мастичного асфальтобетона, соответственно, МПа.

- критерий высокотемпературной прочности;

$$k_{R_{\text{сж},50}} = \frac{R'_{\text{сж},50}}{R_{\text{сж},50}}, \quad (2)$$

где $R'_{\text{сж},50}$ и $R_{\text{сж},50}$ — предел прочности при сжатии при температуре 50 °С модифицированного и традиционного щебеночно-мастичного асфальтобетона, соответственно, МПа.

- критерий сдвигоустойчивости;

$$k_{\text{сдвиг}} = \frac{C'_l \cdot tg'(\varphi)}{C_l \cdot tg(\varphi)}, \quad (3)$$

где C'_l и C_l — лабораторный показатель сцепления при сдвиге модифицированного и традиционного щебеночно-мастичного асфальтобетона, соответственно, МПа; $tg'(\varphi)$ и $tg(\varphi)$ — коэффициент внутреннего трения модифицированного и традиционного щебеночно-мастичного асфальтобетона, соответственно.

- критерий стойкости к образованию колеи;

$$k_k = \frac{h'_k}{h_k}, \quad (4)$$

где h'_k и h_k — глубина колеи после 20000 проходов колесом для образцов из модифицированного и традиционного щебеночно-мастичного асфальтобетона, соответственно, мм.

Полученные значения сведены в табл. 3.

Для оценки эффективности модифицирования щебеночно-мастичного асфальтобетона на основе исследуемых вяжущих, был рассчитан обобщенный критерий качества [23], с учетом рассчитанных частных критериев качества и различных значений коэффициентов весомости по формуле:

$$F_k = \alpha_1 K_{\text{фм}} + \alpha_2 K_{\text{эк}}, \quad (5)$$

где α_1, α_2 — коэффициенты весомости; $K_{\text{фм}} = \sqrt[3]{k_{R_{\text{сж},20}} \cdot k_{R_{\text{сж},50}} \cdot k_{\text{сдвиг}}}$ — критерий физико-механических свойств, характеризующий предел прочности при различных температурах (50 и 20 °С), показатели сдвигоустойчивости (коэффициент внутреннего трения сцепления при сдвиге); $K_{\text{эк}} = \sqrt{k_{\text{кол.}}}$ — коэффициент эксплуатационных свойств, характеризующий стойкость к образованию колеи.

Результаты расчета представлены в таблице 4.

Анализ таблицы 4 показывает, что разработанный состав органического вяжущего, модифицированный комплексной добавкой (III), является более эффективным в сравнении с базовым составом (I). Состав III позволяет увеличить эффективность композиции до 40 %. Установлено, что использование битумного вяжущего модифицированного серой (II) относительно контрольного базового образца не способствовало достижению ожидаемого эффекта, описанного в исследовательских работах [8, 11–19, 21]. В соответ-

ствии с таблицей 4, различная вариация коэффициентов весомости не позволила ЦМА, приго-

товленному на вяжущем состава (II), приблизиться к показателям обобщенного критерия качества базового состава (I).

Таблица 3

Результаты расчета частных критериев качества модифицированного щебеночно-мастичного асфальтобетона

Наименование критерия	Значение частного критерия для составов		
	I	II	III
Физико-механические свойства			
Критерий прочности	1,0	1,71	1,52
Критерий высокотемпературной прочности	1,0	0,91	1,67
Критерий сдвигоустойчивости	1,0	0,82	1,00
Эксплуатационные свойства			
Критерий стойкости к образованию колеи	1,0	0,33	2,0

Таблица 4

Обобщенные критерии качества модифицированных битумов с различными значениями коэффициентов весомости

Значение коэффициентов весомости	Состав ЦМА смеси		
	Состав № 1	Состав № 2	Состав № 3
$\alpha_1 = 0,3$ и $\alpha_2 = 0,7$	1,00	0,72	1,40
$\alpha_1 = 0,4$ и $\alpha_2 = 0,6$	1,00	0,77	1,39
$\alpha_1 = 0,5$ и $\alpha_2 = 0,5$	1,00	0,83	1,39
$\alpha_1 = 0,6$ и $\alpha_2 = 0,4$	1,00	0,88	1,38
$\alpha_1 = 0,7$ и $\alpha_2 = 0,3$	1,00	0,93	1,38

Выводы. Анализируя проделанную работу, можно заключить, что использование модифицированных вяжущих положительно влияет на свойства щебеночно-мастичного асфальтобетона, если при оценке пользоваться исключительно сравнением абсолютных показателей свойств, регламентируемых ГОСТ. Полученные физико-механические свойства образцов ЦМА, приготовленных на вяжущих серии (I-III), полностью соответствуют нормативным требованиям.

Однако, по сравнению с контрольными образцами, композит, приготовленный с использованием вяжущего модифицированного серой склонен к образованию коллейности. Используя для оценки эффективности исследуемых технических решений комплексный подход, учитывающий значения обобщенных критериев качества было установлено, что эффективность ЦМА на вяжущем, модифицированном серой состав (II) неудовлетворительная. Также стоит отметить, что производство серосодержащей асфальтобетонной смеси требует существенно более строгого подхода, прежде всего, к температурным параметрам технологического процесса – при перегреве (свыше 140 °C – 150 °C) выделяется сероводород, что пагубно влияет на экосистему, а характерный запах осложняет работы по производству и укладке таких асфальтобетонов. В связи с этим стоит уделить внимание решению проблем по нейтрализации токсичных газов – сероводо-

рода и диоксида серы, выделяющихся при производстве и укладке сероасфальтобетонных смесей.

Доказано, что применение щебеночно-мастичного асфальтобетона на основе битумного вяжущего серии III, является более эффективным по сравнению с традиционным составом, и требует более детальной и широкой проработки, как эффективный прием по вовлечению серы в технологию производства дорожных асфальтобетонов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. ГОСТ 22245-90. Битумы нефтяные дорожные вязкие. Технические условия (с Изменением N 1). Взамен ГОСТ 22245-76; введ. 01.01.1991. М.: ИПК Издательство стандартов, 2005. 9 с.
2. ГОСТ 33133-2014. Дороги автомобильные общего пользования. Битумы нефтяные дорожные вязкие. Технические требования. Введ. 01.10.2015. М.: Изд-во стандартов, 2015.
3. ГОСТ Р 52056-2003. Вяжущие полимерно-битумные дорожные на основе блоксополимеров типа стирол-бутадиен-стирол. Технические условия. Введ. 01.01.2004. М.: Изд-во стандартов, 2007.
4. ГОСТ Р 58400.3-2019. Дороги автомобильные общего пользования. Материалы вяжущие нефтяные битумные. Порядок определения

марки. Введ. 27.06.2019. М.: ИПК Издательство стандартов, 2019.

5. Высоцкая М.А., Шеховцова С.Ю. Влияние морфологии на качественные показатели полимерно-битумного вяжущего // Мир нефтепродуктов. Вестник нефтяных компаний. 2015. № 11. С. 18–24.

6. Высоцкая М.А., Шеховцова С.Ю. Разработка и анализ составов полимерно-битумных вяжущих на основе метода многокритериальной оптимизации // Строительство: наука и образование. 2017. Т.7, № 4.

7. Использование серы в дорожном строительстве стран Европы и Северной Америки [Электронный ресурс]. URL: <http://www.nes-tor.minsk.by/sn/1998/42/sn84218.htm>. (дата обращения: 12.11.2019)

8. Каганович Е.В., Курчавов В.С. К вопросу использования серы при строительстве и ремонте автомобильных дорог в Республике Казахстан // Вестник КаздорНИИ. 2004. №1. С. 53–55.

9. Горбик Г.О. Структура и свойства модифицированного серобитумного вяжущего для дорожного строительства: дис...канд. техн. наук. Пенза, 2006. С. 177.

10. Сeroасфальтобетон против резких перепадов температур [Электронный ресурс] / URL: <http://rosavtodor.ru/activity/news-from-regions/14062.html>. (дата обращения: 12.11.2019)

11. Hadrzynski F. Such. Modelisation du comportement rheologique des bitumes polymeres. Le modele autocohérent // Bulletin des Ponts et Chaussec. 1998. Vol. 214. Pp. 3–18.

12. Урьев Н.Б., Иваньски М. Применение серы при производстве асфальтобетонных смесей в Польше // Автомобильные дороги. 1989. №7. С. 26–27.

13. Стрикленд Д., Коланж Д., Шоу П., Паг Н. Исследование свойств асфальтобетонных смесей

с серными добавками при низких температурах // Shell Sulphur Solutions. 16 с.

14. Zartaut M. Beton bitumineux coulé au Soufre // Bulletin deliasion labor. des. Ponts es chaussées. 1980. No 109. Pp. 121–123.

15. Tomkowiak K., Zelinski K. Wplyw dodatky sidrky do asfaltow // Drogownictwo. 1983. No. 2. Pp. 55–59.

16. Dah-yinn L. Modification of asphalt and asphalt paving mixtures by sulfur additives // Ind. And. Eng. Chem. Proc. Res and Develop. 1975. No. 3. Pp. 171–177.

17. Kennedy T.W., Haas R., Smith P. An engineering evaluation of sulphur-asphalt // 56-th Agg. Meeting of T.R.B. Jan. 1977. Pp. 146–171.

18. Кортянович К. В. Улучшение свойства дорожных битумов модифицирующими добавками: автореф. дис...канд. техн. наук. Уфа, 2007. 17 с.

19. Плотникова И.А. Использование серы в качестве добавки к нефтяным дорожным битумам // Нефтепереработка и нефтехимия. 1984. № 11. С. 7–9.

20. Гладких В.А., Королев Е.В., Хусид Д.Л. Структурообразование сероасфальтобетона: механизм взаимодействия серы с битумом // Строительные материалы и изделия. 2015. № 4. С. 4–11.

21. Сыроежко А.М., Бегак О.Ю., Федоров В.В. Модификация дорожных битумов добавками серы // Химия природного топлива. 2003. №3. С. 506–511.

22. ГОСТ 31015-2002. Смеси асфальтобетонные и асфальтобетон щебеночно-мастичные. Технические условия. М.: ГУП ЦПП, 2003. 23 с.

23. Шеховцова С.Ю., Высоцкая М.А., Королев Е.В. Критериальная оценка термодеструктивных процессов в асфальтобетоне на основе окисленных и остаточных битумов // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2018. № 5. С. 58–70.

Информация об авторах

Курлыкина Анастасия Владимировна, магистрант кафедры автомобильных и железных дорог. E-mail: anastasiyakurlikina@yandex.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Денисов Василий Петрович, аспирант кафедры автомобильных и железных дорог. E-mail: wp@dorsoft.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Кузнецов Дмитрий Алексеевич, кандидат технических наук, доцент кафедры автомобильных и железных дорог. E-mail: xidox@yandex.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Лукаш Евгений Алексеевич, кандидат технических наук, доцент кафедры автомобильных и железных дорог. E-mail: svh8@yandex.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Поступила в ноябре 2019 г.

© Курлыкина А.В., Денисов В.П., Кузнецов Д.А., Лукаш Е.А., 2020

***Kurlykina A.V., Denisov V.P., Kuznetsov D.A., Lukash E.A.**
Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhova
*E-mail: anastasiyakurlikina@yandex.ru

CRUSHED STONE MASTIC ASPHALT CONCRETE USING GRAYISH TECHNOLOGIES

Abstract. One of the main reasons for reducing the service life of road asphalt pavements (the appearance and development of damage in the form of ruts, various kinds of plastic deformations, potholes, cracks, etc.) is the low quality of the used oil bitumen. The physicommechanical properties of road bitumen are subject to stricter requirements, especially for organic binders used for the production of crushed stone mastic asphalt (SMA), therefore, in authors' view, the development of bitumen binders with enhanced physicommechanical properties is one of the key and most urgent tasks in road construction. This problem is solved by introducing various modifiers into the binder. This article presents the results of a study of bitumen modified by introducing technical sulfur into the composition. The effect of binder modification on the physicommechanical properties of road asphalt concrete is shown on the example of crushed stone mastic asphalt (SMA-20) relative to base samples made to control the dynamics of changes in the properties of composites made using sulfur-raising technologies. For a comprehensive assessment of the effectiveness of modifying crushed stone mastic asphalt concrete based on various binders, a generalized quality criterion is calculated, taking into account the calculated particular quality criteria and various values of the weight coefficients. The comparison and analysis of the obtained efficiency criteria is made.

Keywords: modified binders, stone mastic asphalt (SMA).

REFERENCES

1. GOST 22245-90. Viscous petroleum bitumen. Technical specifications (as amended by N 1) [Bitumy neftyanye dorozhnye vyazkie. Tekhnicheskie usloviya]. Instead of GOST 22245-76; enter 01/01/1991. M.: IPK Publishing House of Standards, 2005. 9 p. (rus)
2. GOST 33133-2014. General automobile roads. Viscous petroleum bitumen. Technical requirements [Dorogi avtomobil'nye obshchego pol'zovaniya. Bitumy neftyanye dorozhnye vyazkie. Tekhnicheskie trebovaniya]. Enter. 10/01/2015. M.: Publishing house of standards, 2015. (rus)
3. GOST R 52056-2003. Cementing polymer-bitumen road based on block copolymers of styrene-butadiene-styrene type. Technical conditions [Vyazhushchie polimerno-bitumnye dorozhnye na osnove blokopolimerov tipa stirol-butadien-stirol. Tekhnicheskie usloviya]. Enter. 01/01/2004. M.: Publishing house of standards, 2007. (rus)
4. GOST R 58400.3-2019. General automobile roads. Bituminous petroleum binders. The procedure for determining the brand [Dorogi avtomobil'nye obshchego pol'zovaniya. Materialy vyazhushchie neftyanye bitumnye. Poryadok opredeleniya marki]. Enter. 06/27/2019. M.: IPK Standards Publishing House, 2019. (rus)
5. Vysotskaya M.A., Shekhovtsova S.Yu. The effect of morphology on the quality indicators of polymer-bitumen binder. World of Petroleum Products [Vliyanie morfologii na kachestvennye pokazateli polimerno-bitumnogo vyazhushchego]. Bulletin of oil companies. 2015. No. 11. Pp. 18–24. (rus)
6. Vysotskaya M.A., Shekhovtsova S.Yu. Development and analysis of compositions of polymer-bitumen binders based on the method of multicriteria optimization [Razrabotka i analiz sostavov polimerno-bitumnyh vyazhushchih na osnove metoda mnogokriterial'noj optimizacii]. Construction: science and education. 2017. Vol. 7. No. 4. (rus)
7. The use of sulfur in road construction in Europe and North America [Ispol'zovanie sery v dorozhnom stroitel'stve stran Evropy i Severnoj Ameriki]. URL: <http://www.nestor.minsk.by/sn/1998/42/sn84218.htm>. (date of treatment: 12.11.2019) (rus)
8. Kaganovich E.V., Kurchavov V.S. On the use of sulfur in construction and repair roads in the Republic of Kazakhstan [K voprosu ispol'zovaniya sery pri stroitel'stve i remonte avtomobil'nyh dorog v Respublike Kazahstan]. Bulletin of Kazdor Research Institute. 2004. No. 1. Pp. 53–55. (rus)
9. Gorbik G.O. The structure and properties of the modified sulfur-bitumen binder for road construction [Struktura i svoystva modificirovannogo serobitumnogo vyazhushchego dlya dorozhnogo stroitel'stva]: dis. ... cand. tech. sciences. Penza, 2006. 177 p. (rus)
10. Sulfur-asphalt concrete against sudden temperature changes [Seroasfal'tobeton protiv rezkih perepadov temperatur]. URL: <http://rosavtodor.ru/activity/news-from-regions/14062.html>. (date of treatment: 12.11.2019) (rus)
11. Hadrzynski F. Such. Modelisation du comportement rheologique des bitumes polymeres. Le modele autocohérent. Bulletin des Ponts et Chaussec. 1998. Vol. 214. Pp. 3–18.

12. Uryev N.B., Ivanski M. The use of sulfur in the production of asphalt mixtures in Poland [Primenenie sery pri proizvodstve asfal'tobetonnyh smesey v Pol'she]. Highways. 1989. No. 7. Pp. 26–27. (rus)

13. Strickland D., Collange D., Shaw P., Pag N. Investigation of the properties of asphalt mixtures with sulfur additives at low temperatures. Shell Sulfur Solutions. 16 p.

14. Zartaut M. Beton bitumineur coule an Soufre. Bulletin deliasion labor. des. Ponts es chaussées. 1980. No. 109. Pp. 121–123.

15. Tomkowiak K., Zelinski K. Wplyw dodatku sidrky do asfaltow. Drogownictwo. 1983. No. 2. Pp. 55–59.

16. Dah-yinn L. Modificatoin of asphalt and asphalt paving mixtures by sulfur additives. Ind. And. Eng. Chem. Proc. Res and Develop. 1975. No. 3. Pp. 171–177.

17. Kennedy T.W., Haas R., Smith P. An engineering evaluation of sulphur-asphalt. 56-th Agg. Meeting of T.R.B. Jan. 1977. Pp. 146–171.

18. Kortyanovich KV. Improving the properties of road bitumen with modifying additives [Uluchshenie svojstva dorozhnyh bitumov modifitsiruyushchimi dobavkami]: author. dis ... cand. tech. sciences. Ufa, 2007. 17 p. (rus)

19. Plotnikova I.A. The use of sulfur as an additive to oil road bitumen [Ispol'zovanie sery v

kachestve dobavki k neftyanym dorozhnym bitumam. Neftepererabotka i neftekhimiya]. Oil refining and petrochemicals. 1984. No. 11. Pp. 7–9. (rus)

20. Gladkikh V.A., Korolev E.V., Khusid D.L. Structural formation of sulfur-asphalt concrete: the mechanism of interaction of sulfur with bitumen [Strukturoobrazovanie seroasfal'tobetona: mekhanizm vzaimodejstviya sery s bitumom]. Building materials and products. 2015. No. 4. Pp. 4–11. (rus)

21. Syroezhko A.M., Begak O.Yu., Fedorov VV. Modification of road bitumen with sulfur additives [Modifikatsiya dorozhnyh bitumov dobavkami sery]. Chemistry of natural fuels. 2003. No. 3. Pp. 506–511. (rus)

22. GOST 31015-2002. Mixes asphalt concrete and asphalt concrete mastic. Technical conditions [Smesi asfal'tobetonnye i asfal'tobeton shchebenochno-mastichnye. Tekhnicheskie usloviya]. M.: GUP TsPP, 2003. 23 p. (rus)

23. Shekhovtsova S.Yu. Vysotskaya M.A., Korolev E.V. Criteria for thermo-destructive processes in asphalt based on oxidized and residual bitumen [Kriterial'naya ocenka termodestruktivnyh processov v asfal'tobetone na osnove okislennyh i ostatochnykh bitumov]. Bulletin of higher educational institutions. Construction. 2018. No. 5. Pp. 58–70. (rus)

Information about the authors

Kurlykina, Anastasiya V. Master student. E-mail: anastasiyakurlikina@yandex.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Denisov, Vasily P. Postgraduate student. E-mail: wp@dorsoft.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

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

Lukash, Eugene A. PhD, Assistant professor. E-mail: svh8@yandex.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Received in November 2019

Для цитирования:

Курлыкина А.В., Денисов В.П., Кузнецов Д.А., Лукаш Е.А. Особенности функционально-технологических решений архитектурных объектов на примере морских пассажирских терминалов // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2020. № 1. С. 18–25. DOI: 10.34031/2071-7318-2020-5-1-18-25

For citation:

Kurlykina A.V., Denisov V.P., Kuznetsov D.A., Lukash E.A. Crushed stone mastic asphalt concrete using grayish technologies. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2020. No. 1. Pp. 18–25. DOI: 10.34031/2071-7318-2020-5-1-18-25

DOI: 10.34031/2071-7318-2020-5-1-26-31

Хомяков А.И.

Южный Федеральный Университет. Академия архитектуры и искусств

E-mail: a.khomyakov@mail.ru

АРХИТЕКТУРА МОНУМЕНТОВ: СОЦИАЛЬНО-КУЛЬТУРНЫЙ ВЕКТОР

Аннотация. Феномен «памятник и памятное пространство» в повсеместном увлечении идентичностью и историей, привлекает все большее внимание, как архитектурных теоретиков, так и широких слоёв гражданских сообществ. Тем самым восполняется не в полной мере оценённое значение рассматриваемого рода общественных сооружений, играющих важную роль в становлении и формировании государственности, национального сознания и культуры. Процессы этого постижения проходят подчас эмоционально и стихийно, игнорируя причинно-следственную связь исторического события и его памятника, создавая стереотипы, не соответствующие природе самого рассматриваемого явления. Часто памятники и монументы связываются в общественном представлении с позитивными впечатлениями, прославляющими и познавательными мотивами, понимаются как «знак и символ» государства и власти, в то время, как мемориальные и мемориально-музейные комплексы – несправедливо воспринимаются лишь как послания, напоминающие о драматических и трагических страницах истории, т.е. как «кенотафы» времени. Восприятие истинной сути современной архитектурной глорификации усложняет появление в последние десятилетия новых памятных объектов, выраженных непривычным архитектурно-художественным языком, в которых смысловое содержание не соответствует их традиционному назначению – прославлению и воспеванию государственного и народного подвига, героя или напоминанию о национальной трагедии. Они повествуют о новых темах. Определить правомерность таких суждений, рассмотреть новые прецеденты в практике и эволюции триады «памятник-монумент-мемориал» является целью данной статьи.

Ключевые слова: создание памятных и мемориальных пространств и комплексов, социально-политические, социально-культурные причины и мотивации, история, события, герои.

Вторая половина XX-ого века знаменательна появлением глубоких концептуальных изменений в музейном мире [1]. В конце этого века наметились также явные перемены в сфере мемориально-музейного строительства, в развитии которого стали преобладать социокультурные мотивации. Наряду с продолжающимся строительством традиционных идеологизированных мемориально-музейных комплексов (ММК) странах Азии, Ближнего Востока и Африки, всё чаще появляются комплексы нейтрального характера, в которых побудительная фабула посвящена аспектам не столько политическим, патриотическим и историческим, но культурным, познавательным и просветительским. К этим тенденциям стали подключаться задачи повышения туристического престижа города (региона, местности). В начале XXI века эти векторы усилились и обогатились появлением общественных знаковых пространств с содержанием этической и нравственной направленности, декларирующих идеи взаимного прощения (искупления), толерантности, политкорректности, признания прав «другого» на собственную идентичность.

Современные историки по-новому пытаются увязать память и историю, структурировать и передать прошлое. П. Нора, например, предлагает выделять некие «места памяти», в которых должны присутствовать не только музеи, архивы,

некрополи, памятники, храмы, но и праздники, ритуалы, публичные дискуссии [2]. И эти настроения уже находят отражение в архитектурно-строительной практике. Феноменально возросший в первые десятилетия XXI века интерес к сохранению и восстановлению исторической памяти привёл к заметной трансформации архитектуры ММК, которая иллюстрируется множеством примеров, подтверждающих теорию Нора – создания мемориальных пространств, как особых мест «памяти», что подтверждает рассматриваемая в исследовании антология.

Социально-культурные мотивации обретают в последнее десятилетие преобладающее, по сравнению с социально-политическими, значение при создании ММК, в силу целого ряда причин. Решающую роль в этом играет широкое признание различными авторитетными мировыми экономическими институтами приоритета социальных, культурных и общественных инициатив в развитии городов над остальными его стратегиями. Особенно, развития тех, которые ведут к созданию публичных мест, обладающих выразительным визуальным потенциалом. Это объясняется значительным экономическим доходом от роста туристических потоков, монетизацией городской культурно-досуговой активности населения и производства сувенирной и полиграфической продукции.

Кроме того, так частично решаются вопросы эффективного приобщения к политической, коммерческой, общественной и культурной активности традиционно сегрегированных слоёв местного населения. «Важной составляющей архитектурно-мемориальных комплексов является его ориентированность на социум, как прямого потребителя представляемых им ценностей. При этом архитектурно-мемориальные комплексы также являются важной составляющей городской инфраструктуры, которая обеспечивает культурный досуг, включается в систему образования, является достопримечательностью города, способствующей развития туристического бизнеса и в целом делающей город уникальным. В связи с этим одной из главных причин создания данных комплексов является стремление горожан к более разнообразной социально-значимой культурной инфраструктуре» [3].

Просвещение (памятник Человеку). Одной из главных социально-культурных мотиваций создания мемориального пространства являются идеи гуманистического содержания, такие, например, как прославление уникальности личности и её свободы, право на счастье, нравственное и духовное самосовершенствование и др. В чём-то их смысловая направленность сближается с «назидательной» темой, ярко проявленной в патетических и одиозных мемориалах военным победам и обретения независимости. Но в данном случае речь идёт о значительно менее строгой форме оформления пространства, не такой образно артикулированной и одиозной, как например «Памятник Солдату-освободителю» в берлинском Трептов-парке, но наоборот, романтической и пасторальной.

В этом ареале находятся архитектурно-художественные мемориальные произведения, посвященные выдающейся политической или общественной личности, которые становятся прогулочными мемориальными парками с познавательной составляющей. Эту подгруппу побуждений к созданию памятного пространства можно условно назвать «поучительными», предлагающими не поклоняться, но брать нравственный, духовный пример с исторической фигуры, воспринимать ее как эталон поведения в жизни, творчестве и созидании. К этой группе можно в первую очередь отнести «Башни Бисмарка», мемориалы Ф. Рузвельта в Вашингтоне и Нью-Йорке («Парк четырех свобод»). Показательны в плане «назидательной» идеи и многие другие известные исторические и современные мемориальные ансамбли, но по-разному.

Например, первый из них – это строившиеся с конца XIX по начало XX века, отдельно стоя-

щие в природном обрамлении вертикальные доминанты, в память о «железном канцлере» объединившем в XIX веке немецкие княжества в единую Германию Отто фон Бисмарке. Мемориал тотален по своему замыслу, т.к. его отдельно стоящие компоненты, «башни-донжоны-маяки», возводились на территории четырех частей света: в Европе, Африке, Америке и Австралии. Их грозный и суровый образ нес в мир комплексное послание – и это было не только написание, или предостережение, но и пример государственной доблести.

Мемориалы Рузвельту представляют из себя, по существу, парковые музеи под открытым небом, последовательно, зал за залом, раскрывающие перед посетителями череду мужественных решений и благодеяний этой персоны на пользу родины и отечества.

По таким же мотивам создавался Парк Хуана Карлоса I под Мадридом, открытый в 1992 году. Главным поводом его появления послужили оптимистические настроения и ожидания духовного возрождения страны от нового, оптимистично прогнозируемого, начинающегося в то время, правления короля Испании, сменившего почти сорокалетнюю клерикально-фашистскую диктатуру Франко. Парк отличается огромными размерами (160 га) и включает в себя широкий спектр развлекательно-досуговых и спортивных комплексов, таких как концертный зал, роллердром, поле для гольфа, развлекательный центр. Но главной его достопримечательностью является коллекция скульптур под открытым небом, неравномерно рассредоточенная по всей его территории, сделавшего парк всемирно известным мемориальным пространством. Эти скульптуры здесь собранные, как специально выкупленные, так и заказанные у известных мастеров, иллюстрируют страницы истории страны и всего мира в реалистических повествовательных и символических, иногда эпатажных формах. Все они инициируют посетителей на расшифровку этих посланий, их обдумывание, размышления на смежные и более широкие темы.

Это направление «просвещенческой» мотивации наглядно иллюстрирует целый ряд чисто «скульптурных парков», часто посвященных одной знаменательной личности (иногда периоду её творчества) или какому-либо знаменательному явлению из культурной истории государства. К таким ландшафтам, активизирующим интерес к истории, искусству и, присущее различным контингентам экскурсантов любопытство, относятся и многие недавно созданные парки этого жанра [4].

Подобный парк недавно завершён в Германии – «Национальный парк скульптур памятника

германского единства» на территории по обе стороны бывшей приграничной территории (8,2 га) между ГДР и Западной Германией, в районе пограничного перехода между Тюрингией и Баварией (г. Айссенхаузен – г. Майнинген). В парке установлены скульптурные композиции на темы народных страданий, связанных с прежним национальным разъединением, борьбы по его преодолению и светлых переживаний свершившегося воссоединения народов Германии.

Одним из самых интересных и впечатляющих недавних произведений этого направления можно считать уникальный памятник, посвящённый принцессе Диане Уэльской в лондонском Гайд-парке. Нетрадиционный по замыслу и воплощению, он решается как своеобразный фонтан - кольцеобразный бетонный канал переменного сечения, с текущими в противоположных направлениях быстрыми потоками воды. Он настраивает зрителя на элегическое настроение, заставляя тем самым обратиться к философским взглядам на жизнь, человеческую судьбу и время, что, бесспорно, позволяет причислить его к жанру «гуманистических» мемориальных пространств.

Ещё раз отметим, что всё чаще проекты, раскрывающие тему Памяти, решаются не драматическими архитектурными и скульптурными жёсткими, а средствами ландшафтной архитектуры, более камерными и спокойными. Японские мемориальные парки мира, мемориальный фонтан принцессы Дианы Уэльской, мексиканский мемориал битве в Пуэбле, скульптурные парки Европы и др. являются дословной иллюстрацией этой тенденции.

Тенденции эти отчётливо перекликаются с древнейшими античными мемориальными практиками – предпочитавшими выражение гордости и торжества победы через скромные и доступные средства, избегая применения риторики устрашения. Считалось, что создание долговечных грозных памятников победы над врагом приводило к длительным, непрекращающимся, постоянно вспыхивающим войнам. Поэтому, победные памятные знаки древними греками составлялись из трофейного оружия и арматуры (позже капитально построенные мемориалы из камня так и назывались – «трофеи»), которые через незначительное время сами собой разрушались и «исчезали как препятствие к установлению мира» [5].

Память о катаклизме. Одним из набирающих популярность направлений развития ММК можно считать создание символических пространств, посвящённых утраченным знаменательным памятникам архитектуры и культуры, достопримечательным и простым городским и природным местам, исчезнувшим в результате

сокрушительного антропогенного или природного бедствия. Такие объекты можно считать мемориалами «стихийным катаклизмам».

Самым ярким примером подобного направления является гигантский памятник «Кретто» (1989 г, А. Бурри) из бетона, целиком накрывший сохранившиеся руины городка Джимбеллина (провинция Трапани, Италия), до основания, разрушенного землетрясением 1968 года. Здесь возникает новая для мемориальной архитектуры тема: «топография – память». В данном случае эта тема отражена в подлинном масштабе мемориальной территории – объект представляет собой напоминание об исчезнувшем историческом поселении в масштабе 1:1 [6].

Для исследования диалектики феномена архитектурного мемориала важно отметить появление этого впечатляющего, своеобразного и искреннего пространства как памятника исчезнувшего места обитания на документальном горном рельефе.

Одни критики находят в мемориале Джимбеллино («Кретто», т.е. трещина) пространственные цитаты и методологические приёмы из творческого арсенала американского скульптора-концептуалиста Христо Явашева, широко известного своими художественными акциями «упаковки» крупных архитектурных объектов (Рейхстаг) и фрагментов ландшафтов (морских и горных) в мягкие инертные материалы. Другие – видят в «Кретто» новый прототип берлинского мемориала этническим жертвам нацизма (Мемориал жертвам холокоста, 2001 г., П. Айзенман). Здесь их сходство более заметно.

Почти одновременное появление этих двух абсолютно не связанных по смыслу между собой, но имманентно родственных архитектурных, концептуальных и, в тоже время, глубоко документальных художественных произведений наводит на определённые размышления.

Главные средства воздействия на зрителя комплекса «Кретто» базируются в самой специфике топографии – обширности пятна и значительности пространственного измерения. Именно эти категории в сочетании с брутальными манерами исполнения оказывают исключительное воздействие на зрителя. По мотивации своего создания он является социально-культурным произведением, никак не связанным с политикой.

Берлинский памятник, наоборот, чисто государственный знак, обязанный своему появлению политическим трансформациям в мировом обществе, породившими новое отношение к истории и памяти.

Оба памятника используют схожий пространственный подход, единым пространственным жестом которого является «расчленённость», «разъединённость», «фрактальность». В первом случае это выявление документальной квартальной планировки исчезнувшего в результате природного катаклизма поселения, во втором – планировочная метафора древнееврейского некрополя, его надгробий, расставленных в соответствующем регулярном порядке. Несмотря на разные мотивации их строительства, в первом – социально-культурной, во втором – социально-политической, в обоих проектах декларируется одна и та же гуманистическая идея – показать обществу опасность разобщённости, и, в следствии этого, его исчезновение.

Схожими качествами обладают Мемориальный парк цунами в г. Камала (Таиланд), Мемориально-музейный комплекс в г. Вэньчуань (Китай), посвящённый масштабному землетрясению. Если в первом случае объект решается в виде традиционного общегородского рекреационного парка с мемориальными пространственными и информационными компонентами, то во втором – это слитный архитектурно-ландшафтный музейный комплекс, созданный в память о сильнейшем землетрясении, происшедшем в 2008 году в провинции Сычуань, ставшего причиной гибели более 70 000 человек. Комплекс имеет форму разорванного ландшафта. Огромные выставочные и музейные подземные залы укрыты озеленёнными кровлями, что обеспечивает сооружению единство с окружающим ландшафтом. Пространственные проёмы переменной конфигурации, символизирующие разломы земной коры, одновременно становятся тихими и уютными площадками для отдыха и размышлений [7].

Идентификация места. В числе побуждений к созданию мемориального или памятного пространства, следует отметить такое значительное и многосмысловое, как порождающее «мемориал как бренд местности», т.е. мемориал, «инденцифитирующий» регион [8]. Под «брендом» понимается важный компонент в туристической индустрии, маркетинге, рекламе, городском и региональном развитии, стимулирующий циркуляцию посетительских, и поэтому, финансовых потоков. «Бренд» местности, получивший художественную форму, представленный в облике памятника или памятного пространства, играет роль достопримечательности, притягивающей внимание посетителей, медиа и общества, «магнита», визитной карточки, символа места. Применение этих механизмов успешно осваивается в первую очередь в США и Англии, в странах, искусённых в рекламной практике, рационально

применяющих её технологии в экономике и культуре. В. Глазычев в своей лекции в 2012 году, посвящённой вопросам региональной культуры, затрагивал вопросы разработки индивидуальных «брендов» и «культурных кодов» американскими штатами и их использования в качестве эффективного инструмента для успешного экономического и культурного развития территории.

Комплекс или объект такого рода играет роль достопримечательности, притягивающей внимание посетителей, медиа и общества, «магнита», визитной карточки, символа места. К этому же типу можно отнести такие величественные монументы, как Статуи Свободы в Нью-Йорке, Христа – Спасителя в Рио-де-Жанейро, памятник Джорджу Вашингтону в Вашингтоне и др. Все они являются яркими выразительными и запоминающимися символами, в которых сливаются государственные и общенациональные ценности, представления философского порядка, эстетические идеалы и культурные установки.

Из недавних примеров практики создания памятников в жанре «магнитов-достопримечательностей» является созданная в 1998 году статуя «Ангел Севера» (г. Гейтсхейд, Англия). 20-ти метровая в высоту, с размахом крыльев 54 метра, она установлена на холме и возвышается над двумя магистральными дорогами. «Ангел Севера», в силу своего непривычного образа вызвал большие споры среди местных жителей и британских газетах, но сейчас рассматривается как несомненная достопримечательность Северо-Восточной Англии [9].

Заслуживает интереса не менее показательное строительство в Южно-Африканской Республике (г. Паарл, 1975 г.) необычного мемориала – монумента языку африкаанс. Поводом послужило 50-летие его официального признания государственным языком ЮАР, отдельным от голландского. Создание мемориала стало выражением гордости за государственный язык, принадлежащий исключительно Южно-Африканскому народу [10]. Архитектурно эти чувства переданы монументальными лаконичными архитектурными формами, отдалённо напоминающими экзотические африканские ландшафты и бивни слонов.

Похожие цели ставились при развитии центральной площади в г. Ковентри (Англия), города, центр которого сильно пострадал во время бомбардировок Второй мировой войны. Кроме создания самой «Площади Тысячелетия» с запоминающейся «Аркой им. Уитла» (изобретатель реактивного двигателя Ф. Уитл, уроженец города), выполненной в мотивах реактивных форсунок, в пространстве площади были установ-

лены гигантские часы с видеомонитором, стеклянный мост, ведущий в «Сад дружбы» и много других дизайнерских объектов, создающих яркие впечатления и оставляющих незабываемые воспоминания у посетителей.

Отечественная практика также демонстрирует понимание и интерес к стратегии создания социально-культурных памятных пространств. Подтверждением этому является недавно родившаяся в администрации г. Белгород инициатива создания «Памятника курской магнитной аномалии», раскрывающего историю самого мощного на Земле железнорудного бассейна, выявленного близ Курска в 1783 году и успешно разрабатываемого до настоящего времени. Согласно проектной гипотезе, комплекс будет рассчитан как на просветительские цели, популяризацию природной и промышленной достопримечательности региона, так и на активизацию отечественной туристической индустрии.

Все перечисленные случаи являются привлекательными коммуникационными объектами, в которых слились в одну образную конструкцию государственная идеология, представления философского порядка, эстетики, этики, филологии, т.е. представляют модель – символически выражающую культурно-коллективное пространство федерации, региона, местности. Тем самым можно утверждать о начале формировании нового направления в создании памятных пространств, не идеологизированных, но гуманитарных.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Грачёва Е.С., Муханова С.А. Музей как социокультурное явление современного общества // Вестник Саратовского государственного технического университета, 2009 [Электронный ресурс]. URL:

<https://cyberleninka.ru/article/n/muzey-kak-sotsiokulturnoe-yavlenie-sovremennogo-obschestva> (дата обращения 14.04.2019)

2. Нора П., Пюимеж Ж. де, Винок М. Франция-память. Санкт-Петербург, 1999. С. 26.

3. Соколова А.Н. Архитектурно-мемориальный комплекс в пространстве города: причины создания архитектурно-мемориальных комплексов // Технические науки в мире: от теории к практике: сборник научных трудов по итогам международной научно-практической конференции. Ростов: РГСУ, 2015. С.48-52.

4. Varas V., Rispa R. Skulpturen-parks in Europa // Ein Kunst-und Landschaftsfuehrer/Basel, Birkhaeuser, 2016. 256 p.

5. Габричевский А.Г. Теория и история искусства. Киев: Самватас, 1993. 256 с.

6. Вытулева К.О. Архитектура, ландшафт или радикальное искусство. Принцип «реиспользования» // Academia. Архитектура и строительство. 2011 №3. С. 43–44.

7. Памятник древнему богу-воину [Электронный ресурс]. URL: <https://fishki.net/mix/2290334-v-kitae-v-gorode-czinchzhou-provincija-hubjej-v-2016-g.html> (дата обращения 13.04.2019)

1. Прянишников Н.Е. От брендов к магнетизму в сфере туризма // Музей. 2013. № 10. С.13-15.

2. Викери Дж. Возрождение городских пространств посредством культурных проектов – синтез социальной, культурной и городской политики // Визуальная антропология: городские карты памяти. М.: ООО «Вариант», ЦСПГИ, 2009. 312 с.

3. Монумент языку африкаанс [Электронный ресурс]. URL: <https://www.rutraveller.ru/place/95479> (дата обращения 13.04.2019)

Информация об авторах

Хомяков Александр Иванович, кандидат архитектуры, профессор кафедры «Архитектура общественных зданий». E-mail: a.khomyakov@mail.ru. Московский архитектурный институт (государственная академия) МАРХИ. Россия, 107031, г. Москва, ул. Рождественка, дом 11.

Поступила в октябре 2019 г.

© Хомяков А.И., 2020

Khomyakov A.I.

Moscow Architectural Institute (State Academy) MARCHI

E-mail: a.khomyakov@mail.ru

ARCHITECTURE OF MONUMENTS: SOCIAL AND CULTURAL VECTOR

Abstract. The phenomenon of “a monument and a memorial space”, in the light of the widespread enthusiasm for self-identity and history, is attracting increasing attention from both the scientific communities and wide sections of citizens. The incompletely estimated value of the considered public facilities is being replen-

ished, playing an important role in the formation of statehood, national consciousness and culture. The processes of this comprehension sometimes go through emotionally and spontaneously, ignoring the immanent cause-and-effect relationship of the "event and monument", creating stereotypes that do not correspond to the nature of the phenomenon under consideration. Often, monuments are associated in the public view with positive impressions and glorifying motifs, understood as a sign and symbol of the state and government, while memorial and memorial museum complexes necessarily carry memorable messages about the dramatic and tragic pages of history. The perception of the truth of the essence of modern architectural glorification complicates the appearance in recent decades of new memorable objects, expressed in an unusual architectural and artistic language, in which the semantic content does not correspond to their traditional purpose – the glorification of state and national feats, a hero or a reminder of a national tragedy. They narrate about new topics. The purpose of this article is to determine the validity of such judgments and to consider new precedents in the practice and evolution of the monument and memorial.

Keywords: the creation of memorable and memorial spaces and complexes, socio-political, socio-cultural reasons and motivations, history, events, heroes.

REFERENCES

1. Grachyova E.S., Muhanova S.A. Muzej kak sociokul'turnoe yavlenie sovremennogo obshchestva [Museum as a sociocultural phenomenon of modern society]. Tekst nauchnoj stat'i po special'nosti «Kul'tura. Kul'turologiya». Vestnik Saratovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta, 2009 [Elektronnyj resurs]. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/muzej-kak-sotsiokulturnoe-yavlenie-sovremennogo-obshchestva> (date of application: 14.04.2019) (rus).
2. Nora P., Pyuimezh Zh. de, Vinok M. Franciya-pamyat' [France-memory]. Sankt-Peterburg, 1999. Pp. 26.
3. Sokolova A.N. Arhitekturno-memorial'nyj kompleks v prostranstve goroda: prichiny sozdaniya arhitekturno-memorial'nyh kompleksov [Architectural and memorial complex in the city space: the reasons for the creation of architectural memorial complexes]. Tekhnicheskie nauki v mire: ot teorii k praktike: sbornik nauchnyh trudov po itogam mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii. Rostov: RGSU, 2015. Pp.4852.
4. Varas V, Rispa R. Skulpturen-parks in Europa [Skulpturen-parks in Europa]. Ein Kunst-und Landschaftsfuehrer/Basel, Birkhaeuser, 2016. 256 p.
5. Gabrichevskij A.G. Teoriya i istoriya iskusstva [Theory and History of Art]. Kiev: Samvatas, 1993. 256 p.
6. Vytuleva K.O. Arhitektura, landshaft ili radikal'noe iskusstvo. Princip «reispolzovaniya» [Architecture, landscape or radical art. The principle of "reuse"]. Academia. Architecture and construction. 2011. No. 3. Pp. 43–44. (rus).
7. Pamyatnik drevnemu bogu-voinu [Monument to the ancient warrior god]. URL: <https://fishki.net/mix/2290334-v-kitae-v-gorode-czinchzhou-provincija-hubjej-v-2016-g.html> (date of application: 13.04.2019)
8. Pryanishnikov N.E. Ot brendov k magnetizmu v sfere turizma [From brands to magnetism in tourism]. Museum. 2013. No. 10. Pp. 13–15. (rus).
9. Vikeri Dzh. Vozrozhdenie gorodskih prostranstv posredstvom kul'turnyh proektov – sintez social'noj, kul'turnoj i gorodskoj politiki [Revival of urban spaces through cultural projects - the synthesis of social, cultural and urban policies]. Vizual'naya antropologiya: gorodskie karty pamyati. M.: OOO «Variant», CSPGI, 2009. 312 p.
10. Monument yazyku Afrikaans [Monument language Afrikaans]. URL: <https://www.rutraveller.ru/place/95479> (date of application: 13.04.2019).

Information about the authors

Khomyakov, Alexandr I. PhD, Professor. E-mail: a.khomyakov@mail.ru. Moscow Architectural Institute (State Academy) MARCHI. Russia, 107031, Moscow, Rozhdestvenka str., 11.

Received in October 2019

Для цитирования:

Хомяков А.И. Архитектура монументов: социально-культурный вектор // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2020. № 1. С. 26–31. DOI: 10.34031/2071-7318-2020-5-1-26-31

For citation:

Khomyakov A.I. Architecture of monuments: social and cultural vector. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2020. No. 1. Pp. 26–31. DOI: 10.34031/2071-7318-2020-5-1-26-31

DOI: 10.34031/2071-7318-2020-5-1-32-40

Белова А.Ю., *Петрусенко Ю.В.*Южный Федеральный Университет. Академия архитектуры и искусств***E-mail: miss.smiyukha21@yandex.ru*

РОМАНТИЗМ В АРХИТЕКТУРЕ ДОХОДНЫХ ДОМОВ ТВОРЧЕСТВА НИКОЛАЯ МАТВЕЕВИЧА СОКОЛОВА

Аннотация. Статья посвящена выявлению романтических тенденций в творчестве ростовского городского архитектора конца XIX – начала XX века Николая Матвеевича Соколова, раскрываются неизвестные факты данного этапа его творческой деятельности. Большинство произведений Н.М. Соколова являются объектами культурного наследия регионального и федерального значения. Архитектор был последовательным приверженцем рационального направления архитектуры, являлся мастером «кирпичного стиля». При этом в его произведениях, в рассматриваемых доходных домах, отчетливо прослеживаются романтические черты. Цель исследования состоит в рассмотрении объектов, присущих романтическому направлению второй половины XIX – начала XX вв., их анализ и систематизация данных. Постановка проблемы данного исследования заключается в выявлении романтических тенденций в произведениях архитектора Н.М. Соколова, повлиявших на творческую деятельность Николая Матвеевича на посту городского архитектора г. Ростова-на-Дону, объекты которого формируют историческую часть города. Авторами выявлены новые факты биографии и творчества архитектора, вводятся в научный обиход новые архивные материалы, систематизирована информация о жизни архитектора и его творческом наследии. Особое внимание уделено современному состоянию и охране произведений архитектора Соколова Николай Матвеевич.

Ключевые слова: доходные дома, романтизм, творчество, архитектура конца XIX – начала XX века, Ростов-на-Дону, архитектор, Соколов Николай Матвеевич.

Введение. Данная статья посвящена выявлению романтических тенденций в творчестве ростовского архитектора конца XIX – начала XX века Николая Матвеевича Соколова. Целью является анализ и систематизация данных о его архитектурных объектах и выявление в архитектурном облике здания черт и элементов, присущих романтическому направлению второй половины XIX – начала XX вв. Благодаря введению в научный обиход новых фактологических данных и архивных материалов, результатам натурных обследований, авторы расширяют круг известных произведений архитектора. Актуальность работы обусловлена недостаточной изученностью в этом вопросе. Проблемная ситуация данного исследования заключается в том, что архитектор Соколов Н.М. признанный мастер «кирпичного стиля» и рационального направления архитектуры, однако в его творчестве находят отражения и романтические тенденции. Авторами собран материал, который дает возможность провести детальное исследование и сформировать целостное представление о присутствии романтизма в работах Соколова Н.М. Основой метода исследования стал стилистический и сравнительный анализ произведений Н.М. Соколова.

На рубеже конца XIX – начала XX века Николай Матвеевич Соколов был городским архитектором Ростова-на-Дону и внес огромный вклад в историю развития архитектуры города.

Его сохранившиеся объекты, продолжают занимать важное место в облике исторического центра Ростова-на-Дону. Основные этапы творческой биографии архитектора определили характер его творческого метода: «... в 1880 г. поступил в Институт гражданских инженеров, откуда выпущен по первому разряду с настоящим званием в 1885г. ...в скором времени (1886г.) перешёл в Ростов н/Д на место городского техника с правами государственной службы...» [1, с. 148–152]. С 1887 года работал городским архитектором Ростова-на-Дону. Многие ростовские здания в XIX веке строились по «образцовым» проектам, проектное творчество местных архитекторов продемонстрировано широким диапазоном влияния столичной архитектурной моды Москвы и Санкт-Петербурга. Архитектор Соколов Н.М. в основном работает в «кирпичном стиле», предпочитая в своем творчестве готические мотивы с элементами романтизма. Он продолжает линию своих преподавателей – архитекторов – В.А. Шретера и И.С. Китнера, оказавших на Соколова большое влияние во время его обучения в Институте гражданских инженеров. В.А. Шретер и И.С. Китнер являлись лидерами «кирпичной архитектуры», положенной в основу рационального направления. Они были как выдающимися архитекторами-практиками, так и авторитетными преподавателями, которые воспитали не одно поколение сильных архитекторов и внесли

огромный вклад в развитие русской архитектуры и строительного дела [2].

«Кирпичный» стиль был определяющим в массовом строительстве промышленных сооружений, больниц, учебных заведений, жилых домов, торговых и других типов зданий в русле романтической эпохи. В России, в том числе и в Ростове-на-Дону, романтизм стал проявляться с утратой высокого идейного звучания, обобщения трактовки форм в архитектуре. Направление романтизма не имело четких границ и норм, выразилось в идеализации народного зодчества, новизны пространственных впечатлений, формировании новых художественных закономерностей, стремлении к театрализации архитектурной среды (проявившегося в зодчестве эпохи эклектики). Романтизм предлагает – сложный силуэт, богатство форм, свободу планировочного решения, в котором симметрия и другие формальные композиционные принципы теряют господствующее значение. К концу XIX века в России формы романтизма – готический, романский, русско-византийский, барокко, классицистический стиль переплетались с мотивами неорусского стиля, давая причудливый симбиоз, а интерес к ним еще больше возрос. Внимательное изучение декора готической архитектуры и конструкций, стремление к исторической достоверности экстерьера и жилого интерьера, появившееся во второй половине XIX в., сменилось к концу века свободной стилизацией и интерпретацией архитектурных и орнаментальных мотивов готической эпохи, которую стали рассматривать как прототип новой «органической архитектуры» [3].

Методология. Метод исследования основан на архивных поисках, фотофиксации существующих построек, их натурном исследовании, изучение с помощью сравнительно-исторического метода, обобщение уже известных материалов, выявление новых документов в разных проектных организациях, архивах и музейных фондах, изучение общей и специальной литературы.

Основная часть. Наиболее яркими примерами романтизма являются работы городского архитектора Соколова Николая Матвеевича: Дом Братьев Мартын или «Красный домик» и Дом Шендерова.

Дом Шендерова расположен на проспекте Ворошиловском, между улицами Темерницкой и Серафимовича (бывшей Казанской). Возводил этот дом в середине 1890-х известный ростовский предприниматель и домовладелец И.О. Шендеров. «Ход строительства отразил и бытие площади, и уклад семьи, и «вектор развития» ее талантливых личностей» [4, с. 45].

Глава семьи, Израиль Осипович Шендеров, поселился в Ростове в 1864 году [5]. В 1890-м году он решает построить большой дом для всей семьи. Место выбрал на Большом проспекте, так как рядом располагались синагоги и школы, посещаемые его детьми. Он заранее знал, как будет эксплуатироваться дом, и что где будет располагаться. Дом в основном предполагалось занять торговыми помещениями и помещениями, сдаваемыми в аренду, подвал будет занят складскими помещениями, а в части второго этажа расположить апартаменты семьи. Для разработки проекта был приглашен городской архитектор Николай Матвеевич Соколов, с 1887 года работающий в Ростове. «Он занимался обширной частной практикой, убеждающей в его профессиональном опыте и хорошем вкусе» [1].

Здание было возведено в 1892 году, основной двухэтажный корпус дома замкнул торец квартала, завершали дом три высоких шатра, украшающих западную часть площади. Остальные два крыла дома – южный и северный, строились более пяти лет и были закончены уже после смерти главы семьи. По завершению строительства дом имел П-образную конфигурацию плана, благодаря чему был организован большой двор и въезд в него. В практике Н.М. Соколова дом Шендеровых стал самым большим, богатым и романтическим творением. В то время в творчестве Соколова присутствовали в большей степени архитектурные мотивы псевдоготики, ярко проявившиеся в использовании шатровых завершений. При возведении дома Шендеровых, архитектор развивает излюбленную тему. Архитектурно-художественное оформление фасадов представлено композиционными приемами кирпичного декора, характерными для переходного периода от эклектики к модерну, в русле романтического направления. Главный фасад двухэтажного корпуса, обращенный к площади, расчленяет центральной и крайними раскреповками, во втором этаже акцентирует их эркерами, над которыми поднимает три шатра. Центральный высокий на четверике, он завершает бельведером, крайние пониженные – завершает фигурными шпилями.

Парадный вход, размещенный на месте бывшего проезда во двор, акцентирует центральный объем фасада. Штукатурный и лепной декор подчеркивал основные членения и формы здания, формировал его нарядный, романтический и самобытный облик. Живописный наряд здания дополняли ажурные кованые ограждения балконов и парапетов. Оба этажа рустованы. На фасадах располагаются декоративные элементы в виде женских головок, герм, гирлянд, венков, стилизо-

ванного растительного орнамента и др. Семейный дом имел выгодное местоположение в системе застройки квартала [4].



Рис. 1. Доходный дом Шендерова, арх. Н.М. Соколов, г. Ростов-на-Дону [4]



Рис. 2. Доходный дом Шендерова, арх. Н.М. Соколов, г. Ростов-на-Дону. Фото Петрусенко Ю.В., 2018 г.

Архитектурно-художественная пластика главного фасада, обращенного на восток, представлена выступающей центральной частью и боковыми ризалитами, которые, на уровне второго этажа, переходят в прямоугольные эркеры. Центральный ризалит на уровне первого этажа выделен высоким проемом с арочным сводом. Два арочных окна, второго этажа, полуциркульной формы объединены высокой полуколонной стилизованного коринфского ордера. Фриз северной и южной части фасада оформлен раппортом лепного растительного орнамента. Северная и южная часть фасада, представленная эркерами, сформирована профилированными наличниками слуховых окон шатровых крыш, подкарнизная

часть эркеров оформлена мелкими сухариками и филенками. Перемычки оконных проемов второго этажа центрального и бокового эркером, оформлены маскаронами – вид скульптурного украшения здания в форме головы человека или животного анфас, а подоконная часть проемов обрамлена декоративными поясами. Пластика центральной, северной и южной раскреповок главного фасада представлена лепными волютами и пальметтами в оформлении сложнопрофилированных наличников окон второго этажа; маскароны расположены в простенках оконных проемов второго этажа. Портал парадного входа фланкирован лопатками на массивных волютообразных кронштейнах, пьедесталы лопаток

оформлены «алмазными» квадратами. Вертикальные прямоугольные ниши и фусты лопаток оформлены лепным декором геральдического и растительного характера. Антревольты оформлены растительным орнаментом и лепным декором в виде крылатых посохов Гермеса – атрибуты древнегреческой мифологии. Оформление арки парадного входа венчает замковый камень в виде листа аканта. Массивный кордон рустованного цоколя. Подоконные ниши проемов второго этажа оформлены лепным декором растительного орнамента. Над оконными проемами первого этажа профилированная тяга, лепной декор в виде раковины. Простенки второго этажа представлены рустованными лопатками, простенки первого этажа рустованы. Аттик центральной раскреповки декорирован вертикальной порезкой и профилированным карнизом. Тумбы парапета крыши оформлены декоративными пальметтами. Люкарны четверика в основании шатровых крыш, декоративная башня – ротонда венчает центральный шатер. Архитектор стремился создать романтический образ, с которым, прежде всего, ассоциируются формы неоготики, нарочито, показывая принадлежность здания к данному стилистическому направлению. Здание является объектом культурного наследия регионального значения [6].

В годы Великой Отечественной войны здание уцелело, но был разрушен центральный шатер и повреждена крыша. В 1943 году здание было отремонтировано, и там располагалась редакция газеты «Молот» и типография. В 1949 году помещения стали занимать областная станция юных техников, областная заочная и средняя школы, областной институт усовершенствования учителей. В угловом помещении по улице Темерницкой располагалась аптека до 1965 года. Часть помещений второго этажа оставалась жилыми и для них были устроены со двора тамбура входов и лестницы. В 1995 году помещения здания были проданы «Промстройбанку». Была начата реконструкция здания, в ходе которой было выявлено предаварийное состояние ряда конструктивных элементов здания и необходимо было значительное вложение средств на ремонт и реставрацию фасадов. «Промстройбанк» продал здание Ростовскому отделению «Альфа-банка» г. Москвы. Доходный дом Шендерова был отреставрирован и приблизился к своему подлинному виду. Был восстановлен центральный шатер, увенчанный бельведером. Но по сохранившимся фотографиям было выявлено, что в ходе реставрации были упрощены архитектурные детали фасада. Но все же, обновленный вид фамильного дома производит на ростовчан приятное впечатление [4].

Особняк «Дом братьев Мартын» – яркий представитель псевдоготики этого периода. Псевдоготика – возникла в русле развития национально-романтического направления в русской архитектуре, «екатерининской эпохи», основанная на свободном сочетании элементов европейской готики и московского барокко. В России псевдоготика очень полюбилась. Ее ценителями были дворяне, которые принялись активно восстанавливать усадьбы, церкви, соборы и различные исторические здания. Большую популярность стиль получил на западе страны, в основном в Санкт-Петербурге и Москве. Что интересно, стилю псевдоготики в архитектуре следовали в России в основном при строительстве доходных домов. Нравилась дворянам шпили, башни, витражные стекла и характерные оконные проемы, огромные парадные. Здания дополнялись и чисто русскими деталями. Стиль псевдоготики в архитектуре получил довольно широкое распространение. Все это мы наблюдаем в особняке братьев Мартын.

Дом братьев Мартын – объект исторического и культурного наследия федерального значения, расположенный по адресу: г. Ростов-на-Дону, улица Большая Садовая, 125/69. Этот старинный особняк построен местным городским архитектором Н. М. Соколовым в 1893 г. в центре бывшей крепости Святого Димитрия Ростовского (1761–1835 гг.). Он был возведен для семьи И. Р. Мартын – британского подданного, основателя фирмы «Джон Мартын и К^о», литейно-механического завода, располагавшегося рядом с домом [7]. В разные годы в доме размещались, коммунальные квартиры, учреждения, магазины, общественные организации. За время его эксплуатации произошли значительные утраты, помещения подверглись перепланировкам, детали художественного оформления были разрушены.

Этот «Красный домик», как его ласково называют ростовчане, – градообразующий особняк старого города Ростова-на-Дону, на пересечении ул. Большая Садовая и пер. Крепостного, обладающим высокой историко-архитектурной ценностью как единственный в своем роде особняк в ансамбле с постройками имения, выполненный в стиле псевдоготики. Здание представляет собой Г-образную конфигурацию в плане. На главном фасаде здания установлена информационная доска: «Памятник федерального значения. Дом братьев Мартын, 1893 г., арх. Н.М. Соколов. Охраняется государством» [8].

Здание имеет два парадных фасада, обращенных к прилегающим улицам и объединенных угловым, полуциркульным в плане, башнеобразным объемом, увенчанным пирамидальным шатром. Плоскости стен сочетают в себе европейский

красный кирпичный и русский «белокаменный» декор. В композиции фасадов выделяются две раскреповки, фланкирующие угловой объем, и юго-западная, акцентирующая парадный вход в здание. Раскреповки завершены щипцами. Архитектурно-художественный облик южного и восточного фасадов, формируют средневековые архитектурные элементы и кирпичный декор. Они представляют художественную ценность: профилированный венчающий карниз из белого камня; аркатурный фриз на ступенчатых сухариках; простеночные лопатки на ступенчатых кронштейнах и с ложными выступами, имитирующими машикули, завершенные щипцами. Дополняют художественное оформление фасадов средневековые элементы: сандрики в виде коробовой арки и массивные наружные подоконники в оформлении оконных проемов первого яруса; массивные пологие перспективные клинчатые перемычки над проемами первого яруса; сандрики в виде лежачей арки, завершенные щипцами, увенчанные стилизованным флероном, в оконных проемах второго яруса; подоконные ширинки с имитацией массива; междуэтажная тяга с зубцами; стрельча-

тые проемы слуховых окон; ложный выступ второго яруса углового объема, завершенный щипцом; стрельчатые проемы слухового окна и балконной двери. Симметрию западного фасада подчеркивает центральная раскреповка, увенчанная трехступенчатым аттиком с аркатурным фризом и двойным стрельчатым слуховым окном, обрамленным сандриками и лопатками. Крайние оконные проемы первого и второго этажей слепые. Архитектурно-художественный облик западного и северного фасадов формирует кирпичный декор, аналогичный декору главных экстерьеров. К раскреповке западного фасада, в уровне второго этажа, примыкает балкон-терраса, опирающийся на конструкцию из столбов и стрельчатых арок. Ограждение балкона состоит из сборных литых чугунных элементов: восьмигранных угловых тумб с навершиями и решеток с массивом. Композицию восточного фасада одноэтажного формирует ритм слепых окон и простеночных лопаток на ступенчатых кронштейнах. Кирпичный декор каждого из фасадов привратничкой представлен щипцовыми завершениями, стрельчатыми слуховыми окнами и килевидными сандриками оконных проемов [8, с. 4–5].



Рис. 3. Дом Братьев Мартын, арх. Н.М. Соколов, г. Ростов-на-Дону. Фото Беловой А.Ю, 2018 г.

В решении фасадов важную роль играет первоначальное сочетание красного цвета кирпичных неоштукатуренных стен и белых элементов декора вносящее праздничный строй в архитектурно-художественный облик зданий. В оформлении фасадов и интерьеров здания применены кованые и литые декоративные элементы. Помимо

ограждения балкона, козырек над проемом парадного входа, выполнен из кованых ажурных элементов: тимпана, фриза, кронштейнов. Двухэтажное здание с краснокирпичным фасадом построено в духе романтического направления эклектики, в его оформлении сочетаются элементы различных архитектурных стилей.

Чудом сохранившийся особняк в 1995 году Указом Президента РФ был признан памятником архитектуры федерального значения. «Соседство с новостройками» – это не шаблонная фраза. В ходе строительных работ, которые проводились рядом, произошла деформация несущих конструкций «Красного дома» [9]. В 2007 г. здание, находившееся в аварийном состоянии, было передано Государственному музею-заповеднику М.А. Шолохова. Чтобы вернуть исторический облик памятнику, который представляет историко-архитектурную ценность как единственный в своём роде, выполненный в стиле псевдоготики, в 2008–2014 гг. была проведена его реставрация.

Во время реставрации на основе разработанной научно-проектной документации выполнено: усиление фундаментов здания, устройством буроналивных свай; осуществлена замена деревянных междуэтажных покрытий на монолитные железобетонные; заменено устройство крыши; выполнены работы по воссозданию шпиля шатра и шпилей слуховых окон; реставрация кирпичной кладки; замена наружных сетей водопровода и канализации, тепловых сетей; внутренняя отделка помещений, устройство полов, монтаж конструкций лестницы, усиление фундаментов террасы и ее устройство; покрытие полов гранитом; монтаж осветительных приборов; реставрация фасада и балконов; реставрация зеркал печей; воссоздание кованых ворот; установка фонарей. Художественную ценность представляет ограждение парадной междуэтажной лестницы, выполненное из сборных литых чугунных элементов: ступеней, подступенок, стоек ограждения. Во время реставрации фрагмент лестницы пришлось отливать заново. Лучшие современные литейщики так и не смогли повторить работу старых мастеров, даже с пятой попытки. «Шолохов-Центр» музей – заповедник М.А. Шолохова был открыт после реставрации Дома братьев Мартын в 2015 году.

Выводы. В данном исследовании, на основе документально-фотографического материала, натурных и архивных исследований, анализа композиционно-художественных особенностей архитектуры, сопоставлении элементов и архитектурных форм с различными стилистическими направлениями, были выявлены черты и элементы романтического направления архитектуры России конца XIX – начала XX в.в., в творчестве архитектора Николая Матвеевича Соколова.

Научное и творческое осмысление прошлого позволило многогранно проанализировать произведения, выявить их композиционные, стилистические, архитектурные и художественные особенности. Эти особенности выполнены в стиле псевдоготики с использованием элементов и мотивов, взятых из архитектуры немецкого и русского средневековья, в духе романтического направления. Это, несомненно, способствует обогащению практического опыта, разнообразию поисков в современных условиях.

***Источник финансирования.** Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-31-27001. Acknowledgments: The reported study was funded by RFBR, project number 19-31-27001.*

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Барановский Г.В. Юбилейный сборник сведений о деятельности бывших воспитанников Института гражданских инженеров (Строительного училища) 1842-1892г. г. Санкт-Петербург, 1893 г. Вып.1.
2. Николаева Т.И. Виктор Шретер. Иероним Китнер. г. Санкт-Петербург: Изд.дом «Коло», 2007. 400 с.
3. Борисова Е.А. Русская архитектура в эпоху романтизма. СПб.: Дмитрий Буланин, 1997. 316с.
4. Волошинова А.Ф. Перекресток столетий. Серия «Судьбы улиц, площадей, зодчих». г. Ростов н/Д: Изд-во «Донской издательский дом», 2004. 224 с.
5. Алфавит евреев, имеющих ученые степени, ростовских н/Дону купцов и мещан (рукопись). Сост. Волкенштейн И.Ф. г.Ростов н/Д, 1898. Л.6, об (хранится в ДГПБ).
6. Охранное обязательство № 65-17 на объект культурного наследия (памятников истории и культуры) народов Российской Федерации: «Домходный дом И.О. Шендерова, арх. Н.М. Соколов», от 14.04.2017.
7. Кукушин В.С. Эклектика // История архитектуры Нижнего Дона и Приазовья. г. Ростов-на-Дону: ГинГО, 1995. 275 с.
8. Охранное обязательство № 37-16 объекта культурного наследия (памятников истории и культуры) народов Российской Федерации: «Дом братьев Мартын, XIX в.», от 26.02.2016.
9. Дом братьев Мартын. «Донской Вавилон». [Электронный ресурс] Систем. требования: AdobeAcrobatReader. URL: <http://samsebetourist.ru/dom-bratev-martyn>. (дата обращения 8.01.2019).

Информация об авторах

Белова Анна Юрьевна, аспирант кафедры Истории Архитектуры Искусств и Архитектурной Реставрации, преподаватель кафедры Истории Архитектуры Искусств и Архитектурной Реставрации. E-mail: belova84@list.ru. Южный Федеральный Университет. Академия архитектуры и искусств. Россия, 344006, г. Ростов-на-Дону, ул. Большая Садовая, 105/42.

Петрусенко Юлия Викторовна, аспирант кафедры Истории Архитектуры Искусств и Архитектурной Реставрации, ассистент кафедры Основ Архитектурно-Художественного Проектирования. E-mail: miss.smiyukha21@yandex.ru. Южный Федеральный Университет. Академия архитектуры и искусств. Россия, 344006, г. Ростов-на-Дону, ул. Большая Садовая, 105/42.

Поступила в ноябре 2019 г.

© Белова А.Ю., Петрусенко Ю.В., 2020

Belova A.Y., *Petrusenko Y.V.

Southern Federal University. Academy of Architecture and Arts.

**E-mail: miss.smiyukha21@yandex.ru*

ROMANTICISM IN THE ARCHITECTURE OF APARTMENT HOUSES OF NIKOLAI MATVEEVICH SOKOLOV

Abstract. The article is devoted to the identification of romantic trends in the work of the Rostov city architect of the late XIX – early XX century Nikolai Matveevich Sokolov, and reveals unknown facts of this stage of his creative activity. Most of Sokolov's works are objects of cultural heritage of regional and Federal significance. The architect was a consistent supporter of the rational direction of architecture and a master of the «brick style». At the same time, romantic features are clearly traced in his works. The purpose of the study is to consider the objects inherent in the romantic direction of the second half of the XIX-early XX centuries, their analysis and systematization of data. The problem of this study is to identify romantic trends in the works of architect N.M. Sokolov, which influenced his creative activity as a city architect of Rostov-on-Don. The authors revealed new facts of the biography and creativity of the architect, introduced new archival materials into scientific use, systematized information about the life of the architect and his creative heritage. Special attention is paid to the current state and protection of the works of Sokolov.

Keywords: apartment houses, romanticism, creativity, architecture of the late XIX-early XX century, Rostov-on-Don, architect, Sokolov Nikolai Matveevich.

REFERENCES

1. Baranovsky G.V. Jubilee collection of information about the activities of former students of the Institute of civil engineers (Construction school) 1842–1892. [Yubilejnyj sbornik svedenij o deyatelnosti byvshih vospitannikov Instituta grazhdanskih inzhenerov (Stroitel'nogo uchilishcha) 1842–1892g.]. St. Petersburg, 1893. Vol. 1. (rus)
2. Nikolaeva T.I. Victor Schroeter. Jerome Kitner. [Viktor Shreter. Ieronim Kitner]. St. Petersburg: Ed.Colo house, 2007. 400 p. (rus)
3. Borisova E.A. Russian architecture in the era of romanticism [Russkaya arhitektura v epohu romantizma]. SPb.: Dmitry Bulanin, 1997. 316 p. (rus)
4. Voloshinov A.F. The Crossroads of centuries. Series «the Fate of streets, squares, architects». Rostov n/A: Publishing house «don publishing house». [Perekrestok stoletij. Seriya «Sud'by ulic, ploshchadej, zodchih»], 2004. 224 p. (rus)
5. Alphabet of Jews with academic degrees, Rostov n / don merchants and burghers (manuscript). Comp. Volkenstein I. F.-Rostov n / A, 1898. [Alfavit evreev, imeyushchih uchennye stepeni, rostovskih n/Donu kupcov i meshchan (rukopis')]. L.6, about (stored in the DSPB). (rus)
6. Protection obligation No. 65-17 on the object of cultural heritage (historical and cultural monuments) of the peoples of the Russian Federation: «I.O. Shenderov's Apartment house, arch. N. M. Sokolov», from 14.04.2017 [Ohrannoe obyazatel'stvo No. 65-17 na ob'ekt kul'turnogo naslediya (pamyatnikov istorii i kul'tury) narodov Rossijskoj Federacii: «Dohodnyj dom I.O. SHenderova, arh. N.M. Sokolov», ot 14.04.2017] (rus)
7. Kukushin B.C. Eclecticism History of architecture of the Lower don and the Azov sea [Eklektika Istorija arhitektury Nizhnego Dona i Priazov'ya]. Rostov-on-don: Gingo, 1995. 275 p. (rus)
8. Protection obligation No. 37–16 of the object of cultural heritage (monuments of history and culture) of the peoples of the Russian Federation: «House of brothers Martin, XIX century», from 26.02.2016. [Ohrannoe obyazatel'stvo No. 37–16 ob'ekta kul'turnogo naslediya (pamyatnikov istorii i kul'tury) narodov Rossijskoj Federacii: «Dom brat'ev Martyn, XIX v.», ot 26.02.2016]. (rus)
9. The house of Martyn brothers. «don

Babylon». [Dom brat'ev Martyn – «Donskoj Vavilon»]. [Electronic resource] Systems. requirements: AdobeAcrobatReader. URL: <http://samsebetourist.ru/dom-bratev-martyn>. (accessed 8.01.2019). (rus)

Information about the authors

Belova, Anna Y. Post-graduate student. E-mail: belova84@list.ru. Southern Federal University. Academy of architecture and arts. Russia, 344006, Rostov-on-don, Bolshaya Sadovaya st., 105/42.

Petrusenko, Yulia V. Post-graduate student. E-mail: miss.smiyukha21@yandex.ru. Southern Federal University. Academy of architecture and arts. Russia, 344006, Rostov-on-don, Bolshaya Sadovaya st., 105/42.

*Received in November 2019***Для цитирования:**

Белова А.Ю., Петрусенко Ю.В. Романтизм в архитектуре доходных домов творчества Николая Матвеевича Соколова // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2020. № 1. С. 32–39. DOI: 10.34031/2071-7318-2020-5-1-32-39

For citation:

Belova A.Y., Petrusenko Y.V. Romanticism in the architecture of apartment houses of Nikolai Matveevich Sokolov. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2020. No. 1. Pp. 32–39. DOI: 10.34031/2071-7318-2020-5-1-32-39

DOI: 10.34031/2071-7318-2020-5-1-40-50

Черныш Н.Д., *Василенко Н.А.*Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова***E-mail: nvasilenko_domik@mail.ru*

ОСОБЕННОСТИ ФУНКЦИОНАЛЬНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ АРХИТЕКТУРНЫХ ОБЪЕКТОВ НА ПРИМЕРЕ МОРСКИХ ПАССАЖИРСКИХ ТЕРМИНАЛОВ

Аннотация. Одним из приоритетных направлений государственной политики в области развития транспортной инфраструктуры является модернизация морской портовой инфраструктуры России, создание современных конкурентоспособных транспортно-пересадочных узлов и других архитектурных объектов со сложной функционально-планировочной структурой. Данная статья посвящена изучению особенностей функционально-технологических решений современных морских пассажирских терминалов и требованиям к их решениям с учетом интересов потребителей, в том числе маломобильных групп населения. Приведена функциональная схема пассажирского здания морского порта, виды операций предрейсовой подготовки пассажиров. Показано, что эффективное решение задач по оптимизации функционально-технологических и архитектурно-планировочных решений морских пассажирских терминалов возможно с применением современных ИТ-решений и технологий по обслуживанию пассажиров. С позиции системного подхода задачи оптимизации функционально-технологических решений направлены на достижение качества архитектурной среды и являются задачами математического программирования.

Ключевые слова: транспортно-пересадочный узел, морской пассажирский терминал, архитектурный объект, функционально-технологические решения, архитектурно- планировочные решения

Введение. На общероссийском уровне с октября 2018 г. на период до 2024 г. реализуется Национальный проект «Комплексный план модернизации и расширения магистральной инфраструктуры» (утверждён распоряжением Правительства Российской Федерации 30 сентября 2018 года № 2101-р). План включает 11 федеральных проектов, направленных на расширение и модернизацию как транспортной, так и энергетической инфраструктуры страны и регионов. Реализация Комплексного плана направлена на развитие транспортных коридоров «Запад-Восток» и «Север-Юг», расширение и модернизацию транспортной инфраструктуры авиационного, автодорожного, железнодорожного, морского и речного сообщения, а также обеспечение доступной электроэнергией и повышение связности регионов России. Развитие и модернизация сети основных видов транспортной системы России затрагивает актуальные вопросы функционально-технологических решений транспортно-пересадочных узлов и транспортно-пересадочных комплексов, развития сети объектов водных видов транспорта.

Согласно стратегии развития морской портовой инфраструктуры России до 2030 года [1], разработанной ФГУП «Росморпорт», среди важных направлений развития инфраструктуры для обеспечения пассажироперевозок является создание новых и модернизация существующих морских пассажирских терминалов.

Теоретическим и практическим аспектам формирования системы различных вокзальных комплексов и транспортно-пересадочных узлов посвящены работы ряда авторов [2–7]. Новейшим подходам к дизайну городских улиц и общественных пространств, их проектированию на основе последних достижений архитектуры посвящено издание [8]. Организации иерархической структуры коммуникационного каркаса градостроительных систем в рамках системной методологии посвящена работа [9]. Проблемы организации транспортного обслуживания инвалидов в городах и вопросы формирования безбарьерной архитектурной среды изложены в публикациях [10, 11].

Различным аспектам организации современных морских вокзальных комплексов посвящены работы Корольковой А.В. [12, 13]. Вопросы формирования среды портов и портовых сооружений изложены в работах [14, 15]. Аспектам использования моделирования в исследовании операционных процессов обслуживания пассажиров в морском пассажирском терминале посвящены исследования [16, 17]. Вопросы параметрической оптимизации функциональных и планировочных решений архитектурных объектов на основе системного подхода отражены в работе [18]. Современным условиям создания комфортного архитектурного средового пространства и микроклимата посвящены публикации [19, 20].

Анализ научных публикаций позволяет прийти к выводу о том, что в настоящее время в архитектурно-градостроительной теории и практике нет единого подхода к трактовке архитектурных объектов со сложной функционально-технологической схемой, которыми являются пассажирские терминалы, как подсистем многоуровневой иерархической транспортной системы. Сложность функциональных процессов в аспекте цифрового и технологического развития требует системного мышления и системного подхода в вопросах формирования и модернизации современных транспортно-пересадочных узлов и терминалов, что и определило цель данного исследования.

Материалы и методы. Объектом данного исследования являются морские пассажирские терминалы как подсистема многоуровневой архитектурно-градостроительной системы транспортно-пересадочных узлов населенных мест. Предмет исследования: специфика функционально-технологической организации современных морских пассажирских терминалов.

Цель исследования: выявление и обоснование особенностей разработки функционально-технологических решений архитектурных объектов со сложной планировочной организацией на примере морских пассажирских терминалов. Методика исследования базируется на системном подходе применительно к целостным архитектурным объектам разных уровней иерархии.

Основная часть. Пассажирские терминалы представляют собой архитектурно-градостроительные объекты со сложной планировочной и технологической организацией. Следует выделить два основных варианта расположения морских терминалов в структуре города: в центральной его части и на периферии. Пассажирский район порта проектируют на обособленном участке акватории порта в изоляции от грузовых причалов.

Пассажирские терминалы классифицируют по виду обслуживаемых судов и программе маршрутов судов на: яхтные, круизные (по обслуживанию лайнеров или небольших круизных судов), паромные и контейнерные. По одновременной вместимости на: малые (до 700 чел.), средние (700–1500 чел.) и большие (от 1500 чел.). По сложности функциональных процессов в архитектурно-градостроительной практике различают одно- и многофункциональные морские пассажирские терминалы и комплексы [12, 13].

Согласно п. 5.7 норматива [21] пассажирские терминалы различают по специализации причалов для следующих видов водных транспортных средств:

- пассажирских водоизмещающих судов (катеров);
- грузопассажирских водоизмещающих судов (паромов);
- судов скоростных линий – с динамическими принципами движения (суда на воздушной подушке (СВП); суда на подводных крыльях (СПК); глиссирующие; суда на подводных крыльях с воздушным крылом; суда с искусственной каверной; суда с «воздушной смазкой» («морские сани»); экранопланы).

На рис. 1 представлена схема, отражающая структуру пассажирского терминала, согласно [21]. Компоновке зданий и сооружений терминала предшествует компоновка порта – разработка оптимального решения по взаимоувязке всех его элементов: территории, акватории, водных подходов и подъездов железнодорожного и автомобильного транспорта, обеспечивающего эффективное использование территории, районирование порта, выбор наиболее рациональной конфигурации причальной линии, компоновку терминалов; а также компоновку акватории порта с учетом существующих и намечаемых к строительству объектов инфраструктуры, перспективы развития порта.

Набережные, оборудованные устройствами для швартовки пассажирских судов (причальный фронт) сооружают в зависимости от условий местности в виде: а) открытого фронта; б) бассейнов (ковшовый тип); в) пирсов и комбинированного типа. Морские пассажирские терминалы могут включать следующие виды дополнительно используемого транспорта: общественный автобусный, железнодорожный и особые виды транспорта (канатная дорога, вертолет, монорельс и т.д.).

Достаточно широкий круг функционально-технических, градостроительных, экологических, социальных и художественно-эстетических требований влияет на формирование структуры и архитектурного облика транспортно-пересадочных узлов и зданий морских пассажирских терминалов, в частности. Архитектурно-планировочные и композиционные приемы организации объекта связаны с функционально-технологическими процессами в здании, на привокзальной площади и пирсе (перроне), организацией движения основных потоков пассажиров отправления и прибытия, очередностью совершаемых ими операций. Приемы организации пространства также зависят от характера операций, проводимых в здании вокзала, эксплуатационных характеристик терминала, определяемых рядом критериев:

- продолжительность операций для пассажиров;
- уровень комфортности;

- протяженность пешего пути пассажира от стоянок автотранспорта до места посадки на судне (и обратно);
- организация безопасности движения;

- пересечения технологических путей движения пассажиров (их наличие или отсутствие) [22].



Рис. 1. Структурная схема пассажирского терминала

Следует обратить внимание на специфику организации работы морских пассажирских терминалов: технологический процесс, состоящий из рабочих процессов, операций и приемов, предполагает совокупность способов и средств, обеспечивающих выполнение функций, связанных с отправлением, прибытием или пересадкой пассажиров, таких как: специфика работы каждого подразделения терминала и четкая последовательность и оперативность выполнения процедур, в том числе операций таможенного, паспортного контроля, покупки билетов и перевозки багажа, функциональное размещение помещений и использование технических средств; организация средств безопасности как пассажиров прибытия и отправления, так и обслуживающего персонала с использованием эффективных механических и автоматизированных устройств, передовых методов выполнения операций [22].

При этом состав и планировочные решения помещений зданий морских портов имеют ряд особенностей, связанных с необходимостью выполнения таможенных и пограничных процедур в специальных помещениях [22, 23, 24]. Обслуживание пассажиров международных линий предполагает широкий набор помещений, которые целесообразно сгруппировать вокруг вестибюля или залов ожидания, сформировав операционные залы.

Таким образом, технологический процесс работы терминала содержит данные: о его производственной и технической характеристике; об организации следующих производственных процессов: продажа билетов, работа информационно-справочной службы, движение пассажиропотоков, работа багажного отделения и камер хранения ручной клади, а также о режиме уборки помещений терминала и пространства платформ; о слаженности работы подразделений вокзала, причалов, подъездных путей, перегрузочном

оборудовании, служебно-вспомогательных зданий и сооружений; о культурно-бытовом обслуживании пассажиров.

Количество обслуживаемых пассажиров и расчетная вместимость (число одновременно находящихся в здании пассажиров в наиболее интенсивный час расчетных суток) влияют на определение размеров терминала. Объемно-планировочная структура терминала должна соответствовать ряду требований:

- 1) потоки пассажиров прибытия и отправления и посетителей должны быть разделены;
- 2) операционные устройства и помещения (билетные и багажные кассы, справочные бюро, камеры хранения, паспортного контроля и др.) формируют основные потоки движения пассажиров;
- 3) залы ожидания для пассажиров, объекты общественного питания и торгово-бытового обслуживания необходимо приближать к основным потокам движения пассажиров;
- 4) помещения длительного ожидания, комнаты матери и ребенка необходимо размещать вдали от шумных помещений и зон терминала, погрузочно-перегрузочных машин и оборудования;
- 5) должны быть обеспечены удобства для работы и отдыха персонала терминала [24].

Архитектурно-планировочные схемы морских вокзальных комплексов и пассажирских терминалов могут быть представлены тремя видами компоновочных схем [12]: одноуровневые, двухуровневые, многоуровневые и многоуровневые многофункциональные.

В научной публикации [13] представлен вариант функционально-структурной схемы пассажирского терминала (рис. 2), содержащей требуемый технологически взаимосвязанный набор зон:

- распределительная с основными операционными функциями;

- обслуживания пассажиров с дополнительными функциями;
- регистрации;
- ожидания;
- прибытия;
- таможенного контроля;
- административная;
- эксплуатационно-техническая;
- многофункционального пространства.

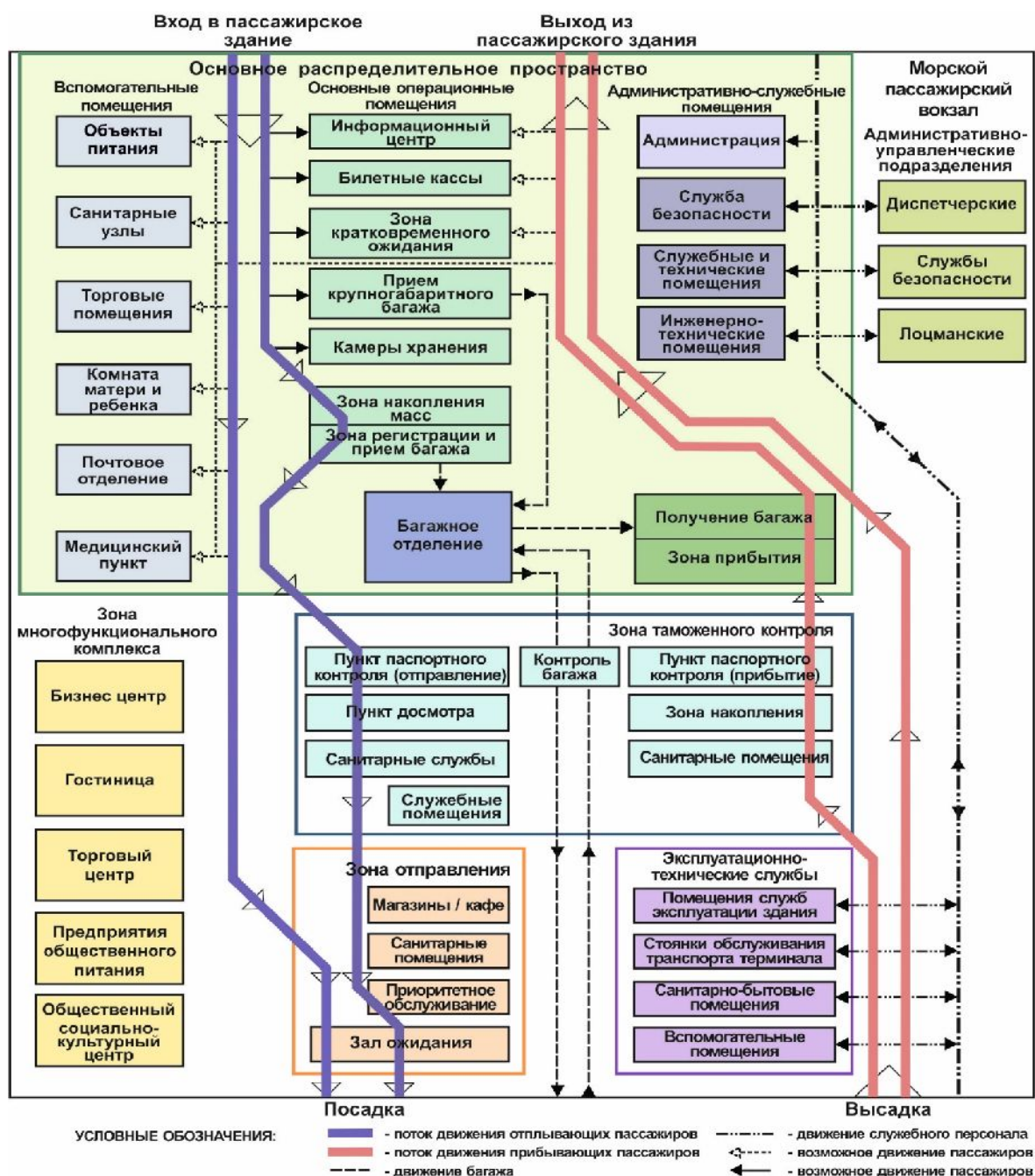


Рис. 2. Функциональная схема пассажирского здания морского порта

Состав помещений пассажирского здания терминала определяют основные виды обслуживания пассажиров отправления и прибытия: билетные кассы, залы ожидания, камеры хранения багажа и ручной клади, информационно-справочное бюро, помещения паспортного и таможенного контроля, а также дополнительного обслуживания: объекты торговли и общественного питания (буфет, кафе, ресторан), медицинский

пункт, почтовое отделение, парикмахерские, банкоматы, киоски, санитарные помещения, курительные; при соблюдении ряда требований: удобство навигации пассажиропотоков; своевременность регистрации; эффективность досмотра и обработки багажа; быстрая посадка на борт.

Следует отметить, что поведение и мотивация групп потоков пассажиров и отдельно идущего человека различны [17]. Важное значение

для пассажиров отправления, особенно для мало-мобильных групп населения, имеет последовательность размещения операционных помещений, определяющих функцию терминала, начиная от входа в здание: вестибюль, информационный центр, билетные и багажные кассы, камеры хранения, зона регистрации, зал ожидания. Наиболее удобные и короткие пути выхода к остановкам общественного транспорта вне помещений вокзала, без пересечения потоков пассажиров отправления актуальны для пассажиров прибытия. Решению данных задач способствуют современные технологии и оборудование.

На рис. 3 приведены примеры организации отдельных операций в обслуживании пассажиров. Применение современного оборудования,

ИТ—решения позволяют увеличить скорость обслуживания при регистрации пассажиров на сравнительно небольших площадях и снизить эксплуатационные расходы оператора терминала. Снижению нагрузки до 50 % на зоны регистрации способствует прохождение регистрации в пунктах пропуска автомобилей. Деление регистрации по группам пассажиров уменьшает очередь на регистрации и сокращает время обслуживания. Обслуживание пассажиров после регистрации предусматривает таможенное оформление, досмотр безопасности и пограничный контроль, оборудование которых включает кабину паспортного контроля или автоматический турникет паспортного контроля.



Рис. 3. Операции предрейсовой подготовки пассажиров

Предрейсовая подготовка предшествует и обеспечивает посадку пассажирам через телескопический трап на палубу. Багаж со стоек регистрации проходит таможенную проверку на интроскопе и загрузку в грузовой трюм судна. Прибывающие пассажиры получают багаж на карусели в зале выдачи багажа.

Планировку здания пассажирского терминала следует разрабатывать универсальной и гибкой, позволяющей вносить изменения в размеры и планировку помещений при совершенствовании технологического процесса обслужи-

вания пассажиропотоков. При определении площади основных помещений пассажирского здания учитывают расчетную вместимость, нормы площади, установленные на одного пассажира, расстановку и габаритные размеры оборудования, требуемые проходы и т.п. [22, 24].

В пассажирском здании терминала следует предусмотреть:

а) группа основных операционных помещений (вестибюль, информационный центр, операционные залы, зоны регистрации, залы ожидания, комнаты матери и ребенка);

б) группы пассажирских помещений вспомогательного назначения (почта–телеграф, рестораны, кафе-буфеты, торговые киоски);

в) административно-служебные помещения (служба безопасности, кабинеты администрации, диспетчерские, лоцманские, комнаты дежурных по вокзалу, инженерно-технические помещения и др.);

г) подсобно-технические помещения (котельные, бойлерные, трансфер).

Согласно [22] вестибюли могут быть запроектированы как распределительные зоны, операционно-кассовые залы, или комбинированные, компактно и удобно связанные с залами ожидания и обладающие достаточной для накопления пассажиров отправленной площадью. Вблизи входа в основное распределительное пространство целесообразно размещение информационно-справочного бюро, оборудованного телефоном, радио другими средствами связи, информационные стенды, щиты, содержащие информацию по обслуживанию пассажиров.

Различают два основных приема компоновки билетных касс: открытый (банковского типа) или групповой (закрытые кабины встроенного типа). Между осями касс предусматривают расстояние 2,0 м, перед кассами – свободную зону накопления пассажиров глубиной не менее 3,0–4,0 м. Кассы оборудуют диспетчерской связью и билетопечатающими устройствами. Технологически для работы билетных касс необходимы служебные помещения: комната отдыха кассиров, комната старшего кассира. По направлению движения потока пассажиров отправления, в зале целесообразно размещение автоматов по продаже билетов и билетопечатающего оборудования. При определении расположения билетных и багажных касс, камеры хранения имеет значение расчет фронт билетных касс и фронт приема и выдачи ручной клади и багажа.

Багажные кассы целесообразно размещать вблизи мест хранения ручного багажа. Камеры хранения ручной клади при этом проектируют с учетом доступа и удобного пользования пассажирами двух маршрутов: как прибытия, так и отправления. Для объемного и тяжелого багажа багажные отделения располагают с учетом удобных подъездов электрокаров, автокар, тележек и автотранспорта. Размеры багажных помещений устанавливают исходя из условий технологических процессов и удобства комплектования, сортировки, погрузки–выгрузки багажа, почтовых, складских и других подобных операций с учетом оборудования специальными устройствами для механизации погрузо-разгрузочных работ.

Зал ожидания примыкает к вестибюлю и желательнее располагать в стороне от движения пассажиропотоков, при организации удобной связи с рестораном (кафе, буфетом) и выходами на перрон (пирс). Пассажирские залы разрабатывают с учетом схем пассажирского потока. Смежно с залами ожидания располагают непроходные залы ресторана, кафе, столовых-закусочных или буфетов, подсобные помещения которых проектируют, предусматривая отдельный вход для доставки продуктов, и вывоза тары и отходов. Состав и площади помещений объектов общественного питания принимают с учетом пропускной способности терминала, контингента пассажиров, принятых видов питания, габаритов и вариантов расстановки оборудования и мебели.

Операционный зал и зал ожидания допустимо объединять при использовании стационарных или мобильных рекламных стендов, торговых модулей, секционной мебели, ландшафтных композиций и других приемов зонирования пространства интерьера. Непосредственно в зале ожидания или в зале, примыкающем к нему, располагают торговые киоски для продажи минеральной воды, кофе, чая, бутербродов, книг, газет и журналов, кондитерских и аптекарских товаров, сувениров. Возможно устройство залов для просмотра кинофильмов и телепередач, лекционные и читательские залы. Вблизи залов ожидания возможно размещение парикмахерской с подсобными помещениями, помещения для срочного ремонта обуви, одежды, часов, заправки авторучек и других помещений бытового обслуживания пассажиров.

Медицинский пункт следует проектировать с входами со стороны пирса. Комната матери и ребенка включает ряд помещений: приемную, спальни, столовую, комнату для игр, санитарный узел. В пассажирском здании порта комнаты длительного отдыха пассажиров размещают изолированно от шумных помещений и основных потоков пассажиров.

Связанные с обслуживанием пассажиров административные помещения целесообразно приближать к залам ожидания и вестибюлю; другие служебно-технические и административные помещения здания вокзала необходимо располагать компактно. Группу служебных помещений проектируют с отдельным входом. Диспетчерскую размещают с возможно более полным обзором пирса; помещение дежурного проектируют в одном уровне с площадками пассажирского пирса.

В пассажирском здании проектируют отдельные санитарные узлы (женские и мужские), располагая их без непосредственного выхода в

операционные залы. Габариты помещений санитарных узлов принимают согласно норматива [25]. Санитарные узлы оборудуют умывальниками, могут быть предусмотрены душевые кабины размером 1,0×2,0 м. Смежно с санитарными узлами располагают непроходные курительные комнаты (одна или несколько).

Бытовые помещения для работников следует располагать обособленно от основных пассажирских помещений. Вспомогательные сооружения (гараж малой механизации, трансформаторные подстанции, насосные, вентиляционные устройства и т.п.) целесообразно проектировать встроенными.

Высоту этажа залов пассажирского здания и зала ресторана принимают от 3,6 м (желательно, не менее 4,8 м) с учетом вместимости залов и объемно-планировочной структуры здания. Минимальную высоту помещений в свету (от пола до низа выступающих конструкций перекрытия или покрытия) принимают [24]:

- а) для надземных и подземных пассажирских помещений, залов – не менее 3,3 м;
- б) для залов с машинными системами кондиционирования воздуха – не менее 4,5 м;
- в) для остальных надземных помещений пассажирского здания, включая технические, – не менее 2,5 м.

Нормами проектирования [24] рекомендовано проектировать основные помещения для пассажиров с минимальным количеством опор, с возможностью вариативности в зонировании внутреннего пространства, а при необходимости – реконструкции, расширения здания по вертикали (надстройка) или горизонтали (достройка). Применение отдельных опор и светопрозрачных стеновых ограждений позволяет создать необходимую обзорность операционных залов с площади морского вокзала, а также видимость пирса из залов ожидания и помещений технологического назначения. Применение светопрозрачных ограждений должно удовлетворять требованиям защиты от шума извне.

Для обслуживания групп маломобильного населения целесообразно объединение операционных залов и залов для ожидания в единое пространство, исключая необходимость передвижения таких пассажиров по вертикали. Для перемещения пассажиров-инвалидов при незначительных перепадах уровней между залами устраивают пандусы, либо лестницы дублируют подъемниками. Пространственные ориентиры и система визуальных коммуникаций, предназначенных как для пассажиров, так и персонала, в том числе в помощь инвалидам различных категорий,

позволяет определить рациональные пути перемещения в здании вокзала и на территории терминала.

С целью удобства обслуживания маломобильных пассажиров, группу основных операционных помещений (вестибюли кассовые залы, багажные отделения и др.) целесообразно компоновать со стороны привокзальной площади. Торговые киоски, почтовые отделения следует размещать вблизи основных пассажирских помещений. В основных операционных помещениях пассажирского здания для инвалидов необходимо предусмотреть: организацию свободного пространства перед кассами и автоматами для продажи билетов и другими устройствами с целью создания возможности маневрирования инвалида на кресле-коляске при большом скоплении пассажиров; устройство окошек касс, киосков, камер хранения ручной клади и другого оборудования на высоте 0,8 м от уровня пола. Зоны перед справочными бюро, билетными кассами, ограниченные стойками с поручнями и с проходом, необходимо предусматривать с возможностью проезда инвалида на кресле-коляске после обслуживания предыдущего клиента [24, 25].

Залы ожидания должны быть обеспечены зонами для размещения инвалидов, передвигающихся на креслах-колясках (2,1 м² на одно место) [25]. С этой целью часть диванов или скамей в залах ожидания размещают на расстоянии друг от друга более или равно 2,7 м. На главных пешеходных путях следует устраивать движущиеся дорожки (траволаторы), тротуары. С целью повышения оперативности и механизации процесса перемещения багажа, особенно в зоне таможенного контроля, целесообразно применение транспортеров и других механизированных устройств. Для маломобильных пассажиров необходимо устройство лифтов, подъемников.

Места общего пользования необходимо обозначать специальными знаками или символами доступности: оборудованные для передвижения инвалидов входы в здание и помещения, наличие переходов через транспортные коммуникации, подъемников, общественные санузлы и т.д. В пассажирском здании терминала важную роль играет звуковое оповещение (централизованное, локальное), особенно для инвалидов с дефектами зрения [9, 10, 25]. Системы средств информации, предназначенные для пассажиров с ограниченными возможностями должны быть комплексными: визуальными, звуковыми и тактильными.

Выводы

1. Разработка технологических решений современных архитектурно-градостроительных объектов со сложной функционально-планиро-

вочной структурой связана с эффективным распределением материально-технических, социальных, природных ресурсов и должна отвечать требованиям безопасности и энергетической эффективности технологических процессов при одновременном компактном объемно-планировочном решении объекта. Функционально-технологические решения морских пассажирских терминалов с учетом интересов потребителей должны отвечать требованиям:

- социального назначения (адресность услуг, в том числе для маломобильных групп населения с установлением режима оказания услуг);
- разделения пассажиропотоков с целью обеспечения непрерывного движения;
- точности и своевременности исполнения операций;
- безопасности и охраны окружающей среды;
- беспрепятственной ориентации в среде терминала, пассажирских причалов и внутри здания вокзала; информативности пространства, наличию понятной навигации и доступности обслуживающих помещений по ходу движения пассажиров;
- композиционной целостности и гармоничности архитектурного облика интерьера и экстерьера).

При этом определение категории обслуживаемых пассажиров задает состав и площадь основных помещений, последовательность их размещения, специфику и очередность технологических операций, принципиальное архитектурно-пространственное решение здания.

2. Функционально-технологические решения лежат в основе задач по оптимизации параметров объекта проектирования как малого масштаба, так и задач уровня управления развитием и функционированием крупных архитектурно-градостроительных объектов, которыми являются многофункциональные транспортно-пересадочные узлы. По своему содержанию задачи оптимизации функционально-технологических и архитектурно-планировочных решений с точки зрения математической постановки являются задачами математического программирования.

3. Решающими этапами в процессе оптимизации функционально-технологических и планировочных решений являются: этап научных работ и обоснований, а также этап вариантного проектирования. Данные этапы направлены на достижение качества архитектурной среды. На каждом этапе оптимизация должна осуществляться на основе ограничений, с учетом их функционально-динамического характера, то есть – на

базе применения системного подхода и разработки динамических моделей архитектурных систем.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Стратегия развития морской портовой инфраструктуры России до 2030 года. Одобрена на совещании членов Морской коллегии при Правительстве Российской Федерации (протокол от 28 сентября 2012 г. № 2(18)). [Электронный ресурс]. М.: ФГУП «Росморпорт», 2013. 190 с. URL: http://rosmorport.ru/media/File/State-Private_Partnership/strategy_2030.pdf (дата обращения: 20.11.2019).
2. Агасьянц А.А. Сеть автомобильных магистралей в крупнейших городах: транспортно-градостроительные проблемы: монография. М.: МГСУ: АСВ, 2010. 248 с.
3. Азаренкова З.В. Транспортно-пересадочные узлы в планировке городов. М.: ОАО «Типография «Новости»», 2011. 96 с.
4. Алексеев Ю.В., Сомов Г.Ю., Дешев В.Ю., Ройтман В.М., Лакутинова Е.П., Столярова М.Ю., Егоров С.Ю., Петров А.В., Астафьев С.А., Брехунец А.А. Развитие и реконструкция социально-транспортной инфраструктуры мегаполиса. Надземные автомагистрали над железной дорогой: монография; под общ. ред. Ю. В. Алексеева. М.: АСВ, 2011. 328 с.
5. Правдин Н.В., Негрей В.Я., Подкопаев В.А. Взаимодействие различных видов транспорта: (примеры и расчеты). Под ред. Н.В. Правдина. М.: Транспорт, 1989. 208 с.
6. Сафронов Э.А. Транспортные системы городов и регионов. М.: АСВ, 2007. 288 с.
7. Теличенко В.И. Современные технологии комплексного освоения подземного пространства мегаполисов. М.: АСВ, 2010. 360 с.
8. Проектирование городских улиц: пер. с англ.: Н. Андреев. Сост.: Дж. Мелло и др.; НАСТО М.: Альпина нон-фикшн: Городские проекты, 2015. 192 с.
9. Шевелев В.Г. Иерархическая структура коммуникационного каркаса градостроительных систем в рамках концепции демоэкологии // Вестник Воронежского ГАСУ. 2013. Вып. № 1 (29). С. 114–120.
10. Сафронов К.Э. Эффективность организации транспортного обслуживания инвалидов в городах. М.: АСВ, 2010. 208 с.
11. Тарасенко В.Н., Черныш Н.Д. Многокритериальность задачи формирования компетенций в сфере создания безбарьерной архитектурной среды // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2016. № 12. С. 76–79. DOI: <https://doi.org/10.12737/22850> (дата обращения: 10.11.2019).

12. Королькова А.В. Принципы формирования архитектуры современных морских вокзальных комплексов [Электронный ресурс] // АМІТ. 2017. №1 (38). С. 200–212. Режим доступа: URL: <https://www.marhi.ru/AMIT/2017/1kvart17/korolkova/index.php>

13. Котельникова А.В. Особенности развития архитектурно-планировочной организации морского вокзала [Электронный ресурс] // АМІТ. 2016. №1 (34). С. 1–12. Режим доступа: URL: <https://marhi.ru/AMIT/2016/1kvart16/kotel/abstract.php>

14. Левачев С.Н., Корчагин Е.А., Пиляев С.И., Кантаржи И.Г., Шурухин Л.А. Порты и портовые сооружения [Электронный ресурс] М.: АСВ, 2015. 536 с. Режим доступа: URL: <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785432300935.html>

15. Смирнов Г.Н. Порты и портовые сооружения. М.: АСВ, 2003. 464 с.

16. Майоров Н.Н. Методологический базис организации сети морских пассажирских перевозок // Вестник АГТУ. Сер.: Морская техника и технология. 2018. № 2. С. 28–37. doi: 10.24143/2073-15742018-2-28-37.

17. Майоров Н.Н., Фетисов В.А. Исследование операционных процессов обслуживания пассажиров в морском пассажирском терминале с использованием моделирования // Вестник ГУ Морского и речного флота им. адмирала С.О. Макарова. 2016. Вып. 6 (40). С. 70–80. doi: 10.21821/2309-5180-2016-8-6-70-80.

18. Vasilenko N.A. Parametric optimization of an architectural object's form as a method to improve its energy efficiency // IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 2018. Volume 463, Part 2. Article 032086. doi:

10.1088/1757-899X/552/1/012027.

19. Черныш Н.Д., Тарасенко В.Н. Современные условия создания комфортного архитектурного средового пространства // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2017. №. 1. С. 101–104. DOI: <https://doi.org/10.12737/23737> (дата обращения: 10.11.2019).

20. Черныш Н.Д., Тарасенко В.Н. Микроклимат селитебной территории как многокомпонентная среда архитектурно-строительного проектирования // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2015. № 6. С. 57–61.

21. ГОСТ Р 55507-2013 Эксплуатация речных портов. Термины и определения. Дата введения 2014 07-01 [Электронный ресурс]. М.: Стандартиформ, 2014 URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200107593>

22. СП 350.1326000.2018 Нормы технологического проектирования морских портов. М.: Стандартиформ, 2018. 218 с.

23. Постановление правительства Российской Федерации от 2.02.2005 № 50 О порядке применения средств и методов контроля на пограничных переходах [Электронный ресурс]. URL: <http://ivo.garant.ru/#/document/12138677/paragraph/1371:0>

24. МДС 32-1.2000. Рекомендации по проектированию вокзалов. М.: ГУП ЦПП, ЦНИИП градостроительства Госстроя России, 1998. 60 с.

25. СП 59.13330.2016 Доступность зданий и сооружений для маломобильных групп населения. Актуализированная редакция СНиП 35-01-2001 [Электронный ресурс]. М.: Минстрой России, 2017. URL: <http://docs.cntd.ru/document/456033921>.

Информация об авторах

Черныш Надежда Дмитриевна, доцент кафедры архитектурных конструкций. E-mail: chernysh-nadejda@ya.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Василенко Наталья Анатольевна, кандидат архитектуры, доцент кафедры архитектурных конструкций. E-mail: nvasilenko_domik@mail.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Поступила в ноябре 2019 г.

© Черныш Н.Д., Василенко Н.А., 2020

Chernysh N.D., *Vasilenko N.A.

Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhova

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

FEATURES OF FUNCTIONAL AND TECHNOLOGICAL SOLUTIONS OF ARCHITECTURAL OBJECTS ON THE EXAMPLE OF SEA PASSENGER TERMINALS

Abstract. One of the priorities of the state policy in the field of transport infrastructure development is the modernization of the Russian seaport infrastructure, the creation of modern competitive transport hubs

and other architectural objects with a complex functional and planning structure. This article is devoted to the study of functional and technological solutions of modern sea passenger terminals and the requirements to these solutions taking into account the interests of consumers, including people with limited mobility. The functional diagram of the passenger building of the seaport and types of pre-trip passenger training operations are given. It is shown that the efficient decisions of optimizing functional, technological, architectural and planning solutions of seaport passenger terminals is possible with the use of modern IT and technologies for passenger handling. From the perspective of system approach the tasks of functional and technological solutions' optimization are aimed at achieving the high quality of architectural environment and are the mathematical programming tasks.

Keywords: transport interchange hub, sea passenger terminal, architectural object, functional and technological solutions, architectural and planning solutions.

REFERENCES

1. Strategy of development of sea port infrastructure of Russia till 2030 [Strategiya razvitiya morskoy portovoy infrastruktury Rossii do 2030 goda]. Approved at the meeting of the members of the Maritime Board under the Government of the Russian Federation (Protocol No. 2 (18) of September 28, 2012). Moscow: FSUE «Rosmorport». 2013. 190 p. URL: http://rosmorport.ru/media/File/State-Private_Partnership/strategy_2030.pdf (date accessed: 20.11.2019). (rus)
2. Agasyants A.A. Network of highways in the largest cities: transport and urban problems [Set' avtomobil'nyh magistralei v krupneyshykh gorodakh: transportno-gradostroitel'nye problemy]: monograph. Moscow: MGSU: ASV. 2010. 248 p. (rus)
3. Azarenkova Z.V. Transport hubs in urban planning [Transportno-peresadochnye uzly v planirovke gorodov]. Moscow: JSC «Typography «News». 2011. 96 p. (rus)
4. Alekseev U.V., Somov G.U., Cheap V.Y., Roitman V.M., Lagutina E.P., carpenter M.Yu., Egorov S.Yu., Petrov A.V., Astafiev S. A. and Brehunets A. A. Development and reconstruction of social and transport infrastructure of the metropolis. The elevated Expressway over the railway: a monograph [Razvitie i rekonstruktsiya social'no-transportnoy infrastruktury megapolisa. Nadzemnye avtomagistrali nad zheleznoy dorogoy: monografiya]. Under the General editorship of Yu.V. Alekseev. Moscow: ASV. 2011. 328 p. (rus)
5. Pravdin N.V., Negrei V.Ya., Podkopaev V.A. Interaction of different types of transport: (examples and calculations) [Vzaimodeystvie razlichnykh vidov transporta: (primery i raschety)]. Moscow: Transport. 1989. 208 p. (rus)
6. Safronov E.A. Transport systems of cities and regions [Transportnye sistemy gorodov i regionov]. Moscow: ASV. 2007. 288 p. (rus)
7. Telichenko V.I. Modern technologies of complex development of underground space of megapolises [Sovremennye tekhnologii kompleksnogo osvoeniya podzemnogo prostranstva]. Moscow: ASV. 2010. 360 p. (rus)
8. Designing city streets [Proektirovanie gorodskikh ylytz]: Trans. from the English: N. Andreev. Comp.: J. Mello et al; NACTO. Moscow: Alpina Non-Fiction: Urban projects. 2015. 192 p. (rus)
9. Shevelev V.G. Hierarchical structure of the communication framework of the types of town-planning systems within the concept of demonology [Hierarkhicheskaya struktura kommunikatsionnogo karkasa gradostroitel'nykh sistem v ramkakh kontseptzii demoekologii]. Vestnik of the Voronezh GASU. 2013. Vol. 1 (29). Pp. 114–120. (rus)
10. Safronov K.E. Efficiency of organization of transport services for disabled people in cities [Effektivnost' organizatsii transportnogo obsluzhivaniya invalidov v gorodakh]. Moscow: ASV. 2010. 208 p. (rus)
11. Tarasenko V.N., Chernysh N.D. The multicriteria tasks of competences in the field of creating a barrier-free architectural environment [Mnogokriterial'nost' zadachi formirovaniya kompetentziy v sfere sozdaniya bezbar'ernoy sredy]. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2016. No. 12. Pp. 76–79. doi: <https://doi.org/10.12737/22850> (date accessed: 10.11.2019). (rus)
12. Korolkova A.V. Principles of architectural design of modern marine terminal complexes [Prizipy formirovaniya arkhitektury sovremennykh morskikh vokzal'nykh kompleksov]. AMIT. 2017. No. 1 (38). Pp. 200–212. Mode of access: URL: <https://www.marhi.ru/AMIT/2017/1kvart17/korolkova/index.php> (rus)
13. Kotelnikova A.V. Development features of architectural and planning organization of the marine terminal [Osobennosti razvitiya arkhitekturno-planirovochnoy organizatsii morskogo vokzala]. AMIT. 2016. No. 1 (34). Pp. 1–12. Mode of access: URL: <https://marhi.ru/AMIT/2016/1kvart16/kotel/abstract.php> (rus)
14. Levachev S.N., Korchagin E.A., Pilyaev S.I., Kantarzhii I.G., Shurukhin L.A. Ports and port facilities [Porty i portovye sooruzheniya]. Moscow: ASV. 2015. 536 p. Access mode: URL: <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785432300935.html> (rus)
15. Smirnov G.N. Ports and port facilities [Porty i portovye sooruzheniya]. Moscow: ASV. 2003. 464 p. (rus)

16. Mayorov N.N. Methodological principles of the organization of the marine passenger traffic network [Metodologicheskiiy basis organizatsii seti morskikh passazhirskikh perevozok]. Vestnik of ASTU. Ser.: Marine engineering and technology. 2018. No. 2. Pp. 28–37. doi: 10.24143/2073-15742018-2-28-37. (rus)

17. Mayorov N.N., Fetisov V.A. Research of operational processes of passenger service in the sea passenger terminal with the use of modeling [Issledovanie operatsionnykh protsessov obsluzhivaniya passazhirov v morskoy passazhirskoy terminal s ispol'zovaniem modelirovaniya]. Vestnik GU Sea and River Fleet named after Admiral S. O. Makarov. 2016. Vol. 6 (40). Pp. 70–80. doi: 10.21821/2309-5180-2016-8-6-70-80 (rus)

18. Vasilenko N.A. Parametric optimization of an architectural object's form as a method to improve its energy efficiency. IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 2018. Volume 463, Part 2. Article number 032086. doi:10.1088/1757-899X/552/1/012027

19. Chernysh N.D., Tarasenko V.N. Modern creation environment a comfortable built environmental space [Sovremennyye usloviya sozdaniya komfortnogo arkhitekturnogo sredovogo prostanstva]. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2017. No. 1. Pp. 101–104. doi: <https://doi.org/10.12737/23737> (date accessed: 10.11.2019). (rus)

20. Chernysh N.D., Tarasenko V.N. Microclimate of residential territory as a multicomponent environment of architectural and construction design [Mikroklimat selitebnoy territorii kak mnogokomponentnaya sreda arkhitekturno-stroitel'nogo proektirovaniya]. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2015. No. 6. Pp. 57–61. (rus)

21. GOST R 55507-2013 Operation of the river ports. Terms and definitions [Ekspluatatsiya rechnykh portov. Terminy i opredeleniya]. Date of introduction 2014 07-01. Moscow: STANDARTINFORM. 2014. Access mode: URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200107593> (rus)

22. SP 350.1326000.2018 Norms for technological design of seaports [SP 350.1326000.2018 Normy tekhnologicheskogo proektirovaniya morskikh portov]. Moscow: STANDARTINFORM. 2018. 218 p. (rus)

23. Resolution of the government of the Russian Federation of 2.02.2005 No. 50. On the procedure for the use of means and methods of control at border crossings [Postanovlenie pravitel'stva Rossiyskoy Federatsii ot 2.02.2005 № 50 O poryadke primeneniya sredstv i metodov kontrolya na pogranichnykh perekhodakh]. Access mode: URL: <http://ivo.garant.ru/#/document/12138677/paragraph/1371:0> (rus)

24. MDS 32-1.2000. Recommendations for the design of stations [MDS 32-1.2000. Rekomendatsii po proektirovaniu vokzalov]. Moscow, GUP CPP, Urbanology Department of CSRI of town planning of the state construction Committee of Russia. 1998. 60 p. (rus)

25. SP 59.13330.2016 Accessibility of buildings and structures for people with limited mobility. Updated edition of SNiP 35-01-2001 [SP 59.13330.2016 Dostupnos' zdaniy i sooruzheniy dlya malomobilnykh grupp naseleniya. Aktualizirovannaya redaktsiya SNiP 35-01-2001]. Moscow: Ministry of Construction of Russia. 2017. URL: <http://docs.cntd.ru/document/456033921> (rus)

Information about the authors

Chernysh, Nadezhda D. Assistant professor. E-mail: chernysh-nadejda@ya.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

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

Received in November 2019

Для цитирования:

Черныш Н.Д., Василенко Н.А. Особенности функционально-технологических решений архитектурных объектов на примере морских пассажирских терминалов // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2020. № 1. С. 40–50. DOI: 10.34031/2071-7318-2020-5-1-40-50

For citation:

Chernysh N.D., Vasilenko N.A. Features of functional and technological solutions of architectural objects on the example of sea passenger terminals. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2020. No. 1. Pp. 40–50. DOI: 10.34031/2071-7318-2020-5-1-40-50

DOI: 10.34031/2071-7318-2020-5-1-51-61

Корякова К.С., Курякова Н.Б.Пермский национальный исследовательский политехнический университет***Email: kseniyakoryakova95@gmail.com*

ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА МЕСТА ДЛЯ СТРОИТЕЛЬСТВА ЭТНОПАРК-ОТЕЛЕЙ НА ОСНОВЕ ГРАДОСТРОИТЕЛЬНОГО АНАЛИЗА ТЕРРИТОРИИ

Аннотация. Работа затрагивает проблему развития туризма в регионах РФ на примере Пермского края. Говоря о размещении туристов, на сегодняшний день очень мало привлекательных гостиниц и отелей. Предложенная ранее авторами концепция строительства комплекса услуг, включающего в себя места для размещения и различного рода развлечения может решить данную проблему. В данной статье предложена методика выбора территории для возможного расположения объектов туристской инфраструктуры. Применительно к Пермскому краю рассмотрены несколько мест для строительства на территории города Кунгур и выбрано наиболее подходящее в плане доступности и удобства. В границах предлагаемой территории выполнен градостроительный анализ с точки зрения транспортной и пешеходной доступности, а также с точки зрения организации функциональных зон участка, были проанализированы нормативные документы Муниципального образования «Город Кунгур». В ходе анализа было выбрано наиболее комфортное место для расположения комплекса, характеризующееся малым временем проезда как от автостанции (ж/д станции), так и от «якорного» места-Кунгурской ледяной пещеры. Также была представлена организация участка, включающая в себя здание отеля и зоны для отдыха и развлечений.

Ключевые слова: этнопарк-отель, комплекс услуг, анализ приоритетного места расположения, функциональное зонирование территории.

Человек в современном мире обладает большой мобильностью, он постоянно передвигается между городами, странами и континентами на отдых или в командировку. Несомненно, в другом городе турист хочет чувствовать себя так же, как дома. Этому как раз могут способствовать комфортабельные гостиницы или отели. Современный турист ориентирован на индустрию впечатлений, его больше не интересует пассивный отдых, на смену этому пришло желание за короткий промежуток времени увидеть и узнать, как можно больше интересного и необычного [1].

В ранее опубликованной работе авторов [14] было проведено исследование и анализ существующих на территории РФ и на территории Западной Европы этнопарков. В ходе исследования были сделаны выводы, что на сегодняшний день в Европе такие объекты чаще всего представляют собой этнодеревни, музеи под открытым небом, которые рассказывают быт и культуру определенного народа. К таким, например, можно отнести деревню «Косместон» в Великобритании или «Скансен» в Швеции, а также множество других. На территории данных объектов не всегда присутствует индустрия развлечений, а наличие комфортабельной гостиницы – большая редкость. Чаще всего для проживания применяются небольшие этнодома, а в некоторых этнодеревнях совсем не предусмотрено место проживания туристов. Наиболее популярные этнопарки в Европе – это Болгарская деревня Этыр и деревня Санта-Клауса в Финляндии. Немного лучше дело

обстоит с подобными объектами в России. Самым колоритным представителем, по мнению авторов, является этнопарк в Калужской области – Этномир, рассказывающий о культуре разных народов России и имеющий на своей территории большое количество развлечений и комфортные места для проживания. Не менее ярким представителем является казачья станица Атамань, расположенная на территории станицы Тамань в Краснодарском крае и рассказывающая культуру и быт казаков. Проблема заключается в том, что большие этнопарки рассчитаны на большой приток туристов, который характерен как для Тамани (привлечение туристов пляжным отдыхом), так и для Этномира (близкое расположение такого мегаполиса, как Москва), а регионы меньшей площади и обладающие меньшей популярностью, но при этом имеющие не менее интересную историю, оказываются обделенными. Идея авторов заключается в создании комплексного объекта для небольших и обладающих маленькой популярностью регионов с целью привлечения потока туристов и улучшения экономического положения субъекта. Предполагается, что он включит в себя комфортабельный отель, а также места для развлечений, и объединит их общей тематикой – бытом и культурой определенного народа, населяющего данную местность. В данной работе авторы хотели больше внимания уделить именно выбору местоположения проектируемого этнопарк-отеля в продолжение предыдущих исследований [14, 15], не затрагивая его наполнение.

Таким образом, объектом исследования являются этнопарк-отели. Цель данной работы заключается в том, чтобы создать образец, который выступит помощником при анализе и выборе места для строительства объектов туристской инфраструктуры. Авторы в данной работе ставят перед собой такую задачу:

- Выделить основные принципы выбора местоположения для строительства похожих объектов туристской инфраструктуры.

При написании работы авторы пользовались эмпирическими методами, к которым можно отнести изучение разнообразных источников информации, а также анализ полученных сведений; теоретическими методами исследования, а именно – синтезом, и количественным методом исследования – статистическим анализом.

К сожалению, российский рынок гостиничных услуг только начинает активно развиваться, и поэтому очень сложно найти гостиницу, которая действительно обладает всеми современными требованиями для комфортного отдыха или бизнеса. Чаще всего это касается городов, которые сильно отличаются по уровню жизни от столичных. К таким городам можно отнести Пермь.

Отсутствие привлекательности пермских гостиниц и отелей выражается, во-первых, в общем числе гостиничного фонда Перми, который в два раза ниже, чем в соседних городах. Во-вторых, по уровню новизны номерного фонда: в Перми практически половину номерного фонда составляют отели, открытые в 1990-х, тогда как большинство отелей Екатеринбурга и Казани открыты во второй половине 2000-х. Причиной этому может послужить большой приток туристов в эти города из других регионов России на крупные международные мероприятия, для которых необходимо является соответствие мест пребывания туристов современным европейским стандартам [19].

Пермский край сегодня не может похвастаться проведением масштабных федеральных или международных мероприятий на его территории, что несомненно сказывается на притоке туристов, а соответственно, и на состоянии гостиничного фонда. Этнопарк-отель позволит продвинуть Пермь и край вперед в развитии гостиничного бизнеса. В целом это позволит увеличить среднюю продолжительность пребывания туристов в Перми. Следствием чего можно считать увеличение доходов бюджету, а в некоторых случаях это также поспособствует повышению доходов субъектов туристского и гостиничного бизнеса.

Проблема выбора местоположения сопровождается любой объект на стадии обоснования его

проектирования. Еще более актуальной данная проблема является для проектирования этнообъектов. Наша страна имеет очень большую территорию, которую населяют самые разные народности. Им всем хочется рассказать о себе, показать свою культуру, но не все народности многочисленны. Таким образом, необходимость объединения нескольких культур разных народов в одном объекте продиктована экономической целесообразностью. При выборе месторасположения ключевую роль в основном играет «близость к корням», то есть желание расположить объект, посвященный культуре определенного народа именно на территории, которую он населяет. Но не стоит забывать, что туристы чаще всего посещают «удобные места». Под «удобным местом» подразумевается место, где более менее развита туристическая инфраструктура или где имеются другие интересные для туриста объекты, так называемые «якорные места». Кроме того, не менее важным критерием при выборе объекта для посещения туриста является его близость от места, где человек остановился или где хочет провести большую часть времени отдыха.

Таким образом, у авторов сложилась некоторая методика предпроектного анализа для выбора местоположения, которая состоит в следующем:

1) Выбор нескольких мест, которые кажутся наиболее подходящими для строительства;

2) Анализ выбранных мест в плане доступности для строительства нужного объекта (анализ Правил землепользования и застройки, Генерального плана, Кадастровой карты);

3) Выборка согласно критериям:

- Расположение проектируемого объекта в радиусе около 250 км от города-центра субъекта, где чаще всего располагаются аэропорт или основной транспортно-пересадочный узел;

-Наличие местной транспортной развязки (автовокзал или ж/д вокзал) в пешей доступности или в доступности для общественного транспорта;

-Наличие «якорного» места или мест в пешей доступности или в доступности для общественного транспорта;

-Наличие социальной инфраструктуры (кафе, магазины, аптека) в пешей доступности;

-Желательно наличие проведенных коммуникаций и инженерных сетей;

-Привлекательность в плане ландшафта, архитектуры и т.д;

3) Проведение SWOT-анализа по оставшимся выбранным территориям;

4) По итогам SWOT-анализа выбор наиболее подходящего места.

Данная методика применялась в ходе предыдущих исследований, когда основное месторасположение этнопарк-отеля было определено в г.Кунгур [15], а также в ходе последующих исследований, описанных в данной работе, которые должны были уточнить, где именно на территории города будет запроектирован объект. Таким образом, изучив пример Пермского края, любой субъект сможет применить данную методику выбора местоположения для проектирования объектов туристской инфраструктуры. Применительно для выбранной в г.Кунгур территории предварительно было выявлено несколько мест для размещения парка (карта расположения выбранных мест изображена на рис. 1):

- Место №1 расположено по адресу: Пермский край, г. Кунгур, ул. Березовский тракт, 3 км;
- Место №2 расположено по адресу: Пермский край, г. Кунгур, Сосновый бор у озера Поваренного (квартал №35);
- Место №3 расположено по адресу: Пермский край, г. Кунгур, парк поселений "Кунгурский бор";
- Место №4 расположено по адресу: Пермский край, г. Кунгур, мкр. Дальний (лесной квартал №54);
- Место №5 расположено по адресу: Пермский край, г. Кунгур, с. Невolino.

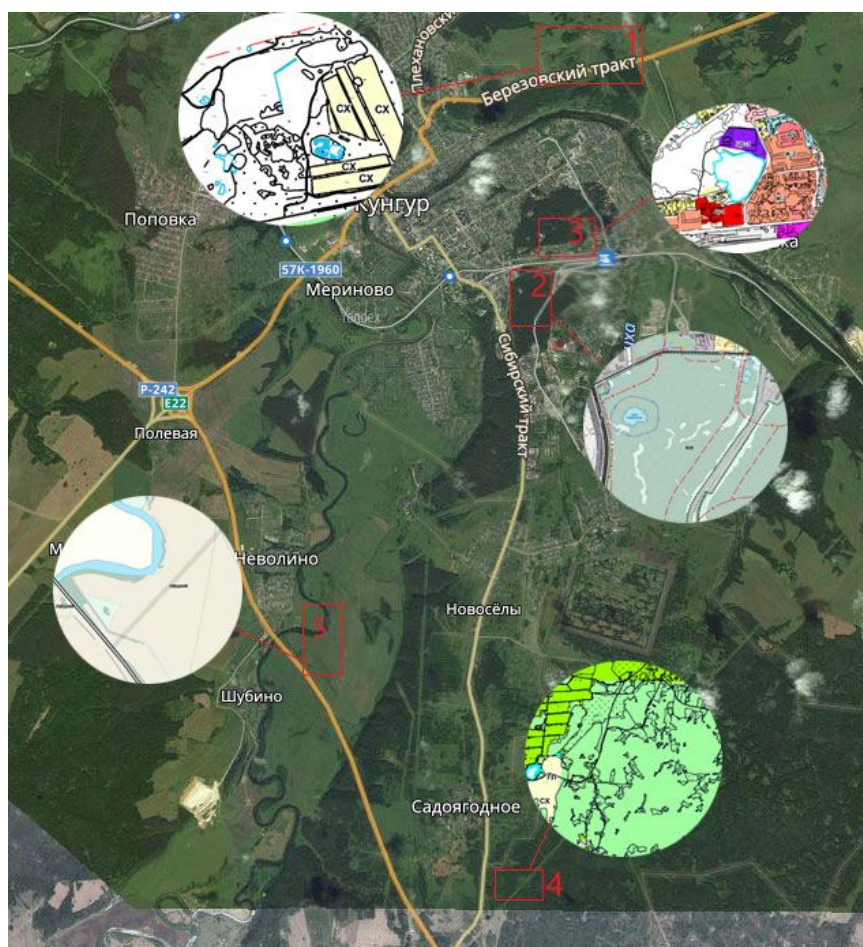


Рис. 1. Карта размещения предварительно выбранных мест

(Место №1 – ул. Березовский тракт, 3 км; №2 – Сосновый бор у озера Поваренного (квартал №35); №3 – парк поселений «Кунгурский бор»; №4 – мкр. Дальний (лесной квартал №54); №5 – вблизи с. Невolino)

Для дальнейшего детального анализа территории города были использованы генеральный план МО «Город Кунгур» [7], публичная кадастровая карта [6] и Правила землепользования и застройки МО «Город Кунгур» [8].

В ходе анализа выяснилось, что первое место не может быть использовано в качестве территории для строительства в виду того, что часть выделена под сельскохозяйственные нужды, а часть для размещения полигона ТБО для отходов

5 класса опасности (рис. 2). Второе место также не может быть использовано в качестве территории для строительства, потому что является лесопарковой зоной. Лесной кодекс запрещает в лесопарковой зоне возводить объекты капитального строительства, кроме гидротехнических сооружений (рис. 2).

Был рассмотрен третий участок – парк поселений "Кунгурский бор". По данным Правил зем-

лепользования и застройки участок не принадлежит ни одной из зон (рис. 3). В публичной кадастровой карте данный участок имеет категорию земель поселений. В генеральном плане города данный участок обозначен как Парк культуры и отдыха, по факту там располагается лесной массив. Касательно четвертого участка - мкр. Дальний (лесной квартал №54) (рис. 3), кадастровая карта определяет его как территорию для рекреации, а по генеральному плану и ПЗЗ этот участок имеет категорию городского леса.

Был рассмотрен также пятый участок – вблизи с.Неволино (рис. 4). Кадастровая карта не имеет данных на эту территорию, в ПЗЗ и Генеральном плане участок имеет категорию «пашни». При выходе на местность было выявлено, что участок действительно используется для сельскохозяйственных нужд, следовательно, также не может быть использован под строительство.



Рис. 2. Фрагмент карты градостроительного зонирования (первый выбранный участок (ул. Березовский тракт, 3 км) – слева, второй выбранный участок (Сосновый бор у озера Поваренного (квартал №35)) – справа)

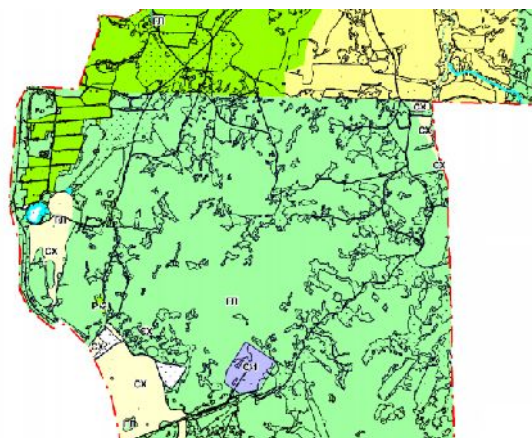
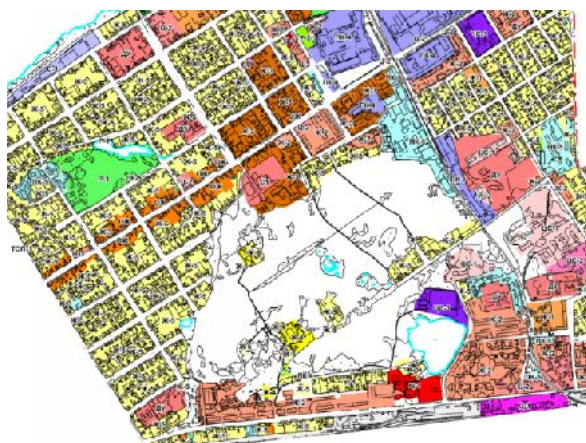


Рис. 3. Фрагмент ПЗЗ третьего выбранного участка



Рис. 4. Фрагмент генплана (пятый выбранный участок – вблизи с.Неволино)

Была составлена сводная таблица анализа всех отобранных участков (таблица 1), в которой было отражено сравнение участков по таким параметрам, как возможность строительства согласно нормативным документам; автомобильная и пешеходная доступность до социальной инфраструктуры, а также до мест туристической

привлекательности; возможность подключения объекта строительства к социальным сетям, была учтена ландшафтная привлекательность места для расположения, а также проанализирована площадь участков.

Таблица 1

Анализ 5 выбранных участков для строительства

№/критерий	Возможность строительства согласно нормативным документам	Доступность	Возможность подключения к инженерным сетям	Привлекательность с точки зрения ландшафта	Площадь, Га
№1 – ул. Березовский тракт, 3 км	Трудноосуществимо (сельскохозяйственные нужды; размещение полигона ТБО)	Располагается в черте города, транспортная и пешеходная доступность к необходимой социальной инфраструктуре обеспечены	Есть возможность	Нет	14,51
№2 – Сосновый бор у озера Поваренного (квартал №35)	Нет (лесопарковая зона)	Располагается в черте города, транспортная и пешеходная доступность к необходимой социальной инфраструктуре обеспечены	Есть возможность	Наличие озера, сосновый бор	59,22
№3 – парк поселений «Кунгурский бор»	Не обозначено	Располагается в черте города, транспортная и пешеходная доступность к необходимой социальной инфраструктуре обеспечены	Есть возможность	Наличие озера, сосновый бор	65,93
№4 – мкр. Дальний (лесной квартал №54)	Трудноосуществимо (является городским лесом)	Располагается за городом, транспортная и пешеходная доступность к необходимой социальной инфраструктуре требуют затрат большого количества времени	Требуется прокладка от ближайшего населенного пункта	Нет	160
№5 – с. Невolino;	Трудноосуществимо (сельскохозяйственные нужды)	Располагается за городом, транспортная и пешеходная доступность к необходимой социальной инфраструктуре требуют затрат большого количества времени	Требуется прокладка от ближайшего населенного пункта	Река Ирень	70,15

Таким образом, из пяти участков для дальнейшего детального анализа были выбраны два – парк поселений "Кунгурский бор" и лесной квартал №54.

Выбранные участки имеют большую площадь (рис. 4). Предполагается, что можно будет использовать не весь обозначенный в кадастровой карте участок, а его часть.

Для начала была проанализирована транспортная доступность каждого участка. Было проведено сравнение времени проезда от выбранного места до автовокзала (ж/д вокзала), а также от выбранного места до «якорного», в данном случае в качестве «якорного» места была рассмотрена Кунгурская ледяная пещера. Данные отражены на рисунке 5 и рисунке 6.

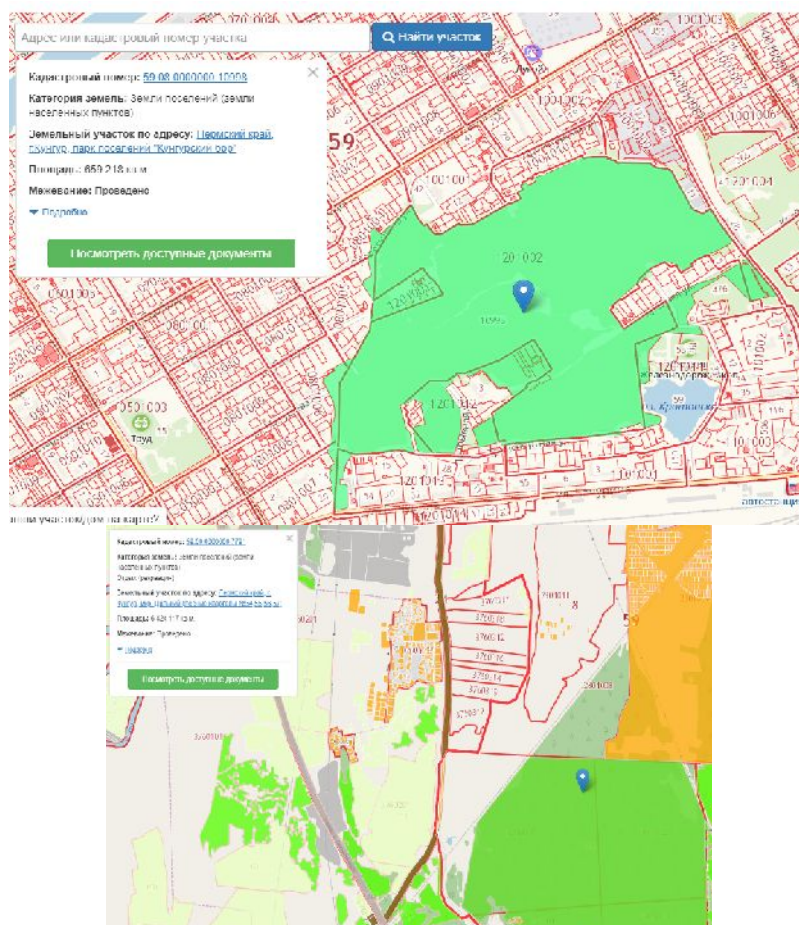


Рис. 4. Фрагмент публичной кадастровой карты с предполагаемой территорией под строительство (сверху – парк поселений «Кунгурский бор»; снизу – лесной квартал №54)

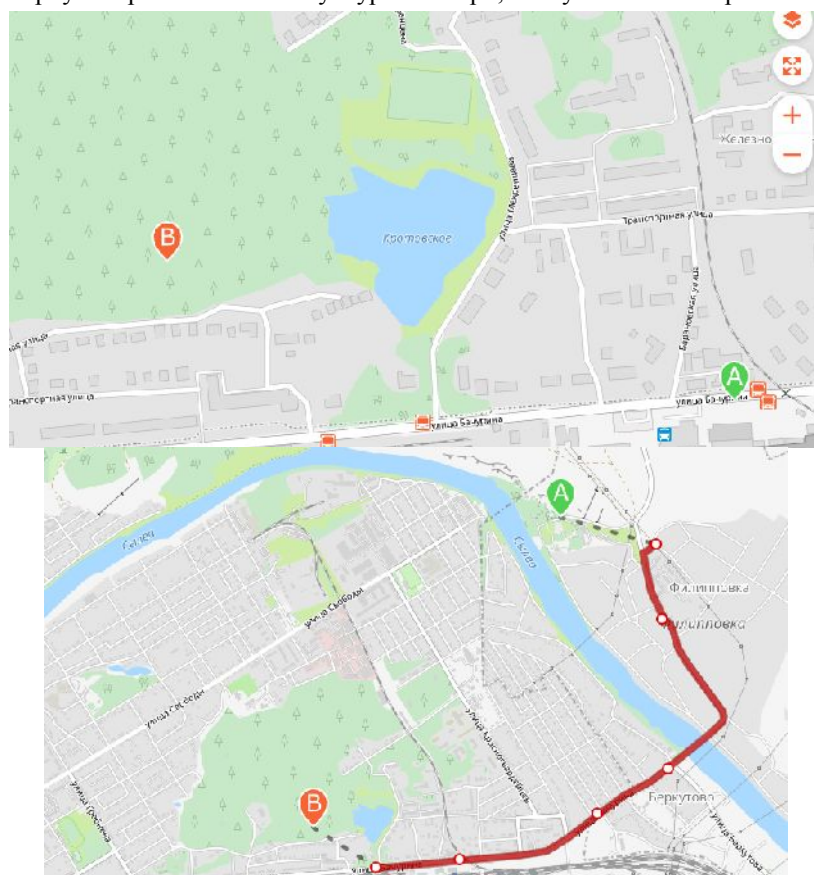


Рис. 5. Маршрут от автовокзала (А) до парка поселений «Кунгурский бор» (В) – сверху; маршрут от Кунгурской пещеры (А) до парка поселений "Кунгурский бор"(В) – снизу

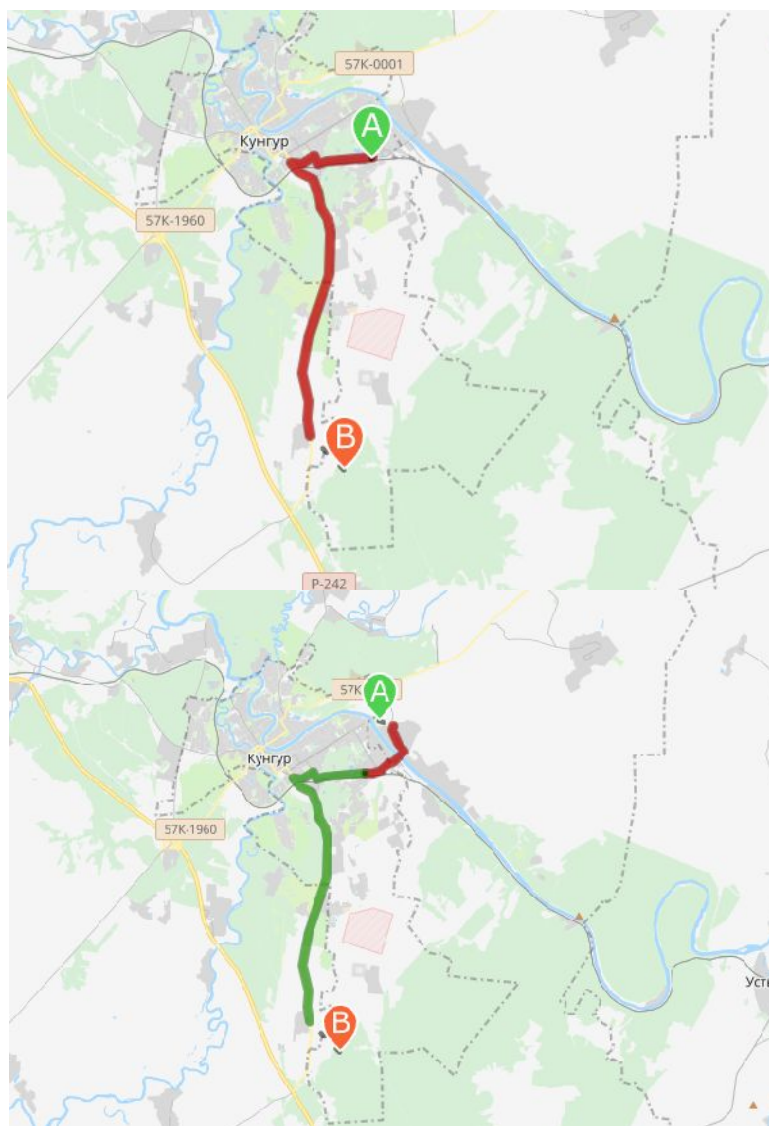


Рис. 6. Маршрут от автовокзала(ж/д вокзала) (А) до лесного квартала №54 (В) – сверху; маршрут от Кунгурской пещеры (А) до лесного квартала №54(В) – снизу

Как видно из рисунков, к станции автовокзала (ж/д вокзала) парк поселений расположен в пешей доступности (около 700м), но также имеются остановки общественного транспорта, до Кунгурской ледяной пещеры в среднем можно доехать за 40 минут.

Изображения на рисунке 6 показывают, что от лесного квартала №54 до станции автовокзала (ж/д вокзала) путь займет 1,5 часа, а до кунгурской пещеры еще больше – около двух часов.

Сравнительная характеристика выбранных участков, их сильные и слабые стороны отражены в таблице 2.

Из проведенного анализа видно, что транспортная доступность у парка поселений «Кунгурский бор» намного выше, чем у квартала №54. Это касается как автомобильной, так и пешеходной доступности до ближайшей социальной инфраструктуры. Также положительным аспектом первого рассмотренного участка является отсутствие необходимости прокладки коммуникаций.

Наличие водоема на участке также склоняет выбор места для размещения именно на этой территории. Следовательно, целесообразней выбрать для строительства комплекса парк поселений «Кунгурский бор».

Этнопарк-отель по своему составу содержит такие элементы: здание отеля; парковки для проживающих и персонала, парковки для гостей и отдельный участок для остановки туристических автобусов; активную зону отдыха, включающую в себя детскую и спортивную площадку, а также аттракционы и велодорожки; зону тихого отдыха, состоящую из пешеходных дорожек, беседок и лавочек вдоль озера; торговую зону, в которую входят домики для торговли сувенирной продукцией.

Таким образом, выбранный участок должен обеспечивать выполнение всех заданных функций. Предварительное зонирование территории приведено на рисунке 7.

Таблица 2

Сравнительная характеристика выбранных участков

	Характеристики	Сильные стороны	Слабые стороны	Возможности	Угрозы
парк поселений "Кунгурский бор"	Кадастровый номер: 59:08:0000000:10998 Категория земель: Земли поселений (земли населенных пунктов) Земельный участок по адресу: Пермский край, г.Кунгур, парк поселений "Кунгурский бор" Площадь: 65,9 Га	- В городской черте; -Близость коммуникаций; -Близко к «якорным местам»; -Специально выделенное место для развития парка развлечений и отдыха; - Близко к станции автовокзала и ж/д вокзала; - Наличие водоема.	- Вдали от федеральной трассы;	-Комфортное и доступное место размещения гостей города; - Привлечение большего количества посетителей; - Для частного сектора это возможность иметь развлечения в шаговой доступности; -Организованные места для проведения культурных мероприятий	- Вырубка леса для строительства комплекса; - Проведение шумных мероприятий может принести дискомфорт жителям располагающихся рядом домов
лесной квартал №54	Кадастровый номер: 59:00:0000000:7791 Категория земель: Земли поселений (земли населенных пунктов) Отдых (рекреация) Земельный участок по адресу: Пермский край, г. Кунгур, мкр. Дальний (лесной квартал №54) Площадь: 160 Га	- Вдали от городской суеты - Приятная лесная местность; - Комфортные места отеля с видом на природу; - Расположение недалеко от оживленной федеральной трассы Пермь-Екатеринбург	-В часе езды от города - Далеко от «якорных» мест и мест прибытия туристов без машин; -Необходима прокладка сетей	-Привлечение проезжающих автомобилистов; -Создание комплекса услуг для комфортного отдыха населения вдали от города; -Организованные места для проведения культурных мероприятий	- Обеднение флоры в результате массового потребления; -Загрязнение бытовым отходами; -Проведение шумных мероприятий может принести дискомфорт жителям располагающихся рядом домов

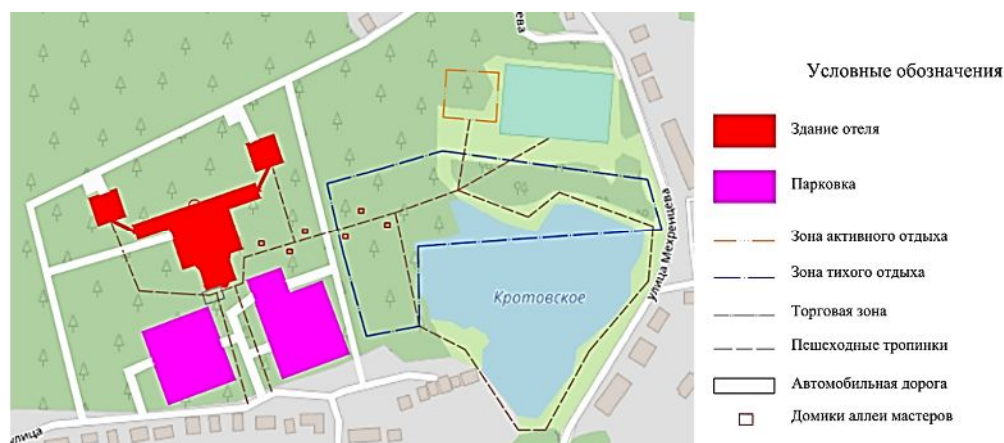


Рис. 7. Зонирование выбранного участка для строительства этнопарк-отеля

В заключение хочется отметить, что авторами в ходе исследования была сформирована определенная методика, которая может в дальнейшем применяться для выбора места размещения объектов туристкой инфраструктуры. Применение данной методики было опробовано на выборе места для строительства этнопарк-отеля в Пермском крае. Кроме того, авторами предлагается использование нового подхода и нового взгляда на формирование отеля в Пермском крае, отвечающего многим современным требованиям и желаниям как гостей, так и жителей города. Новизна авторского подхода заключается в том, что при проектировании объектов туристкой инфраструктуры необходимо учитывать желание и стремление туристов в первую очередь окультурироваться, а уже после этого отдохнуть. При этом не стоит забывать, что культурная программа должна сопровождаться комфортом размещения, информативностью и укладываться в короткий промежуток времени. Однако, эти желания увязаны с реальными возможностями возведения и востребованности, а также с экономическими вложениями и окупаемостью парк-отеля.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Скабеева Л.И. Тематические парки в туристском проектировании: тенденции и перспективы развития // Коммуникации и инновации (опыт, современные тренды, управление). М.: Материалы межвузовской научно-практической коммуникации, 2012. С.85–90.
2. Казакова С.А. Архитектурная среда: вопросы туристкой аттрактивности [Электронный ресурс] // Сервис в России и за рубежом. 2014. №6(53). URL: <https://readera.ru/service-rusjournal/2014-6-53> (Дата обращения: 24.02.2019).
3. Долгий, дорогой и низкодоходный. Эксперт рассказал о гостиничном рынке в Перми [Электронный ресурс] // Business Class: еженед. изд. 2018. 26 янв. URL: <https://www.businessclass.ru/uploads/magazine/85f5ae985c50d72ee9b3d6424f92210d.pdf>. (Дата обращения 24.02.2019).
4. Постановление Администрации Пермского муниципального района N 1369 от 28.10.2015 «Об утверждении муниципальной программы «Экономическое развитие Пермского муниципального района на 2016-2020 годы». Доступ из справ.-правовой системы «Консультант Плюс».
5. Поморцева М.В. Развитие событийного туризма в Пермском крае на примере Осинского района // Выпускная квалификационная работа по специальности 100103.65 «Социально-культурный сервис и туризм». ПГГПУ, 2016.
6. Публичная кадастровая карта Пермского края [Электронный ресурс]. URL: <https://egrp365.ru/map/> (дата обращения 15.03.2019).
7. Генеральный план МО «Город Кунгур»: утв. Решением Кунгурской городской Думы 28 апреля 2011г. №569 [Электронный ресурс].- URL: http://kunguradm.ru/Organyvlasti/Gradostroitelstvo/generalnyj_plan_mo_gorod_kungur/ (дата обращения 15.03.2019).
8. Правила землепользования и застройки МО «Город Кунгур»: утв. Решением Кунгурской городской Думы 30 сентября 2010 №485 [Электронный ресурс]. URL: http://kunguradm.ru/Organyvlasti/Gradostroitelstvo/pravila_zemlepolzovanija_i_zastrojki_mo_gorod_kungur/ (дата обращения 15.03.2019).
9. Постановление Правительства Пермского края N 80-п от 14.02.2014 «Об утверждении государственной программы «Развитие туризма в Пермском крае» [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.permkrai.ru/upload/medialibrary/9db/21> (дата обращения 24.03.2019).
10. Gigi T., Kikvidze Z. Ethno-ecological contexts of the Skhalta Gorge and the Upper Svaneti (Georgia, the Caucasus) // Journal of Political Ecology. 2016. Vol. 23. Pp. 246–262.
11. Fatemeh Ghiasi, Kambiz Ghazizadeh Maragheh, Jafar Khezri, Peyman Jasemi Nia, Mahshad Hossein Panahi. Eco hotel Design principles and its role in sustainable development of tourism // International Journal of Advanced and Applied Sciences. 2016. 3(1). Pp. 53–62.
12. Radogna D., Viskovic A. Environmental design, building reclamation and slow tourism for a sustainable development // International journal of Architecture Technology and Sustainability. 2018. Vol. 3. No. 2. Pp. 55–64.
13. Система нормативных документов в строительстве. Московские городские строительные нормы МГСН 4.16-98 «Гостиницы»: [электронный ресурс]: приняты и введены в действие постановлением правительства г. Москвы от 4 августа 1998 г. № 600. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data1/5/5713/> (дата обращения 24.03.2019).
14. Корякова К.С., Курякова Н.Б. Этнокомплекс «Ёма-Ёмушка» актуальность // Ростовский научный журнал. 2018. №12. С. 309–319.
15. Корякова К.С., Курякова Н.Б. Обоснование выбора месторасположения этнокомплекса на территории пермского края // Ростовский научный журнал. 2019. №1. С. 267–273.
16. Boban Melović, Dragana Ćirović. Sustainable development through the prism of ethno-tourism

– example of Montenegro [Электронный ресурс] // MATEC Web of Conferences. 2018. Vol. 193.

Article Number 05078. URL: <https://www.matec-conferences.org/> (дата обращения 24.03.2019).

Информация об авторах

Курыкова Наталия Борисовна, кандидат техн. наук, доцент кафедры архитектуры и урбанистики. E-mail: tashatasha11@bk.ru. Пермский национальный исследовательский политехнический университет Россия, 614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29.

Корякова Ксения Сергеевна, студентка 2-го курса магистратуры, строительный факультет. E-mail: kseniyakoryakova95@gmail.com. Пермский национальный исследовательский политехнический университет. Россия, 614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29.

Поступила в ноябре 2019 г.

© Корякова К.С., Курыкова Н.Б., 2020

***Koryakova K.S., Kuryakova N.B.**

Perm National Research Polytechnic University

**Email: kseniyakoryakova95@gmail.com*

PLACE SELECTION JUSTIFICATION FOR THE CONSTRUCTION OF ETHNOPARK-HOTEL ON THE BASIS OF URBAN PLANNING ANALYSIS OF THE TERRITORY

Abstract. *The research considers the issue of tourism development in the Perm region. Today, there are few attractive hotels in Perm. Earlier proposed concept of building a complex of services, which includes places for accommodation and various kinds of entertainment, can solve this issue. Previous studies have determined the location of the ethnopark hotel in the territory of Kungur district. This article describes several places for construction in Kungur and selects the most suitable in terms of accessibility and convenience. Within the boundaries of the proposed territory, a city-planning analysis is carried out from the point of view of transport and pedestrian accessibility, as well as of the organization of the functional zones of the site, the regulatory documents of the Municipality of Kungur are analyzed. During the analysis, the most comfortable place for the location of the complex is chosen. It is characterized by a short travel time from both the bus station (railway station) and the Kungur ice cave. The organization of the territory is also presented, including the building of the hotel and areas for recreation and entertainment.*

Keywords: *ethnopark-hotel, range of services, priority location analysis, functional territory zoning.*

REFERENCES

1. Skabeeva L.I. Thematic parks in tourist design: trends and development prospects. Communications and innovations (experience, current trends, management). [Tematicheskiye parki v turistskom proyektirovanii: tendentsii i perspektivy razvitiya]. M.: Materials of inter-university scientific and practical communication. 2012. Pp. 85–90. (rus)

2. Kazakova S.A. Architectural environment: issues of tourist attraction. Service in Russia and abroad. [Arkhitekturnaya sreda: voprosy turistkoy attraktivnosti]. 2014. No. 6 (53). available at: <https://readera.ru/service-rusjournal/2014-6-53> (Date of access: 02.24.2019). (rus)

3. Long, expensive and low-yield. The expert spoke about the hotel market in Perm. [Dolgiy, dorogoy i nizkodokhodnyy. Ekspert rasskazal o gostinichnom rynke v Permi]. Business Class: weekly. 2018. 26 Jan. available at: <https://www.businessclass.su/uploads/magazine/85f5ae985c50d72ee9b3d6424f92210d.pdf>. (Date of access: 02.24.2019). (rus)

4. Resolution of the Administration of the Perm municipal district N 1369 dated 10.28.2015 “On approval of the municipal program“. [Postanovleniye Administratsii Permskogo munitsipal'nogo rayona ot 28.10.2015 N 1369 «Ob utverzhdenii munitsipal'noy programmy «Ekonomicheskoye razvitiye Permskogo munitsipal'nogo rayona na 2016-2020 gody»]. Economic development of the Perm municipal district for 2016-2020 “. Access from sprav.-legal system "Consultant Plus". (rus)

5. Pomortseva M.V. The development of event tourism in the Perm Territory by the example of the Osinsky district. [Razvitiye sobytiynogo turizma v Permskom kraye na primere Osinskogo rayona]. Graduation qualification work in the specialty 100103.65 "Socio-cultural service and tourism". PSGPU. 2016. (rus)

6. Public cadastral map of Perm Territory. [Publichnaya kadastravaya karta Permskogo kraya]. available at: <https://egrp365.ru/map/> (accessed March 15, 2019). (rus)

7. The general plan of the municipal organization «City of Kungur»: approved. By the decision of the Kungur City Council on April 28, 2011 no. 569. [General'nyy plan MO «Gorod Kungur»: utv. Resheniyem Kungurskoy gorodskoy Dumy 28 aprelya 2011g. No. 569]. available at: http://kunguradm.ru/Organyvlasti/Gradostroitelstvo/generalnyj_plan_mo_gorod_kungur/ (accessed March 15, 2019). (rus)

8. The rules of land use and development of The «City of Kungur»: approved. By the decision of the Kungur City Council on September 30, 2010 no. 485. [Pravila zemlepol'zovaniya i zastroyki MO «Gorod Kungur»: utv. Resheniyem Kungurskoy gorodskoy Dumy 30 sentyabrya 2010 №485]. available at: http://kungur-adm.ru/Organyvlasti/Gradostroitelstvo/pravila_zemlepolzovaniya_i_zastroyki_mo_gorod_kungur/ (date of treatment 03.15.2019). (rus)

9. Decree of the Government of the Perm Territory N 80-p dated 02/14/2014 "On approval of the state program «Development of tourism in the Perm Territory». [Postanovleniye Pravitel'stva Permskogo kraya N 80-p ot 14.02.2014 «Ob utverzhdenii gosudarstvennoy programmy «Razvitiye turizma v Permskom krae»]. available at: <https://www.permkrai.ru/upload/medialibrary/9db/21> (accessed March 24, 2019). (rus)

10. Tevzadze G., Kikvidze Z. Ethno-ecological contexts of the Skhulta Gorge and the Upper Svaneti (Georgia, the Caucasus). *Journal of Political Ecology*. 2016. Vol. 23. Pp. 246–262.

11. Fatemeh Ghiasi, Kambiz Ghazizadeh Maragheh, Jafar Khezri, Peyman Jasemi Nia, Mahshad Hossein Panahi. Eco hotel Design principles and its

role in sustainable development of tourism. *International Journal of Advanced and Applied Sciences*. 2016. No 3 (1). Pp. 53–62.

12. Donatella Radogna, Alberto Viskovic. Environmental design, building reclamation and slow tourism for a sustainable development. *International journal of Architecture Technology and Sustainability*. 2018. Vol 3. No 2. Pp. 55–64.

13. The system of regulatory documents in construction. Moscow City Building Norms MGSN 4.16-98 "Hotels": adopted and enforced by Moscow Government Decree no. 600 of 4 August 1998. [Sistema normativnykh dokumentov v stroitel'stve. Moskovskiye gorodskiye stroitel'nyye normy MGSN 4.16-98 «Gostinitsy»: prinyaty i vvedeny v deystviye postanovleniyem pravitel'stva g. Moskvy ot 4 avgusta 1998 g. № 600]. available at: <https://files.stroyinf.ru/Data1/5/5713/> (accessed March 24, 2019). (rus)

14. Koryakova K.S., Kuryakova N.B. Ethno-complex "Yoma-Yomushka"—relevance. [Etnokompleks «Yoma-Yomushka»-aktual'nost']. *Rostov Scientific Journal*. 2018. No. 12. Pp. 309–319. (rus)

15. Koryakova K.S., Kuryakova N.B. The rationale for choosing the location of the ethnocomplex in the Perm region. [Obosnovaniye vybora mestoraspolzheniya etnokompleksa na territorii permskogo kraya]. *Rostov Scientific Journal*. 2019. No. 1. Pp. 267–273. (rus)

16. Boban Melović, Dragana Ćirović. Sustainable development through the prism of ethno-tourism -example of Montenegro. *MATEC Web of Conferences*. 2018. Vol. 193. Article Number 05078. available at: <https://www.matec-conferences.org/> (accessed March 24, 2019).

Information about the authors

Koryakova, Ksenia S. Master student. E-mail: kseniyakoryakova95@gmail.com. Perm National Research Polytechnic University. Russia, 614990, Perm, Komsomolsky prospect, 29.

Kuryakova, Natalia B. PhD, Assistant professor. E-mail: tashatasha11@bk.ru. Perm National Research Polytechnic University. Russia, 614990, Perm, Komsomolsky prospect, 29.

Received in November 2019

Для цитирования:

Корякова К.С., Курякова Н.Б. Обоснование выбора места для строительства этнопарк-отелей на основе градостроительного анализа территории // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2020. № 1. С. 51–61. DOI: 10.34031/2071-7318-2020-5-1-51-61

For citation:

Koryakova K.S., Kuryakova N.B. Place selection justification for the construction of ethnopark-hotel on the basis of urban planning analysis of the territory. *Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov*. 2020. No. 1. Pp. 51–61. DOI: 10.34031/2071-7318-2020-5-1-51-61

ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ

DOI: 10.34031/2071-7318-2020-5-1-62-69

¹Череватова А.В., ^{1,*}Кожухова Н.И., ¹Осадчая М.С., ¹Жерновская И.В., ²Кожухова М.И.¹Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова²Университет Висконсин-Милуоки, штат Висконсин

*E-mail: kozhuhovanata@yandex.ru

ТЕРМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ НАНОСТРУКТУРИРОВАННОГО ВЯЖУЩЕГО НА ОСНОВЕ ГРАНИТА

Аннотация. Среди основных перспективных направлений в материаловедении и строительной отрасли, на которых сосредоточено значительное количество исследований по всему миру, в первую очередь, могут быть выделены материалы, включающие в себя вторичное или мало востребованное сырье, отходы промышленности, а также композиты, синтезируемые с использованием низкотемпературных и экологически чистых технологий. В рамках данного научного исследования было рассмотрено влияние высокотемпературного воздействия на структурно-фазовые трансформации матрицы гранитного наноструктурированного вяжущего (НВ). В качестве аналитического инструментария, подтверждающего это предположение, были использованы рентгенофазовый (РФА) анализ и дериватографический (ДТА) анализ, а также расчетная оценка объема ячеек кристаллических решеток минеральных фаз. Установлено, что термическое воздействие в диапазоне температур от 20 до 900 °С приводит к минеральным трансформациям (α - β переход кварца), но при этом объемы ячеек кристаллических решеток практически не изменяются.

Термическая обработка гранитного НВ при 1000 °С способствует кристаллизации в системе новой фазы – лейцита $K[AlSi_2O_6]$, который является структурным аналогом минерала цеолитовой группы – анальцита $Na[AlSi_2O_6] \cdot H_2O$. Данное явление подтверждает структурное родство гранитного НВ и геополимера.

Ключевые слова: бесклинкерные вяжущие системы, низкотемпературный синтез, гранитное НВ, геополимер, структурное родство.

Введение. Интерес, проявляемый к технологическим процессам, в основе которых лежит получение бесцементных/бесклинкерных силикатных и алюмосиликатных вяжущих систем с применением низкотемпературного способа синтеза имеет место среди ведущих ученых и научно-исследовательских школ в глобальном масштабе. В виду этого данное материаловедческое направление рассматривается как перспективное и, в силу слабой изученности, как поисковое в строительной отрасли [1–6]. Согласно ранее сформулированному определению [7], низкотемпературный синтез неорганических вяжущих веществ включает в себя технологические переделы, которые не предусматривают стадии направленной высокотемпературной трансформации сырьевых компонентов в отдельности или всех в комплексе.

Предполагается, что вяжущие низкотемпературного синтеза должны обладать структурообразующими механизмами, отличными от гидратационных. В наибольшей степени этому соответствуют силикатные и алюмосиликатные вяжущие поликондесационно-полимеризационного типа твердения с существенной функциональной и структурообразующей ролью наноразмерной компоненты – наноструктурированные вяжущие и геополимеры [7, 8]. Оба типа относятся к бесклинкерным вяжущим системам, но

отличаются основными стадиями технологического процесса. Технология синтеза геополимеров подразумевает затворение алюмосиликатного компонента (преимущественно состоящего из аморфной фазы) щелочным активатором с последующей выдержкой до образования щелочеолюмосиликатного геля и термической сушкой твердеющего сырца [9–11].

Технология получения наноструктурированных вяжущих (НВ) основана на реализации низкотемпературного механохимического процесса в воде (мокрый помол), без вредных побочных продуктов. Это дает право говорить о реализации «зеленой» технологии.

Особенности синтеза НВ, которое характеризуется негидратационным механизмом твердения, дают возможность к использованию широкого спектра сырьевых материалов преимущественно силикатного и алюмосиликатного состава, которые являются довольно доступными. Это преимущество позволяет адаптировать технологию синтеза вяжущего к различным регионам, в зависимости от локализации месторождений.

В ранее проведенных исследованиях [12–14] установлена принципиальная возможность получения НВ на основе кремнеземсодержащих и алюмосиликатных пород различного генезиса

(кварцевые пески, кварцитопесчаники, кварциты, перлит, цеолитизированные туфы).

Задачами настоящей работы являются: доказательство геополимеризационного типа твердения гранитного НВ и обоснование его термостойчивости.

Материалы и методы.

Материалы. В качестве исходного сырья для получения вяжущего использовался гранитный отсев Полтавского месторождения (Гереевский карьер, Украина).

Химический состав гранитного отсева приведен в таблице 1.

Таблица 1

Химический состав гранитного отсева

SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	K ₂ O	Na ₂ O	п.п.п.	Сумма
69,2	15,7	3,35	3,14	0,89	0,09	2,06	4,29	0,75	99,47

Методы. Определение минерально-фазового состава гранитного НВ проводилось методом РФА (XRD).

Рентгенограммы образцов были получены на дифрактометре STOE STADI (STOE & Cie GmbH, Германия) на излучении медного анода.

Рентгенометрическая диагностика минеральных фаз проведена на основании дифракционной базы банных PDF-2 с применением программы Crystallographica SearchMatch v 2,0,2,0 (Oxford Cryosystems).

Количественное определение концентраций кристаллических минеральных образований (содержание аморфной фазы не определялось) выполнено полнопрофильным РФА с применением

программы DDM v.1.95d в варианте Derivative Difference Minimization алгоритма [15].

Экспериментальная часть

Полученные на основе рентгенофазового анализа данные позволяют свидетельствовать о том, что минеральный состав гранитного НВ представлен породообразующими минералами гранита – α-кварцем, Са-альбитом и биотитом. Кроме этого, в его составе обнаружен корунд (результат намолла мелющих тел). Результат количественного XRD-анализа кристаллических компонентов исходного гранитного НВ представлен на рис. 1.

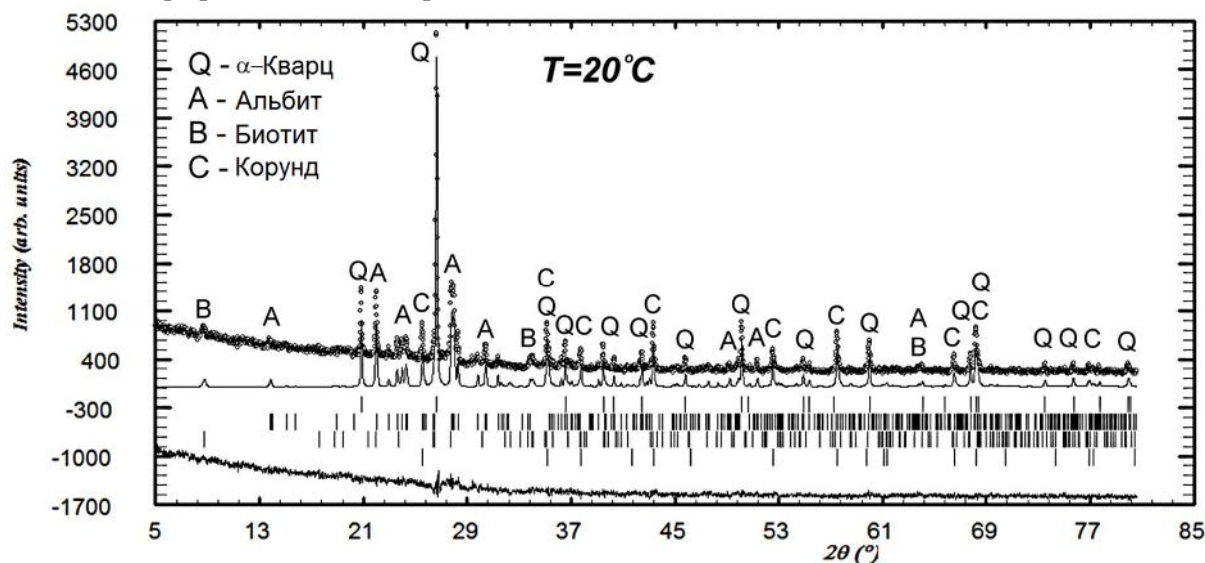


Рис. 1. Количественный минеральный состав гранитного НВ, вес. %

Способ доказательства геополимеризационного типа твердения гранитного НВ основан на предположении о двухфазном составе вяжущего – кристаллической компоненты и аморфной. Аморфная компонента (алюмосиликатный щелочесодержащий гель) является результатом механохимических процессов растворения породообразующих минералов гранита – кварца и полевых шпатов. Принято считать, что алюмосиликатный щелочесодержащий гель

имеет цеолитоподобную структуру, и при кристаллизации геля должны образовываться цеолитоподобные минералы, формирование которых будет является доказательством геополимеризационной природы вяжущего.

Для решения этой задачи выполнено изучение гранитного НВ методом ДТА-анализа на приборе синхронного термического анализа STA 449 F1 Jupiter® фирмы NETZSCH (Германия) в интервале температур от комнатной до 1000 °C (рис. 2).

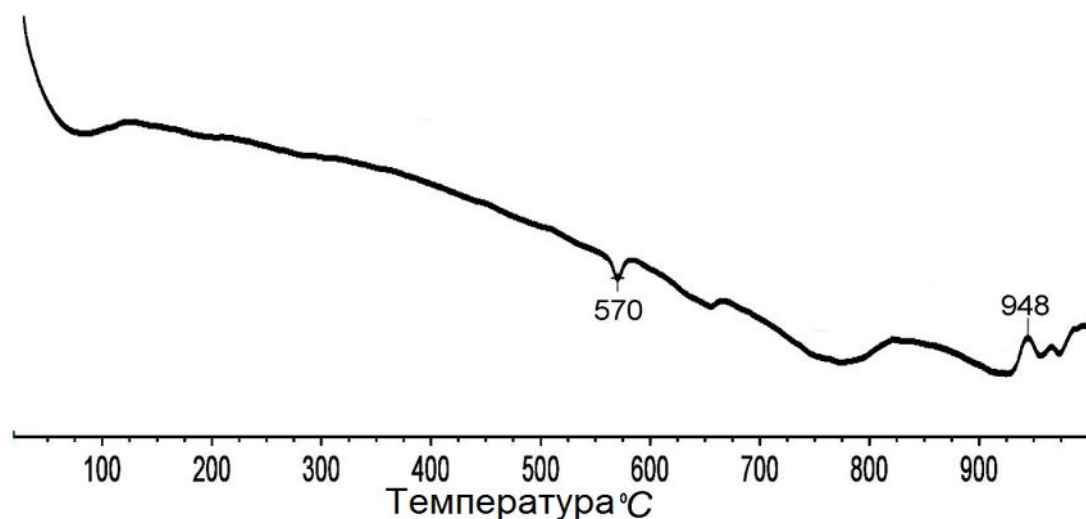


Рис. 2. Кривая ДТА гранитного вяжущего

На кривой ДТА-анализа зафиксирован пик эндоэффекта при 570 °C, что соответствует фазовому α - β переходу кварца, и пик экзоэффекта при 948 °C.

Для определения принадлежности пика экзоэффекта при 948 °C новообразованной кристаллической компоненте и детализации представлений о термической устойчивости наноструктурированного вяжущего на основе гранита проведена высокотемпературная дифрактометрия образцов вяжущего при температурах 600, 900 и 1000 °C с часовой стабилизационной выдержкой на каждой ступени нагрева. Высокотемпературная дифрактометрия проводилась с использованием высокотемпературной приставки фирмы Stoe, позволяющей проводить рентгеновские исследования в диапазоне температур от 25 до 1500 °C.

Следует отметить присутствие на высокотемпературных рентгенограммах гранитного НВ паразитных отражений от Pt-Rh термодпары, находящейся в непосредственной близости от препарата. Несмотря на то, что эти отражения не относились к объекту исследования, Pt-Rh фаза была включена в расчет весовых концентраций кристаллических компонентов вяжущего для большей объективности оценки достоверности количественного рентгенофазового анализа.

Результаты расчетов высокотемпературных рентгенограмм приведены на рис. 3.

Минеральный состав кристаллических компонентов вяжущего при высоких температурах – 600 °C и 900 °C не отличается от минерального состава при комнатной температуре (за исключением изменения полиморфной модификации кварца).

При этом, как следовало из результатов ДТА-кривой гранитного НВ, присутствие пика

экзоэффекта при 948 °C (рис. 2), изменение минерального состава было зафиксировано на рентгенограмме, снятой при 1000 °C (рис. 3). Отражения новой фазы были отнесены к минеральному образованию лейцита ($K[AlSi_2O_6]$) – структурному аналогу цеолита анальцима ($Na[AlSi_2O_6] \cdot H_2O$). Данное явление подтверждает структурное родство гранитного НВ и геополимера, где в составе структурообразующих фаз также присутствуют минералы цеолитовой группы.

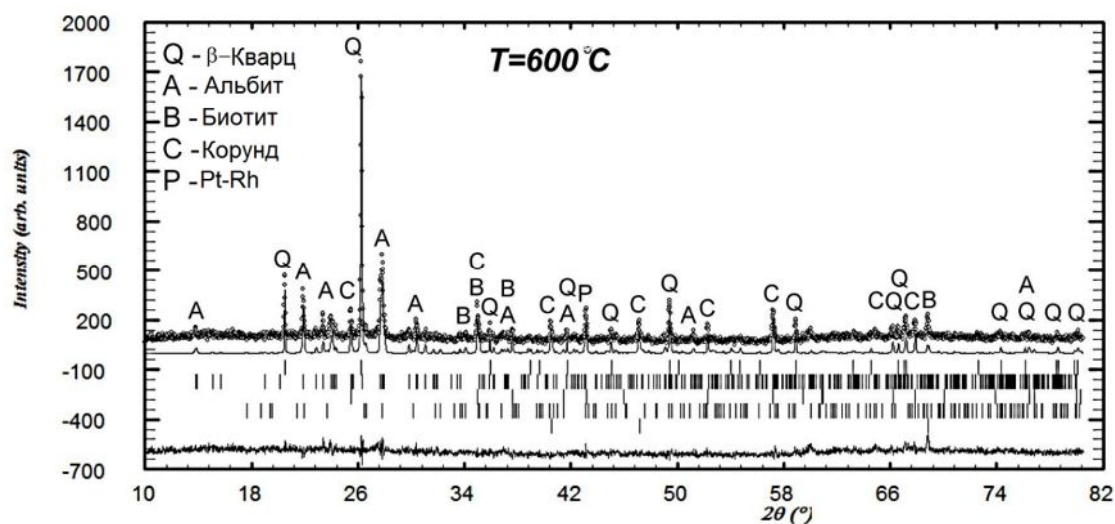
Таким образом, кристаллизация из алюмосиликатного щелочесодержащего геля цеолитоподобного лейцита можно считать доказательством геополимеризационной природы гранитного НВ.

Для обоснования термоустойчивости гранитного НВ целесообразно провести оценку изменения величины удельного объема элементарных ячеек кристаллических компонентов гранитного НВ. Для этого приведен количественный минеральный состав гранитного НВ (исключив из составов влияние Pt-Rh термодпары и выполнив нормировку полученных концентраций к 100 %). Результаты этой операции приведены в таблице 2.

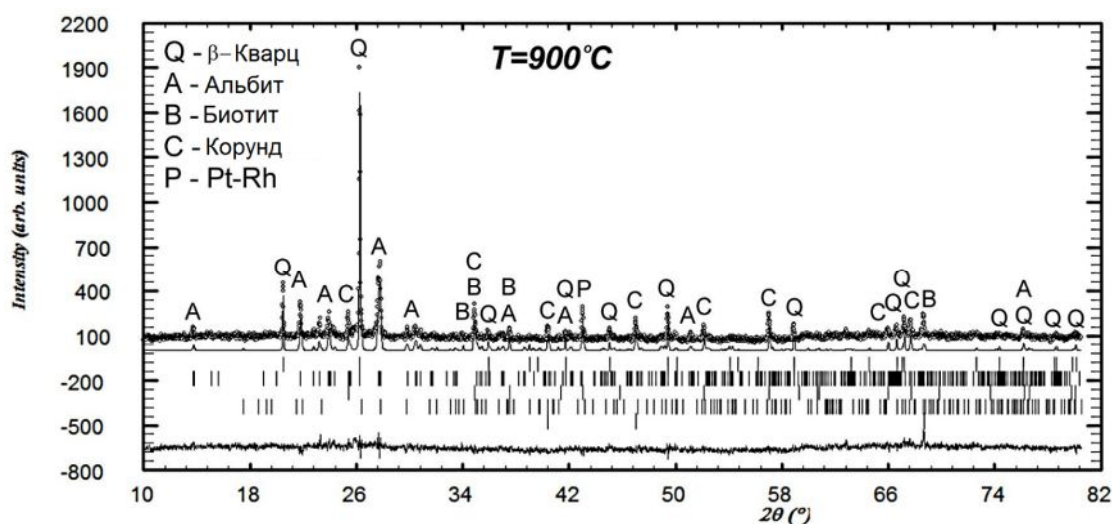
В таблице 3 приведены величины объемов элементарных ячеек минеральных компонентов гранитного НВ, полученные на основании расчетов рентгенограмм, а также величины удельного объема элементарных ячеек (формула 1):

$$V_{\text{удельн.}} = \sum_i C_i \cdot V_i^{\text{Элем.яч.}} \quad (1)$$

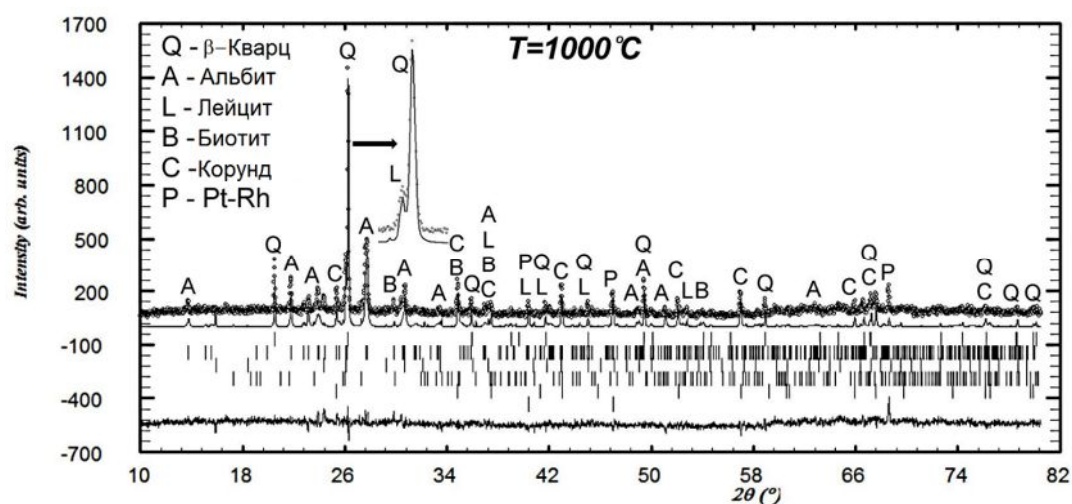
где C_i – массовые концентрации минеральных фаз вяжущего.



а



б



в

Рис. 3. Количественный минеральный состав гранитного НВ при различных температурах, вес. %.:
а) 600, б) 900 и в) 1000 °C

Таблица 2

Минеральный состав гранитного НВ

Минеральные фазы, вес. %					
T °C	Кварц	Альбит	Биотит	Корунд	Лейцит
20	28,98 ± 0,94	46,94 ± 0,91	5,41 ± 0,94	18,67 ± 0,8	–
600	26,86 ± 0,89	48,74 ± 1,11	5,74 ± 0,85	18,65 ± 0,97	–
900	26,04 ± 0,73	49,21 ± 1,27	5,29 ± 0,97	19,46 ± 0,73	–
1000	25,47 ± 0,46	49,17 ± 1,51	2,97 ± 0,77	17,91 ± 0,75	4,39 ± 0,70

Таблица 3

Объемы элементарных ячеек, Å³

T °C	Кварц	Альбит	Биотит	Корунд	Лейцит	V _{удельн.}
20	112,759	665,41	516,2	254,52	–	420,466
600	117,923	674,13	515,6	258,09	–	437,967
900	117,835	680,5	521,8	260,06	–	443,770
1000	117,684	682,4	534,5	260,72	2535,9	539,421

Согласно данным таблицы 3, обращает на себя внимание аномальное изменение $V_{з.я.}$ β-кварца (уменьшение объема элементарной ячейки с увеличением температуры). Следует отметить, что этот феномен типичен для высоко-температурного β-кварца [16].

Как следует из результатов, приведенных в таблице 3, монотонное изменение $V_{удельн.}$ вследствие температурного расширения элементарных

ячеек компонентов гранитного НВ происходит до 900 °C. При 1000 °C эта величина резко возрастает из-за кристаллизации лейцита. В качестве количественного показателя изменения удельного объема элементарных ячеек можно использовать отношение $V_{удельн.}$ при высокой температуре к $V_{удельн.}$ при 20 °C. В результате этих операций получено следующее значение (формула 2):

$$\frac{V_{удельн.}^{600^{\circ}C}}{V_{удельн.}^{20^{\circ}C}} = 1.042; \quad \frac{V_{удельн.}^{900^{\circ}C}}{V_{удельн.}^{20^{\circ}C}} = 1.055 \quad \text{и} \quad \frac{V_{удельн.}^{1000^{\circ}C}}{V_{удельн.}^{20^{\circ}C}} = 1.283 \quad (2)$$

Расчетные величины отношений объемов ячеек кристаллических решеток (формула 2) гранитного НВ согласуются с данными таблицы 3, где соотношение объемов элементарных ячеек вяжущего после температурного воздействия 600 °C и 900 °C к объему ячеек вяжущего без термической обработки (20 °C) ≈ 1 , что позволяет говорить о термоустойчивости данной системы в этом диапазоне температур. В тоже время в случае термической обработки НВ при 1000 °C аналогичный показатель составил ≈ 1.3 , что позволяет выдвинуть предположение о возможных деструктивных процессах системы в связи с резким увеличением общего объема элементарных ячеек кристаллических решеток вяжущей системы НВ.

Вывод. Таким образом, практическое отсутствие (в пределах 5 %) объемного изменения гранитного НВ при 900 °C, позволяет принять эту температуру за величину термоустойчивости гранитного вяжущего.

К этому следует добавить, что экспериментальная оценка термической устойчивости гранитного НВ является темой последующих публикаций.

Источник финансирования. Программа развития опорного университета на базе БГТУ им. В.Г. Шухова с использованием оборудования ЦВТ на базе БГТУ им. В.Г. Шухова

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Muñoz F., Easton T., Dahmen J. Using alkali-activated natural aluminosilicate minerals to produce compressed masonry construction materials // Construction and Building Materials. 2015. Vol. 95. Pp. 86–95
2. Kuznetsova E.F., Sobolev G.M., Sobolev K. Self-consolidating green concrete based on metakaolin and aggregate fines // Materials Research Society Symposium. Proceedings. 2014. Vol. 1611. Pp. 75–80.
3. Voitovich E.V., Kozhukhova N.I., Cherevatova A.V., Zhernovsky I.V., Osadchaya M.S. Features of quality control of free of cement binder of non-hydration type // Applied Mechanics and Materials. 2015. Vol. 724. Pp. 39–43.
4. Shekhovtsova J., Zhernovsky I., Kovtun M., Kozhukhova N., Zhernovskaya I., Kearsley E. Estimation of fly ash reactivity for use in alkali-activated cements - A step towards sustainable building

material and waste utilization // Journal of Cleaner Production. 2018. Vol. 178. Pp. 22–33

5. Fengrui Jiang, Laifei Cheng, Yiguang Wang, Xuanxuan Huang Calcium–magnesium aluminosilicate corrosion of barium–strontium aluminosilicates with different strontium content // Ceramics International. 2017. Vol. 43. Issue 1. Part A. Pp. 212–221

6. Череватова А.В., Жерновский И.В., Строкова В.В. Минеральные наноструктурированные вяжущие. Природа, технология и перспективы применения. KG. Saarbrücken: LAM LAMBERT Academic Publishing GmbH & Co, 2011. 170 с.

7. Davidovitz J. Geopolymer. Chemistry and applications. Saint-Quentin: Institute Geopolymer, 2008. 592 p.

8. Davidovits J. Geopolymer chemistry and properties // Proceedings of the 1st International Conference on Geopolymer. 1988. Vol. 1. Pp. 25–48

9. Davidovits J. Chemistry of geopolymeric systems, terminology // Geopolymers '99. International Conference. Saint-Quentin, France, 1999. Pp. 9–40.

10. Кожухова Н.И., Строкова В.В., Кожухова М.И., Жерновский И.В. Структурообразование в щелочеактивированных алюмосиликатных вяжущих системах с использованием природного сырья различной кристалличности // Строительные материалы и изделия. 2018. Т. 1. №4. С. 38–43.

11. Barbosa V.F.F., MacKenzie K.J.D., Thaumaturgo C. Synthesis and characterisation of materials based on inorganic polymers of alumina and silica: sodium polysialate polymers // International Journal of Inorganic Materials. 2000. Vol. 2. № 4. Pp. 309–317.

12. Strokova V.V., Cherevatova A.V., Pavlenko N.V., Nelubova V.V. Prospects of application of zero-cement binders of a hydration hardening type // World Applied Sciences Journal. 2013. Т. 25. № 1. Pp. 119–123

13. Kozhuhova N.I., Zhernovskiy I.V., Osadchaya M.S., Strokova V.V., Tchizhov R.V. Revisiting a selection of natural and technogenic raw materials for geopolymer binders // International Journal of Applied Engineering Research (IJAER). 2014. Vol. 9. Pp. 16945–16955.

14. Череватова А.В., Кожухова Н.И., Осадчая М.С., Жерновский И.В. Особенности реотехнологических свойств наноструктурированного алюмосиликатного вяжущего в присутствии комплексных модификаторов различной природы // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2016. № 9. С. 36–39

15. Solovyov L.A. Full-profile refinement by derivative difference minimization // Journal of Applied Crystallography. 2004. 37. Pp. 743–749.

16. Kihara K. An X-ray study of the temperature dependence of the quartz structure // European Journal of Mineralogy. 1990. Vol. 2. Pp. 63–77.

Информация об авторах

Череватова Алла Васильевна, доктор технических наук, профессор кафедры Технология стекла и керамики. E-mail: cherry_611@mail.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Кожухова Наталья Ивановна, кандидат технических наук, доцент кафедры материаловедения и технологии материалов. E-mail: kozhuhovanata@yandex.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Осадчая Майя Сергеевна, инженер. E-mail: msc87@mail.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Жерновская Ирина Васильевна, старший преподаватель кафедры высшей математики. E-mail: ziv_1111@mail.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Кожухова Марина Ивановна, кандидат технических наук, научный сотрудник кафедры гражданского строительства и охраны окружающей среды, Школа инжиниринга и прикладных наук, инженер кафедры материаловедения и технологии материалов. E-mail: kozhuhovamarina@yandex.ru. Университет Висконсин-Милуоки, штат Висконсин. Р.О. Вох 413, Милуоки, WI 53201, США. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Поступила в январе 2020 г.

© Череватова А.В., Кожухова Н.И., Осадчая М.С., Жерновская И.В., Кожухова М.И., 2020

¹Cherevatova A.V., ^{1,*}Kozhukhova N.I., ¹Osadchaya M.S., ¹Zhernovskaya I.V.,
²Kozhukhova M.I.

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

²University of Wisconsin-Milwaukee

*E-mail: kozhukhovanata@yandex.ru

THERMAL CHARACTERISTICS OF GRANITE-BASED NANOSTRUCTURED BINDERS

Abstract. Among the main promising research areas in materials science and construction industry, where a significant amount of studies is concentrated in the world, it is, primarily, the materials those contain a secondary or low-demand raw materials, industrial wastes. As well as it can be composites synthesized using low-temperature and environmentally friendly technologies. In this study, the influence of high-temperature effects on the structural phase transformations in matrix of granite-based nanostructured binder (NB) was considered. As an analytical tool, confirming this assumption, X-ray phase (XRD) analysis and derivative (DTA) analysis, as well as a calculated estimate of the volume of the cells of the crystal lattices of the mineral phases were applied. It was established that thermal exposure in the temperature range from 20 to 900 °C leads to mineral transformations (α - β transition of quartz) in granite-based NB, but the cell volumes changing of the crystal lattices was not found.

Thermal exposure of granite-based NB at 1000 °C initiates a new crystal phase formation – Leucite $K[AlSi_3O_8]$, that is structurally identical to zeolite-type mineral such as Analcime $Na[AlSi_3O_8] \cdot H_2O$. This phenomenon confirms a structural affinity of between granite-based NB and geopolymer.

Keywords: free-of-clinker binding systems, low-temperature synthesis, granite-based NB, geopolymer, structural affinity

REFERENCES

- Muñoz F., Easton T., Dahmen J. Using alkali-activated natural aluminosilicate minerals to produce compressed masonry construction materials. Construction and Building Materials. 2015. Vol. 95. Pp. 86–95.
- Kuznetsova E.F., Sobolev G.M., Sobolev K. Self-consolidating green concrete based on metakaolin and aggregate fines. Materials Research Society Symposium. Proceedings. 2014. Vol. 1611. Pp. 75–80.
- Voitovich E.V., Kozhukhova N.I., Cherevatova A.V., Zhernovsky I.V., Osadchaya M.S. Features of quality control of free of cement binder of non-hydration type. Applied Mechanics and Materials. 2015. Vol. 724. Pp. 39–43.
- Shekhovtsova J., Zhernovsky I., Kovtun M., Kozhukhova N., Zhernovskaya I., Kearsley E. Estimation of fly ash reactivity for use in alkali-activated cements - A step towards sustainable building material and waste utilization. Journal of Cleaner Production. 2018. Vol. 178. Pp. 22–33.
- Fengrui Jiang, Laifei Cheng, Yiguang Wang, Xuanxuan Huang Calcium–magnesium aluminosilicate corrosion of barium–strontium aluminosilicates with different strontium content. Ceramics International. 2017. Vol. 43. Issue 1. Part A. Pp. 212–221
- Cherevatova A.V., Zhernovsky I.V., Strokova V.V. Mineral nanostructured binders. Origin, technology and perspectives of application [Mineralnye nanostrukturirovannye vyazhushchie. Priroda, tehnologiya i perspektivy primeneniya]. KG. Saarbrücken: LAM LAMBERT Academic Publishing GmbH & Co, 2011. 170 p. (rus)
- Davidovitz J. Geopolymer. Chemistry and applications. Saint-Quentin: Institute Geopolymer, 2008. 592 p.
- Davidovits J. Geopolymer chemistry and properties. Proceedings of the 1st International Conference on Geopolymer. 1988. Vol. 1. Pp. 25–48.
- Davidovits J. Chemistry of geopolymeric systems, terminology. Geopolymere '99. International Conference, Saint-Quentin, France, 1999. Pp. 9–40.
- Kozhukhova N.I., Strokova V.V., Kozhukhova M.I., Zhernovsky I.V. Structure formation in alkali activated aluminosilicate binding systems using natural raw materials with different crystallinity degree [Strukturoobrazovanie v shelocheaktivirovannykh aluminosilikatnykh vyazhushchikh sistemakh s ispolzovaniem syryia razlichnoy kristallichnosti]. Construction Materials and Products. 2018. Vol. 1. Issue 4. Pp. 38–43. (rus)
- Barbosa V.F.F., MacKenzie K.J.D., Thaumaturgo C. Synthesis and characterisation of materials based on inorganic polymers of alumina and silica: sodium polysilicate polymers. International Journal of Inorganic Materials. 2000. Vol. 2. No 4. Pp. 309–317.
- Strokova V.V., Cherevatova A.V., Pavlenko N.V., Nelubova V.V. Prospects of application of zero-cement binders of a hydration hardening type. World Applied Sciences Journal. 2013. Vol. 25. No 1. Pp. 119–123

13. Kozhuhova N.I., Zhernovskiy I.V., Osadchaya M.S., Strokova V.V., Tchizhov R.V. Revisiting a selection of natural and technogenic raw materials for geopolymer binders. *International Journal of Applied Engineering Research (IJAER)*. 2014. Vol. 9. Pp. 16945–16955.

14. Cherevatova A.V., Kozhukhova N.I., Osadchaya M.S., Zhernovsky I.V. Features of rheological properties of nanostructured aluminosilicate binder containing complex modifiers of different origin [Osobennosti reotekhnologicheskikh svoistv

nanostrukturirovannogo aluminosilikatnogo vyazhushchego v prisutstvii kompleksnykh modifikatorov razlichnoy prirody]. *Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov*. 2016. No 9. Pp. 36–39. (rus)

15. Solovyov L.A. Full-profile refinement by derivative difference minimization. *Journal of Applied Crystallography*. 2004. Vol. 37. Pp. 743–749.

16. Kihara K. An X-ray study of the temperature dependence of the quartz structure. *European Journal of Mineralogy*. 1990. Vol. 2. Pp. 63–77.

Information about the authors

Cherevatova, Alla V. DSc, Professor. E-mail: cherry_611@mail.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, Kostukov St., 46

Kozhukhova, Natalia I. PhD, Assistant professor. E-mail: kozhuhovanata@yandex.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, Kostukov St., 46.

Osadchaya, Maya S. Engineer. E-mail: myc87@mail.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, Kostukov St., 46.

Zhernovskaya, Irina V. Senior lecturer. E-mail: ziv_1111@mail.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, Kostukov St., 46.

Kozhukhova, Marina I. PhD, Post-Doctoral Associate. E-mail: kozhuhovamarina@yandex.ru. University of Wisconsin-Milwaukee. 3200 N Cramer Street, Milwaukee, WI 53211, USA. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, Kostukov St., 46.

Received in January 2020

Для цитирования:

Череватова А.В., Кожухова Н.И., Осадчая М.С., Жерновская И.В., Кожухова М.И. Термические особенности наноструктурированного вяжущего на основе гранита // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2020. № 1. С. 62–69. DOI: 10.34031/2071-7318-2020-5-1-62-69

For citation:

Cherevatova A.V., Kozhukhova N.I., Osadchaya M.S., Zhernovskaya I.V., Kozhukhova M.I. Thermal characteristics of granite-based nanostructured binders. *Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov*. 2020. No. 1. Pp. 62–69. DOI: 10.34031/2071-7318-2020-5-1-62-69

DOI: 10.34031/2071-7318-2020-5-1-70-77

^{1,*}Котлярова И.А., ²Степина И.В.¹Брянский государственный технический университет²Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет

*E-mail: iakotlyarova@list.ru

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КИНЕТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ТЕРМОДЕСТРУКЦИИ И ГРУППЫ ОГНЕЗАЩИТНОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ДРЕВЕСИНЫ СОСНЫ, МОДИФИЦИРОВАННОЙ БОРАЗОТНЫМ АНТИПИРЕНОМ

Аннотация. Древесина относится к горючим материалам. Для снижения горючести древесину модифицируют функциональными соединениями фосфора, бора и азота, прививка которых изменяет химический состав поверхностного слоя древесины и его структуру. Механизм действия антипиренов связан с их влиянием на энергетические и энтропийные характеристики процесса термодеструкции. Учитывая, что боразотные соединения являются эффективными антипиренами и реагируют с компонентами древесины в «мягких» условиях, исследовали влияние прививки боразотного модификатора на кинетические параметры термодеструкции древесины. Кинетические параметры (энергию активации и величину преэкспоненты) определяли методом термического анализа по ТГА кривым (интегральный метод). В качестве модификатора использовали 50 %-ный водный раствор моноэтаноламин($N \rightarrow B$)тригидроксибората; контролем служили образцы немодифицированной древесины сосны. Полученные экспериментальные данные свидетельствуют, что поверхностное модифицирование древесины сосны боразотным антипиреном обеспечивает материалу II группу огнезащитной эффективности (расход модификатора – 150 г/м²). Антипиренный эффект боразотного модификатора связан с более низким значением энергии активации процесса термодеструкции. Вклад энтропийного фактора в снижение горючести модифицированной древесины менее выражен. Применение моноэтаноламин($N \rightarrow B$)тригидроксибората в качестве антипирена древесины целесообразно в окислительной атмосфере.

Ключевые слова: древесина, модифицирование, боразотные соединения, антипирены, кинетические параметры термодеструкции, термический анализ, огнезащитная эффективность.

Введение. Химическое модифицирование древесины широко используется для улучшения ее свойств [1, 2]. Изменение химического состава и структуры поверхностного слоя древесины в результате привития молекул функциональных модификаторов приводит к увеличению био- и огнестойкости, повышает устойчивость древесины по отношению к воде и другим агрессивным средам, стабилизирует форму и размеры деревянных конструкций и изделий [3–6].

Для снижения горючести древесину модифицируют соединениями фосфора, бора и азота [7–12], к которым на современном этапе предъявляют следующие требования: эффективное снижение горючести за счет повышения температуры воспламенения древесины и (или) создания стерических затруднений при распространении зоны горения; высокая реакционная способность по отношению к высокомолекулярным компонентам древесины при комнатной температуре; нелетучесть; нетоксичность; коммерческая доступность; растворимость в воде [13].

Механизм действия антипиренов различен. Фосфорсодержащие антипирены влияют на механизм термодеструкции углеводной части древесного композита: снижают эффективную энергию активации процесса дегидратации, ингибируют процесс прямого окисления углерода в CO₂,

снижают экзотермический эффект процесса, увеличивают выход кокса [7, 8, 10]. Органические и неорганические соединения азота наиболее эффективны в газовой фазе. Образующиеся при термодеструкции аммиак, азот и оксиды азота разбавляют паровоздушную смесь у поверхности древесины, снижают температуру воспламенения и ограничивают доступ кислорода к древесному материалу [8]. Комбинация атомов фосфора и азота в составе молекул антипиренов обеспечивает синергетический эффект, усиливая действие антипиренов как катализаторов дегидратации. Антипирены, содержащие бор, повышают термоизоляцию древесного материала за счет образования на поверхности пленки оксида бора, увеличивают выход и термическую устойчивость карбонизированного остатка. Азот усиливает действие борсодержащих антипиренов [10, 11, 12]. Таким образом, снижение горючести древесины при модифицировании антипиренами связано с их влиянием на энергетические характеристики процесса термодеструкции (энергию активации) и созданием стерических затруднений распространения зоны окисления (энтропийный фактор, величина предэкспоненты).

Учитывая, что функциональные антипирены при условии «мягкого» модифицирования древесины упорядочивают ее структуру: увеличивают

степень кристалличности углеводов, формируют трехмерные термостабильные структуры, усиливают меж- и внутримолекулярные взаимодействия между компонентами древесины, интересно оценить вклад энтальпийного и энтропийного факторов в константу скорости реакции термодеструкции модифицированной древесины. Этому исследованию и посвящена данная работа.

Методология. В качестве объектов исследования использовали образцы древесины сосны. Древесину поверхностно модифицировали 50%-ным водным раствором моноэтаноламин(N→B)-тригидроксидбората (модификатор наносили кистью, расход – 150 г/м²). После высушивания на воздухе до постоянной массы с образцов модифицированной и немодифицированной древесины снимали в виде стружки поверхностный слой и готовили навески исследуемых материалов в виде элементов правильной формы типа пластины толщиной 0,75 мм.

Испытания на термовесах ТГА-951 проводили в двух газовых средах при скоростях нагревания 5, 10, 20 °C/мин: в динамическом режиме нагревания в атмосфере воздуха (расход – 50 мл/мин); в динамическом режиме нагревания в переменной атмосфере – азот до 750 °C, далее воздух (расход – 50 мл/мин). Построение и анализ термоаналитических кривых проводились с помощью программных утилит «File Modification V 1.0», «General V 1.0» и TGAKin V 1.0, установленных на ТАС «Du Pont 9900» и программы Universal Analysis 2000 компании TA Instruments в версии V 4.0C («Intertech corporation»).

Кинетические параметры процесса термодеструкции определяли интегральным методом (по ТГА кривым); основой расчета являлось уравнение Аррениуса

$$K = Z \cdot e^{-\frac{E}{RT}},$$

где K – константа скорости реакции, Z – предэкспоненциальный множитель; E – энергия активации (кДж/моль); R – универсальная газовая постоянная (8,31 кДж/(моль·°K), T – температура (°K).

Скорость деструкции зависит от температуры и массы образца

$$-\frac{d\alpha}{dt} = Kf(\alpha), f(\alpha) = (1 - \alpha)^n,$$

где n – порядок реакции; α – степень превращения, связанная с начальной (m₀), конечной (m_k) массами образца и массой в данный момент (m_t) времени соотношением

$$\alpha = \frac{m_0 - m_t}{m_0 - m_k}.$$

Энергию активации определяли графическим путем по наклону прямой (анаморфоза), построенной в координатах «логарифм скорости нагревания log(β) – обратная температура 1/T». Анаморфоза строится для каждой степени конверсии α. Значение Z вычисляли подстановкой найденной энергии активации в уравнение

$$\log(\beta) = \log[Z \cdot E / R \cdot F(\alpha)] - 0.457 \cdot (E / R T) + 2.31,$$

где F(α) – интегрированная функция конверсии.

Группу огнезащитной эффективности модифицированной древесины определяли по ГОСТ 16363-98 «Средства огнезащитные для древесины. Методы определения огнезащитных свойств» (п. 4.2). Вертикально ориентированный образец модифицированной древесины с размерами (150×60×30 мм), помещался в пламя газовой горелки, установленной в реакционной камере, и подвергался тепловому воздействию в течение 2-х минут. После испытания оценивалась потеря массы образца.

Основная часть. Окислительная термодеструкция древесины включает в себя процессы дегидратации (до 150 °C), деструкцию линейных участков макромолекулярных компонентов древесины (основной этап – 150...450 °C), окисление карбонизированного остатка. Основным этапом сопровождается активной потерей массы образцами (70...73 % – для немодифицированной древесины сосны [9] количественно потерю массы оценивают величиной степени конверсии α.

На рис.1 приведены зависимость степени конверсии α (5...70 %) от температуры и скорости нагревания (5, 10, 20 °C/мин); в табл.1 значения кинетических параметров (энергии активации E и величины предэкспоненты Z) процесса термодеструкции древесины сосны в окислительной атмосфере в температурном интервале 150...450 °C.

Значение энергии активации зависит от степени конверсии. Это указывает на многостадийность процесса термодеструкции древесины [13].

На низкотемпературной стадии (150...180 °C) потеря массы у немодифицированной древесины практически отсутствует, рис. 1а. Потеря массы модифицированной древесины в этом интервале температур связана с каталитическим действием привитых протолитических -ОН групп на процесс дегидратации полисахаридного комплекса древесины.

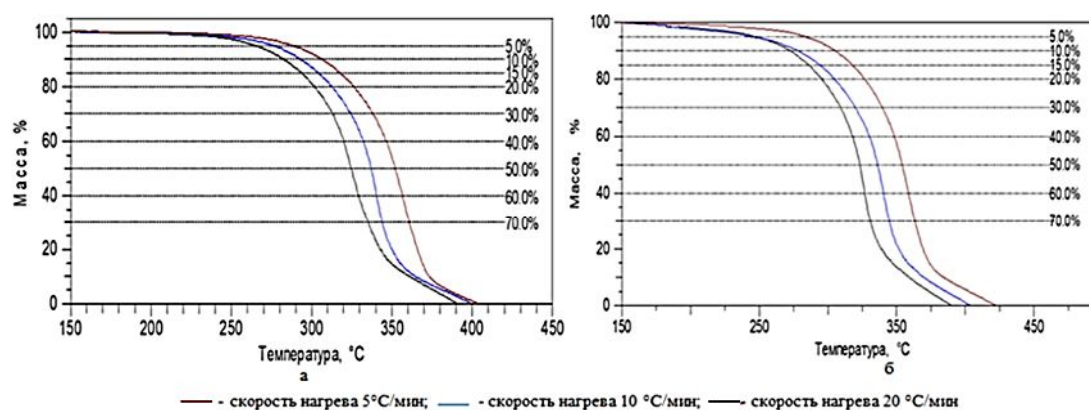


Рис. 1. Зависимость степени конверсии от температуры и скорости нагревания для образцов немодифицированной (а) и модифицированной (б) древесины сосны (основной период – 150...400 °C)

Таблица 1

Кинетические параметры термодеструкции немодифицированной и модифицированной древесины сосны (основной период – 150...400 °C)

Конверсия, %	Немодифицированная древесина		Модифицированная древесина	
	Энергия активации E, кДж/моль	Log Z, 1/мин	Энергия активации E, кДж/моль	Log Z, 1/мин
5.0	145.6	12.37	55.4	3.641
10.0	145.0	12.17	81.5	6.24
15.0	148.2	12.38	93.8	7.39
20.0	150.3	12.51	101.7	8.11
30.0	154.2	12.77	113.0	9.11
40.0	150.8	12.46	121.5	9.86
50.0	145.7	12.02	123.7	10.09
60.0	143.4	11.85	122.1	9.98
70.0	146.5	12.15	120.8	9.91

Высокотемпературная стадия (180...450 °C) процесса окислительной термодеструкции модифицированной древесины сдвинута в высокотемпературную область, причем потеря массы модифицированными образцами ниже контроля при всех скоростях нагревания. Учитывая, что энергия активации процесса термодеструкции немодифицированной древесины выше, чем у модифицированных образцов, табл. 1, наблюдаемый сдвиг связан с формированием на поверхности древесины в результате модифицирования структур «подложка – модификатор» с пониженной термостойкостью, т.е. имеющих более низкое значение энергии активации процесса деструкции. При нагревании древесины в присутствии кислорода происходит эндотермический распад данных структур, сопровождающийся образованием негорючих газообразных и твердых продуктов деструкции. С увеличением степени конверсии значение энергии активации возрастает, вероятно это связано с частичным выгоранием антипирена.

Величина предэкспоненты при всех степенях конверсии у образцов модифицированной

древесины ниже контроля. Это позволяет утверждать, что снижение горючести модифицированной древесины также обусловлено изменением ее надмолекулярной структуры в процессе поверхностного модифицирования водным раствором моноэтаноламин(N→В)тригидроксибората. В результате модифицирования увеличивается степени кристалличности целлюлозы, формируется более упорядоченная структура древесины за счет возникновения водородных связей между полярными группами модификатора и компонентов древесного материала [14–16]. Это создает стерические затруднения при движении зоны окисления сквозь модифицированную древесину [13].

Чтобы оценить вклад энергетического и энтропийного факторов в константу скорости процесса термодеструкции модифицированной древесины, термический анализ проводили при нагревании древесины сосны в динамическом режиме в переменной атмосфере (азот до 750 °C, далее воздух), рис. 2, табл. 2.

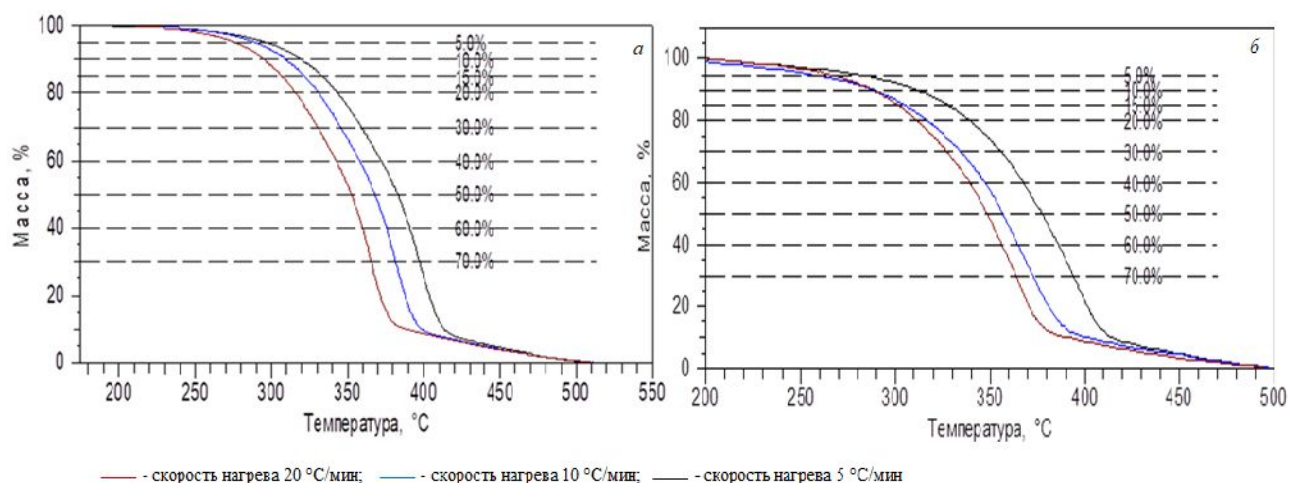


Рис.2. Зависимость степени конверсии от температуры и скорости нагревания для образцов немодифицированной (а) и модифицированной (б) древесины сосны (1-й этап – деструкция в инертной атмосфере)

Таблица 2

Кинетические параметры термодеструкции немодифицированной и модифицированной древесины сосны (1-й этап – деструкция в инертной атмосфере)

Конверсия, %	Немодифицированная древесина		Модифицированная древесина	
	Энергия активации E, кДж/моль	Log Z, 1/мин	Энергия активации E, кДж/моль	Log Z, 1/мин
5.0	178.8	15.24	80.6	6.17
10.0	163.8	13.54	106.5	8.49
15.0	155.9	12.69	108.3	8.55
20.0	152.1	12.26	111.9	8.82
30.0	151.1	12.05	119.8	9.43
40.0	151.7	11.98	127.6	10.04
50.0	151.5	11.88	129.1	10.13
60.0	151.5	11.84	128.6	10.06
70.0	151.1	11.80	131.0	10.24

Полученные данные свидетельствуют о том, что образцы модифицированной древесины начинают терять массу при более низкой температуре; это подтверждает предположение об активизации процесса дегидратации полисахаридного комплекса древесины функциональными группами привитого модификатора (до $\alpha = 5\%$).

Дальнейшее нагревание сопровождается термодеструкцией исследуемых материалов без окислительных реакций. Этот процесс начинается с углеводов древесины; в первую очередь разрушаются гликозидные и С-С связи пиранозного кольца. Температурные интервалы деструкции древесины в атмосфере азота смещены в высокотемпературную область для всех исследуемых образцов относительно температурных интервалов в окислительной атмосфере; термостабильность древесины в инертной атмосфере выше. Значение энергии активации процесса тер-

модеструкции в инертной атмосфере выше аналогичных значений в окислительной атмосфере для всех образцов.

Величины преэкспоненты для образцов нативной древесины в инертной и окислительной атмосферах близки, причем величина предэкспоненты мало зависит от степени конверсии. Для модифицированной древесины с увеличением степени конверсии величина предэкспоненты увеличивается, особенно это характерно для процесса деструкции в окислительной атмосфере. Это связано с уменьшением вклада стерических затруднений в снижение горючести древесины. В инертной атмосфере значения $\log Z$ выше значений $\log Z$ в окислительной атмосфере при всех степенях конверсии. Таким образом, процесс термодеструкции древесины в инертной атмосфере характеризуется более высокими значениями энергии активации процесса.

Модифицирование древесины моноэтаноламин($N \rightarrow B$)тригидроксидом не приводит к

смещению температурного интервала деструкции в инертной атмосфере в высокотемпературную область, хотя потеря массы у модифицированных образцов ниже контроля. Это указывает, на доминирование энергетического фактора в ме-

ханизме действия данного антипирена; некоторое повышение горючести модифицированного материала определяется энтропийным вкладом.

При температуре 750 °С изменяли атмосферу деструкции древесины на окислительную и определяли кинетические параметры окисления кокса, рис. 3, табл. 3.

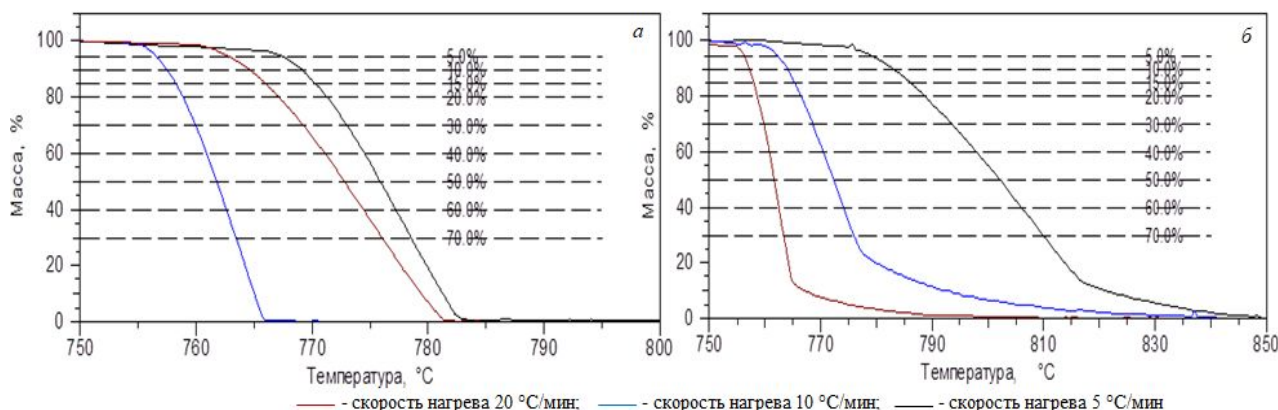


Рис. 3. Зависимость степени конверсии от температуры и скорости нагревания для образцов немодифицированной (а) и модифицированной (б) древесины сосны (2-й этап – деструкция кокса в окислительной атмосфере)

Таблица 3

Кинетические параметры термодеструкции немодифицированной и модифицированной древесины сосны (2-й этап – деструкция кокса в окислительной атмосфере)

Конверсия, %	Немодифицированная древесина		Модифицированная древесина	
	Энергия активации E , кДж/моль	$\log Z$, 1/мин	Энергия активации E , кДж/моль	$\log Z$, 1/мин
5.0	495.5	23.38	447.9	20.96
10.0	455.0	21.59	397.3	18.64
15.0	437.0	20.83	364.4	17.11
20.0	432.4	20.71	339.0	15.92
30.0	403.8	19.43	300.0	14.08
40.0	388.5	18.77	272.1	12.77
50.0	383.1	18.6	250.1	11.75
60.0	376.0	18.33	232.2	10.92
70.0	367.9	19.02	217.7	10.28

Полученные данные указывают на смещение температурного интервала окислительной термодеструкции кокса в высокотемпературную область, особенно при скоростях нагревания 5 и 10 °С/мин. Верхняя граница температурного интервала для модифицированной древесины составляет 850 °С; для немодифицированной – 785 °С.

С увеличением степени конверсии модифицированной древесины величины преэкспоненты и энергии активации уменьшаются. Увеличение величины предэкспоненты при смене атмосферы, вероятно связано с высокой скоростью удаления летучих продуктов окислительной термодеструкции в узком интервале температур. Это приводит к существенному уменьшению прочности поверхностного слоя кокса – появлению трещин,

отслоению отдельных частей, разрыву химических связей. При его выгорании – значение $\log Z$ увеличивается.

Значение энергии активации термодеструкции кокса модифицированной древесины ожидается ниже контроля, под воздействием высокой температуры и кислорода химически связанные в поверхностном слое компоненты антипирена подвергаются эндотермическому распаду в первую очередь, образуя негорючие газообразные и твердые материалы [15, 16].

Таким образом, огнезащитное действие исследуемого модификатора связано с меньшим значением энергии активации процесса термодеструкции привитого модификатора по сравнению с энергией активации термодеструкции древесного материала; влияние энтропийного вклада

в константу скорости термодеструкции незначительно.

Огнезащитную эффективность модификатора определяли по ГОСТ 16363-98. Полученные результаты представлены в табл. 4.

Таблица 4

Результаты испытаний по ГОСТ 16363-98 (п. 4.2) модифицированной древесины

№ образца	Масса образца, г			Потеря массы образца		Средняя потеря массы образца	
	до обработки	перед сжиганием	после сжигания	г	%	г	%
1	118,8	123,8	97,7	26,1	21,1		
2	116,5	121,4	98,3	23,1	19,0	23,4	19,6
3	107,9	112,5	91,4	21,1	18,8		

Средняя потеря массы модифицированными образцами составила 19,6 % (остаточное горение образцов – 1 мин 40 сек; в конце 2-й минуты – максимальная температура горения газообразных продуктов – 500 °С), это соответствует II группе огнезащитной эффективности.

Выводы. Полученные результаты позволяют сделать следующие выводы. Поверхностное модифицирование древесины боразотным антипиреном обеспечивает материалу II группу огнезащитной эффективности. Антипиренный эффект исследуемого модификатора связан с более низким значением энергии активации процесса его термодеструкции. Под воздействием высокой температуры в окислительной атмосфере химически связанные в поверхностном слое компоненты антипирена подвергаются эндотермическому распаду в первую очередь, образуя негорючие газообразные и твердые продукты, которые снижают концентрацию горючих газов и изолируют поверхность древесины от кислорода. Вклад энтропийного фактора в снижении горючести модифицированной древесины менее выражен. Применение моноэтаноламин(N→V)тригидроксибората в качестве антипирена древесины целесообразно в окислительной атмосфере.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Аксенов А.А., Малюков С.В. Способы модифицирования древесины // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. 2015. Т. 3. №9-3(20-3). С. 14–18.
2. Береговой В.А., Егунов Д.А. Строительная древесина: параметры модификации и свойства // Региональная архитектура и строительство. 2017. №1 (30). С. 25–29.
3. Pokrovskaya E. Increasing the strength of destroyed wood of wooden architecture monuments by surface modification // MATEC Web of Conferences 2018. 01034.
4. Шейкман Д.В., Кошелева Н.А. Исследование физико-механических свойств модифицированной древесины березы и осины // Вестник Технологического университета. 2016. Т.19. №15. С.110–112.
5. Kumar A., Adamopoulos S., Richter J., Tywoniak J., Hajek P., Šegedin U., Petric M. // Surface modification of norway spruce wood by octadecyltrichlorosilane (ots) nanosol by dipping and water vapour diffusion properties of the ots-modified wood // Holzforschung. 2017. Т. 72. № 1. С. 45–56.
6. Kondratyeva E., Safiullin K., Motygullin I., Klochkov A., Tagirov M., Reita V. Thermal modification of wood and a complex study of its properties by magnetic resonance and other methods // Wood Science and Technology. 2016. Т. 50. № 5. С. 895–916.
7. Покровская Е.Н. Огнезащита деревянных конструкций модификацией в тонком поверхностном слое // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. 2018. №2. С. 86–90.
8. Греков Л.И., Селезнева Н.А., Калашникова Н.Ю., Желтобрюхов В.Ф., Беляева Ю.Л. Фосфоразотсодержащие антипирены для древесины // Известия Волгоградского государственного технического университета. 2017. № 11 (206). С. 67–72.
9. Кляченкова О.А., Степина И.В. Термоокислительная деструкция древесины, модифицированной аминфенилборатами // Успехи современной науки. 2017. Т.1. №6. С. 247–252.
10. Bekhta P., Bryn O., Sedliačik J., Novák I. Effect of different fire retardants on birch plywood properties // Acta Facultatis Xylogologiae. 2016. Т. 58. № 1. С. 59–66.
11. Xu Z., Chu Z., Yan L. Enhancing the flame-retardant and smoke suppression properties of transparent intumescent fire-retardant coatings by introducing boric acid as synergistic agent // Journal of Thermal Analysis and Calorimetry. 2018. Т. 133. № 3. С. 1241–1252.
12. Hakki I., Baysal E., Toker H., Deveci I., Turkoglu T., Peker H. Thermal analysis of oriental

beech wood treated with some borates as fire retardants // *Maderas: Ciencia y Tecnologia*. 2016. Т. 18. № 2. С. 293–304.

13. Кошелева О.Э., Паули И.А., Логвиненко В.А. Кинетика термодеструкции древесины сосны с антипиренами // *Известия вузов. Строительство*. 2016. №5. С. 119–126.

14. Котлярова И.А., Степина И.В. Изменение надмолекулярной структуры целлюлозы при ан-

тисептировании древесины моноэтанолламин(N→B)-тригидроксидоборатом // *Строительство: наука и образование*. 2018. №2. С. 61–72.

15. Кошелева О.Э., Логвиненко В.А. Термический анализ древесины. Часть I. *Известия высших учебных заведений. Строительство*. 2016. № 2 (686). С. 98–103.

16. Кошелева О.Э., Логвиненко В.А. Термический анализ древесины. Часть II. *Известия высших учебных заведений. Строительство*. 2016. № 3 (687). С. 95–99.

Информация об авторах

Котлярова Ирина Александровна, кандидат технических наук, доцент кафедры «Машиностроение и материаловедение». E-mail: iakotlyarova@list.ru Брянский государственный технический университет. Россия, 241035, Брянск, бул. 50 лет Октября, д.7.

Степина Ирина Васильевна, кандидат технических наук, доцент кафедры «Строительные материалы и материаловедение». E-mail: StepinaIV@mgsu.ru Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет. Россия, 129337, Москва, Ярославское шоссе, д.26.

Поступила в ноябре 2019 г.

© Котлярова И.А., Степина И.В., 2020

^{1,*}Kotlyarova I.A., ²Stepina I.V.

¹Bryansk State Technological University.

²National Research Moscow State University of Civil Engineering

*E-mail:iakotlyarova@list.ru

DETERMINATION OF KINETIC PARAMETERS OF THERMODESTRUCTION AND GROUPS OF FIREPROOF EFFICIENCY OF PINE WOOD, MODIFIED BY BORON NITROGEN FLAME RETARDANT

Abstract. Wood is a combustible material. To reduce combustibility, wood is modified with functional compounds of phosphorus, boron and nitrogen, inoculation of which changes the chemical composition of the surface layer of wood and its structure. The mechanism of action of flame retardants is related to their influence on the energy and entropy characteristics of the thermodestruction process. Considering that boron nitrogen compounds are effective flame retardants and react with wood components under «mild» conditions, the effect of grafting of a borax modifier on the kinetic parameters of wood thermal decomposition is studied. The kinetic parameters (activation energy and preexponent value) are determined by thermal analysis using TGA curves (integral method). A 50 % aqueous solution of monoethanolamine(N→B)tri-hydroxyborate is used as a modifier; samples of unmodified pine wood are used as controls. The experimental data obtained indicate that the surface modification of pine wood with boron nitrogen fire retardant provides the material with group II fire protection efficiency (modifier consumption-150g/m²). The flame retardant effect of the boron nitrogen modifier is associated with a lower value of the activation energy of its thermal destruction process. The contribution of the entropy factor in reducing the combustibility of modified wood is less expressed. The use of monoethanolamine(N→B)tri-hydroxyborate as a wood flame retardant is advisable in an oxidizing atmosphere.

Keywords: wood, modifying, boron nitrogen connections, fire retarding agents, kinetic parameters of thermodestruction, thermal analysis.

REFERENCES

1. Aksenov A.A., Malyukov S.V. Methods of wood modification [Sposoby modifitsirovaniya drevesiny]. Aktual'nye napravleniya nauchnykh issledovaniy XXI veka: teoriya i praktika. 2015. Vol. 3. No. 9–3(20-3). Pp. 14–18. (rus)

2. Beregovoy V.A., Egunov D.A. Construction wood: modification parameters and properties [Stroitel'naya drevesina: parametry modifikatsii i svoystva]. Regional'naya arhitektura i stroitel'stvo. 2017. No. 1 (30). Pp. 25–29. (rus)

3. Pokrovskaya E. Increasing the strength of destroyed wood of wooden architecture monuments

by surface modification. MATEC Web of Conferences 2018. 01034.

4. Shejkman D.V., Kosheleva N.A. Investigation of physical and mechanical properties of modified birch and aspen wood [Issledovanie fiziko-mekhanicheskikh svoystv modificirovannoj drevesiny berezy i osiny]. Vestnik Tekhnologicheskogo universiteta. 2016. Vol. 19. No. 15. Pp. 110–112. (rus)

5. Kumar A., Adamopoulos S., Richter J., Tywoniak J., Hajek P., Šegedin U., Petric M. Surface modification of norway spruce wood by octadecyltrichlorosilane (ots) nanosol by dipping and water vapour diffusion properties of the ots-modified wood. Holzforschung. 2017. Vol. 72. No. 1. Pp. 45–56.

6. Kondratyeva E., Safiullin K., Motygullin I., Klochkov A., Tagirov M., Reita V. Thermal modification of wood and a complex study of its properties by magnetic resonance and other methods. Wood Science and Technology. 2016. Vol. 50. No. 5. Pp. 895–916.

7. Pokrovskaya E.N. Fire protection of wooden structures modification in a thin surface layer [Ognezashchita derevyannykh konstrukcij modifikacij v tonkom poverhnostnom sloe]. Pozhary i chrezvychajnye situacii: predotvrashchenie, likvidaciya. 2018. No 2. Pp. 86–90. (rus)

8. Grekov L.I., Selezneva N.A., Kalashnikova N.Yu., Zheltobryuhov V.F., Belyaeva Yu.L. Phosphor-nitrogen flame retardants for wood [Fosforazotsoderzhashchie antipireny dlya drevesiny]. Izvestiya Volgogradskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. 2017. No. 11 (206). Pp. 67–72. (rus)

9. Klyachenkova O.A., Stepina I.V. Thermo-oxidative degradation of wood modified with aminofenylborates [Termookislitel'naya destrukciya drevesiny, modificirovannoj aminofenilboratami].

Uspekhi sovremennoj nauki. 2017. Vol. 1. No. 6. Pp. 247–252. (rus)

10. Bekhta P., Bryn O., Sedlačik J., Novák I. Effect of different fire retardants on birch plywood properties. Acta Facultatis Xylologiae. 2016. Vol. 58. No. 1. Pp. 59–66.

11. Xu Z., Chu Z., Yan L. Enhancing the flame-retardant and smoke suppression properties of transparent intumescent fire-retardant coatings by introducing boric acid as synergistic agent. Journal of Thermal Analysis and Calorimetry. 2018. Vol. 133. No. 3. Pp. 1241–1252.

12. Hakki I., Baysal E., Toker H., Deveci I., Turkoglu T., Peker H. Thermal analysis of oriental beech wood treated with some borates as fire retardants. Maderas: Ciencia y Tecnologia. 2016. Vol. 18. No. 2. Pp. 293–304.

13. Kosheleva O.E., Pauli I.A., Logvinenko V.A. Kinetics of thermal degradation of pine wood with flame retardants [Kinetika termodestrukcii drevesiny sosny s antipirenamy]. Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo. 2016. No. 5. Pp. 119–126. (rus)

14. Kotlyarova I.A., Stepina I.V. The change in supramolecular structure of cellulose in the wood preservative monoethanolamine(N→B)-trihydroxypurine [Izmenenie nadmolekulyarnoj struktury cellyulozy pri antiseptirovanii drevesiny monoetanolamin(N→B)-trigidroksiboratom]. Stroitel'stvo: nauka i obrazovanie. 2018. No. 2. Pp. 61–72. (rus)

15. Kosheleva O.E., Logvinenko V.A. Thermal analysis of wood. Part I. [Termicheskij analiz drevesiny. Chast' I.] Izvestiya vysshih uchebnykh zavedenij. Stroitel'stvo. 2016. No. 2 (686). Pp. 98–103. (rus)

16. Kosheleva O.E., Logvinenko V.A. Thermal analysis of wood. Part II. [Termicheskij analiz drevesiny]. Chast' II. Izvestiya vysshih uchebnykh zavedenij. Stroitel'stvo. 2016. No. 3 (687). Pp. 95–99. (rus)

Information about the authors

Kotlyarova, Irina A. PhD, Assistant professor. E-mail: iakotlyarova@list.ru Bryansk State Technological University. Russia, 241035, Bryansk, bul 50 October, 7.

Stepina, Irina V. PhD, Assistant professor. E-mail: StepinaIV@mgsu.ru. National Research Moscow State University of Civil Engineering. Russia, 129337, Moscow, Yaroslavl highway, 26

Received in November 2019

Для цитирования:

Котлярова И.А., Степина И.В. Определение кинетических параметров термодеструкции и группы огнезащитной эффективности древесины сосны, модифицированной боразотным антипиреном // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2020. № 1. С. 70–77. DOI: 10.34031/2071-7318-2020-5-1-70-77

For citation:

Kotlyarova I.A., Stepina I.V. Determination of kinetic parameters of thermodestruction and groups of fireproof efficiency of pine wood, modified by boron nitrogen flame retardant. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2020. No. 1. Pp. 70–77. DOI: 10.34031/2071-7318-2020-5-1-70-77

DOI: 10.34031/2071-7318-2020-5-1-78-84

^{1,*}Куделин Д.В., ²Несиоловская Т.Н.¹ООО «Научно-технический центр «Интайр»²Ярославский государственный технический университет

*E-mail: kvmbaikal@yandex.ru

ВЛИЯНИЕ УСЛОВИЙ ИСПЫТАНИЙ НА ПРОЧНОСТНЫЕ СВОЙСТВА ТОНКОСТЕННЫХ РЕЗИНОВЫХ ИЗДЕЛИЙ

Аннотация. Проведено компьютерное моделирование процесса нагружения резиновой мембраны сферическим индентором посредством пакета для конечно-элементного анализа. Показано, что в сложнапряженном состоянии резины на основе кристаллизующегося каучука СКИ-3 существенно уступают по прочностным свойствам как при отсутствии, так и при наличии концентратора напряжений резинам на основе аморфного каучука СКМС-30АРК, в то время как при одноосном растяжении превосходят их. Выявлено, что в условиях сложнапряженного состояния, наполненные 40 мас.ч. технического углерода N339 резины на основе каучука СКИ-3 обладают низкой стойкостью к касательным напряжениям, уступая вулканизатам СКМС-30АРК и СКД, что обуславливает низкие прочностные свойства резин на его основе в сравнении с прочностными характеристиками, определенными в условиях одноосного растяжения. Анализ прочностных свойств резин при наличии концентратора напряжений показал, что в условиях сложнапряженного состояния максимальными значениями сопротивления раздиру обладают резины на основе аморфного каучука СКМС-30АРК, превосходя вулканизаты СКИ-3 и СКД по данному показателю, соответственно, в ~ 4 и 2 раза. При одноосном растяжении наиболее важным фактором является способность материала к ориентационному упрочнению, обусловленная регулярностью структуры каучука и наличием усиливающего наполнителя, а в сложнапряженном состоянии на первый план, с точки зрения прочностных свойств резин, выходит плотность узлов флуктуационной сетки зацеплений.

Ключевые слова: резиновые мембраны, сложнапряженное состояние, одноосное растяжение, прочностные свойства, сопротивление раздиру.

Введение. Тонкостенные резиновые изделия (например, резиновые мембраны) нашли широкое применение в различных отраслях промышленности. Стандартный подход к проектированию резиновых мембран включает в себя разработку рецептуры и последующее проведение испытаний – лабораторных и эксплуатационных [1–5]. Первичной проблемой является построение рецептуры резиновой мембраны. Основными требованиями, которые предъявляются к резинам для изготовления мембран, являются высокая прочность, эластичность, сопротивление раздиру, усталостная выносливость, химическая инертность, а также малые остаточные деформации. Эти свойства могут быть обеспечены различными сочетаниями каучуков и ингредиентов. При этом поиск оптимального состава резины носит случайный характер.

Условия эксплуатации резиновых мембран предполагают сложный характер нагружения, что, соответственно, приводит к разнообразию характера и зон потенциальных разрушений, которые проявляются в процессе работы изделия. В настоящее время, при разработке рецептур для мембран, в большинстве случаев, применяют стандартные методы оценки физико-механических свойств резин, основанные на одноосном растяжении-сжатии. Это несоответствие испыта-

тельных методов и условий работы изделий существенно усложняет анализ их поведения в процессе эксплуатации. Таким образом, существующий процесс проектирования резиновых мембран является материалоемким, т.к. требует проведения большого массива экспериментальных исследований, и не может обеспечить корректность полученных данных, поскольку лабораторные испытания не отражают реальных условий эксплуатации резин. Кроме того, требует значительных временных затрат.

В этой связи актуальным представляется исследование влияния условий испытания на прочностные свойства тонкостенных резинотехнических изделий при отсутствии и наличии концентратора напряжений.

Методика эксперимента. Существующие в настоящее время методы испытаний резин в сложнапряженном состоянии либо недостаточно точные, либо требуют штучного дорогостоящего оборудования [6]. После анализа существующих методов, был выбран метод продавливания круглой резиновой мембраны стальным шарообразным индентором, предложенный в работе [7]. Он отличается простотой реализации, и кроме того обеспечивает высокую точность и достоверность результатов. Авторы исследуют стойкость резин к проколу и прорыву при воздей-

ствии контртела на образец, при этом используют инденторы небольшого диаметра (до 8 мм). Для того чтобы исключить возможность катастрофического разрушения образца, в настоящей работе использовался индентор диаметр которого был близок к радиусу мембраны [8, 9].

Существующие в настоящее время методы компьютерного моделирования, например метод конечных элементов, также позволяют существенно расширить возможности традиционных экспериментальных исследований в плане анализа физико-механических свойств материалов и напряженно-деформированного состояния изделий при эксплуатации. Поэтому в работе для анализа свойств резин было решено пойти на компромисс путем сочетания эксперимента и моделирования процесса индентирования резиновой мембраны в программном комплексе для конечно-элементного анализа [10–16]. В свою очередь экспериментальная работа включала получение кривой «напряжение – удлинение» при одноосном растяжении для расчета параметров модели Йюха (1) [14, 15, 18], хорошо учитывающей нелинейность изменения свойств резин при моделировании методом конечных элементов и индентирование резиновой мембраны до разрушения с целью получения значений максимальных перемещений индентора для различных полимеров:

$$F = \sum_{i=1}^3 C_{i0} (\bar{I}_1 - 3)^i + \sum_{i=1}^3 \frac{1}{D_i} (J_{el} - 1)^{2i} \quad (1)$$

где $\bar{I}_1$ – первый девиаторный инвариант тензора деформации; J_{el} – упругая объемная кратность деформации; C_{i0} – константы, характеризующие свойства материала; D_i – параметр, характеризующий объемную сжимаемость материала.

Объектами исследования в работе стали наполненные 40 мас.ч. техуглерода N339 резины на основе широко применяющихся в промышленности РТИ каучуков: СКИ-3, СКМС-30АРК и СКД.

Основная часть. Для того чтобы сопоставить результаты конечно-элементного расчета с прочностью при одноосном растяжении использовалась функция (2).

$$F(S_1, S_2) = a * S_1 + (1 - a) * S_2 = C \quad (2)$$

где a и C – экспериментально определяемые коэффициенты: $a = \frac{S_2}{(f_p + S_2 - S_1)}$ – характеризует относительный вклад первого инварианта (нормальных напряжений) в прочность, соответственно $(1-a)$ характеризует стойкость к касательным напряжениям.

S_1 и S_2 – первый и второй инварианты тензора напряжений

$C = f_p * a$ – характеризует абсолютную прочность материала.

f_p – условная прочность при одноосном растяжении, МПа.

На рис. 1 представлены результаты испытаний резин при одноосном растяжении и расчета процесса нагружения резиновой мембраны в пакете для конечно-элементного анализа.

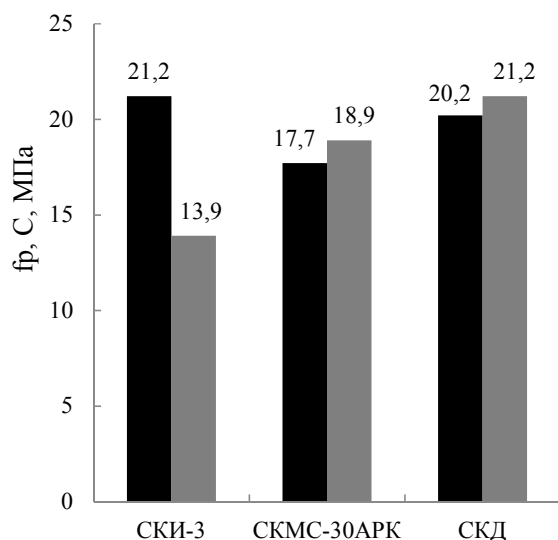
При одноосном растяжении различия в прочностных свойствах исследуемых резин слабо выражены. В сложнапряженном состоянии ситуация иная. Анализируя коэффициенты «С» и «1-а» функции (2) можно заключить, что минимальными прочностными характеристиками, которые подтверждаются значениями коэффициента «С», обладают резины на основе кристаллизующегося каучука СКИ-3, что по всей вероятности связано с их низкой стойкостью к касательным напряжениям, т.е. сдвиговым напряжениям в таком режиме нагружения (рис. 1). В том случае, когда на макромолекулярные цепи действует сила, направленная только по нормали к поперечному сечению образца, как в случае одноосного растяжения, в резинах на основе каучука СКИ-3 процессы ориентационной кристаллизации и ориентационного упрочнения протекают без затруднений. В случае же появления сдвиговых напряжений, ориентирование молекул затруднено, что, в конечном итоге, приводит к снижению прочностных свойств резин на основе этого каучука.

Сравнивая полученные результаты с условной прочностью при одноосном растяжении можно заключить, что в сложном напряженно-деформированном состоянии резины на основе кристаллизующегося каучука СКИ-3 не имеют явно выраженного преимущества перед резинами на основе каучуков БНКС-28, СКМС-30АРК и СКД. Более того, при сравнительно небольших деформациях уступают им.

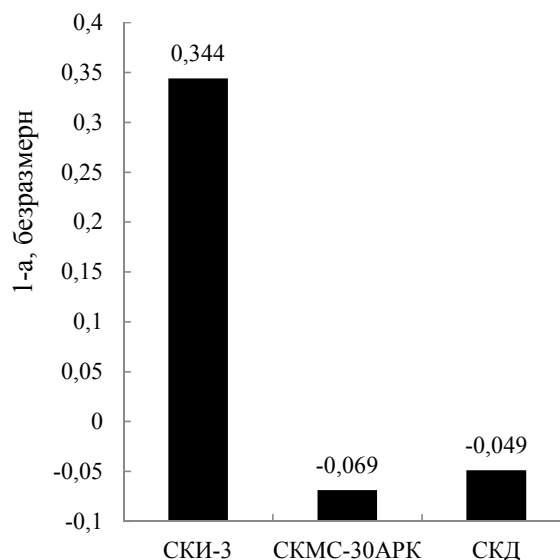
Очень часто эластомерная часть тонкостенных РТИ в процессе эксплуатации находится не только в сложнапряженном состоянии, но и должна противостоять внешним механическим воздействиям. Это могут быть как неравномерности напряжений и деформаций в материале, так и дефекты различной природы: механические повреждения, возникающие при работе изделия, трещины сетки старения, технологические дефекты, а так же конструктивные особенности, например, крепежные отверстия, ребра жесткости, перепускные отверстия и т.д. Как правило, именно эти дефекты вызывают разрушение материала и, следовательно, являются причиной выхода изделия из строя [17, 19]. В этой связи интересным представляется исследование особенностей формирования прочностных свойств резин в

сложнонапряженном состоянии при наличии концентратора напряжений.

А



Б



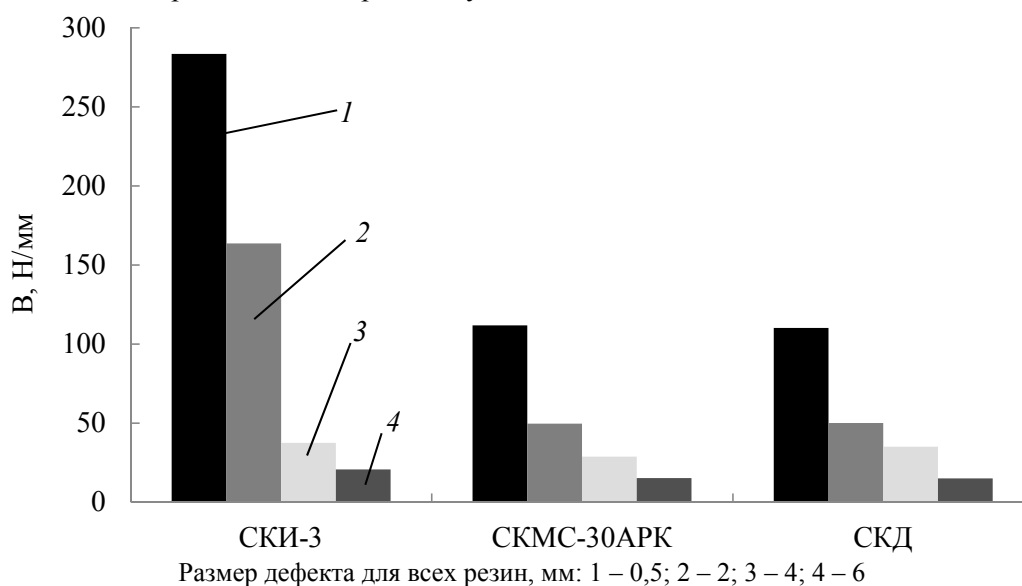
Черные столбцы на рисунке «А» соответствуют условной прочности f_p , а серые – коэффициенту C

Рис. 1. Значения прочностных показателей резин при одноосном растяжении и сложнонапряженном состоянии (А) и стойкость к касательным напряжениям (Б)

Исследования проводили на таких же образцах-мембранах, что и в случае анализа прочностных свойств резин без дефекта. Концентрация напряжений создавалась путем нанесения надреза в центральной части мембраны глубиной $0,5 \div 6$ мм.

В условиях одноосного растяжения резины на основе СКИ-3 по значению сопротивления раздиру существенно превосходят резины на основе некристаллизующихся каучуков (рис. 2). Особенно это выражено при небольшой величине дефекта, когда ориентация макромолекул

способна в значительной степени компенсировать влияние перенапряжений в вершине трещины на процесс разрушения материала. Однако с увеличением длины надреза, различия эти нивелируются, в первую очередь за счет интенсивного снижения прочности резин на основе СКИ-3. Так, при увеличении длины надреза от 0,5 до 6 мм сопротивление раздиру резин на основе СКИ-3 падает в 11 раз, на основе других каучуков примерно в 5.

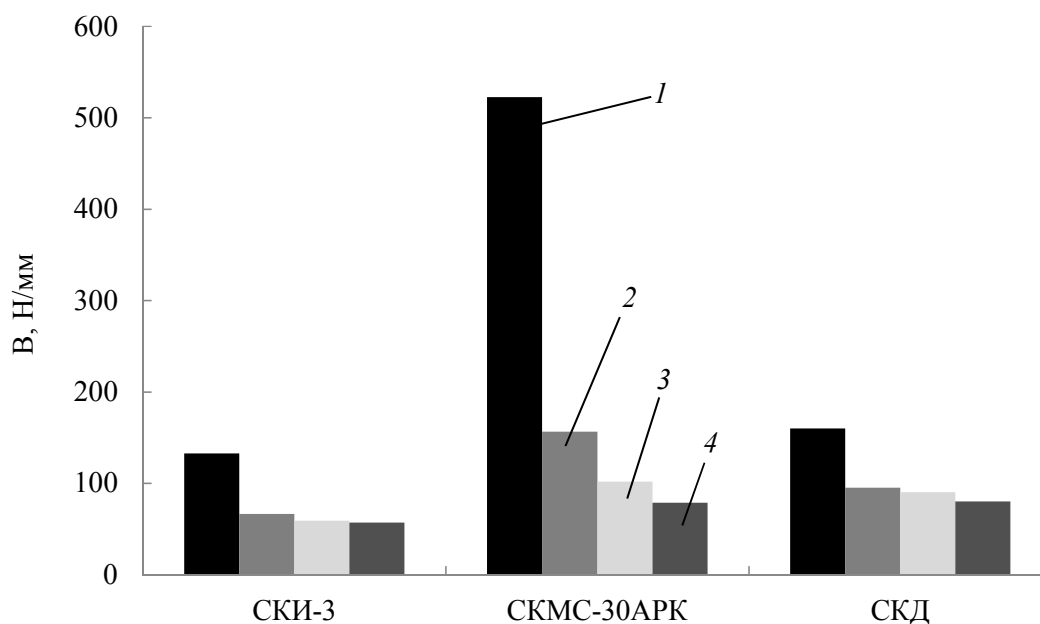


Размер дефекта для всех резин, мм: 1 – 0,5; 2 – 2; 3 – 4; 4 – 6

Рис. 2. Сопротивление раздиру резин при одноосном растяжении

В то же время, в условиях сложнапряженного состояния (рис. 3) характер поведения резин меняется. Если при одноосном растяжении наиболее высокий уровень прочностных свойств вулканизатов, во всем исследованном диапазоне длин дефекта, обеспечивается каучуком СКИ-3

(рис. 2), то при индентировании мембран, максимальное значение сопротивления раздиру обеспечивает нерегулярный и малополярный каучук СКМС-30АРК, а сопротивление раздиру резин на основе СКД и СКИ-3 ниже ~ в 2 ÷ 4 раза (в зависимости от размера дефекта).



Размер дефекта для всех резин, мм: 1 – 0,5; 2 – 2; 3 – 4; 4 – 6

Рис. 3. Сопротивление раздиру резин в сложнапряженном состоянии

Выявленные различия обусловлены, по всей видимости, тем, что при испытании в условиях сложнапряженного состояния происходит разрушение исходной надмолекулярной структуры материала на начальной стадии деформирования. Далее образуется надмолекулярная структура, ориентированная в окружном, относительно центра образца, направлении. При дальнейшем растяжении, по мере достижения критического напряжения в вершине надреза, дефект должен прорасти по прямой - от центра к периферии

образца, т.е. в радиальном направлении. Однако трещина растет в окружном направлении за счет «расслаивания» предварительно сориентированных надмолекулярных структур. Последнее оказывается наиболее характерным для резин на основе каучука СКИ-3 (рис. 4.), для которого предварительная ориентация в окружном направлении, до начала разрушения, протекает в наибольшей степени, а также для резин на основе регулярного каучука СКД.



Рис. 4. Характер разрушения резин на основе каучуков СКИ-3 (А), СКД (Б) и СКМС-30АРК (В)

У резин на основе некристаллизующегося каучука СКМС-30АРК трещина растет в ради-

альном направлении, т.к. данный полимер обладает высокой степенью разветвленности макро-

молекул, вследствие чего предварительная ориентация оказывается незначительной. При этом макромолекулы не связанные в надмолекулярные структуры (расположенные в аморфных областях) до начала разрушения, ориентируются и образуют структуры перпендикулярные направлению прорастания дефекта.

Как известно [1, 6] аморфные каучуки не обеспечивают вулканизатам существенную способность к тяжёлообразованию. Введение технического углерода приводит к увеличению способности к тяжёлообразованию резин на основе каучука СКМС-30АРК, что выражается ростом сопротивления раздиру. Уровень сопротивления раздиру выше для сложнонапряженного состояния во всем диапазоне наполнения техническим углеродом. По-видимому, тяжи нужно рассматривать как одну из составляющих процесса усиления. Среднее натяжение цепей будет играть преобладающую роль и зависит от локального изменения взаимного расположения соседних агрегатов в процессе деформирования всего образца. В сложнонапряженном состоянии при деформировании происходят как повороты агрегатов [21], так и увеличение расстояния между частицами наполнителя, поэтому можно предположить, что в данном случае существует совокупность цепей, имеющих разные функции распределения по напряжениям, что обеспечивает рост предельной нагрузки.

Таким образом, и при наличии концентраторов напряжения режим нагружения по-разному сказывается на формировании прочностных свойств резин. Если при одноосном растяжении наиболее важным фактором является способность материала к ориентационному упрочнению, обусловленная регулярностью структуры каучука и наличием усиливающего наполнителя, то в сложнонапряженном состоянии на первый план, с точки зрения уровня сопротивления раздиру резин, выходит плотность узлов флуктуационной сетки зацеплений [2, 20]. В том случае, когда материал обладает как способностью к ориентационному упрочнению, так и высоким уровнем межмолекулярного взаимодействия [2, 20], в условиях сложнонапряженного состояния наблюдается экстремально высокий рост сопротивления раздиру резин, отсутствующий при применении стандартных методов определения свойств резин.

Выводы. Полученные результаты открывают новые пути совершенствования рецептур тонкостенных резинотехнических изделий, условия эксплуатации которых предполагают работу в сложном напряженно-деформированном состоянии, а также контакт с твердыми телами, вызы-

вающими механические повреждения, технологические дефекты, либо имеющих конструкционно обусловленные концентраторы напряжений.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Резниченко С.В., Морозов Ю.Л. Большой справочник резинщика. Том 2. Резины и резинотехнические изделия. М.: ООО «Издательский центр «Техинформ» МАИ», 2012. 648 с.
2. Дик Дж. С. Технология резины: Рецепт-ростройство и испытания. СПб.: Научные основы и технологии, 2010. 620 с.
3. Касперович А.В., Шашок Ж.С., Вишневский К.В. Технология производства резинотехнических изделий. Минск. БГТУ, 2014. 108 с.
4. Лепетов В.А., Юрцев Л.Н. Расчеты и конструирование резиновых изделий и технологической оснастки. М.: Истек, 2009. 417 с.
5. Мартин Дж. М., Смит У.К. Производство и применение резинотехнических изделий. СПб.: Профессия, 2006. 480 с.
6. Присс Л.С. Физика упругости резины. Теория высокоэластичности. М.: Научно-технический центр "НИИШП", 2010. 364 с.
7. Хромов М.К. О связи показателей разрушения при прорыве с упруго-прочностными свойствами резин // Каучук и резина. 1981. № 8. С. 6–9.
8. Несиоловская Т.Н., Куделин Д.В. Комплексный подход к проектированию тонкостенных резиновых изделий // Научно-технический вестник Поволжья. 2012. № 2. С. 229–233.
9. Несиоловская Т.Н., Ветошкин А.Б., Куделин Д.В. Оценка прочностных свойств тонкостенных резиновых изделий в условиях сложнодеформированного состояния // Известия вузов. Химия и хим. технология. 2012. Том 55. № 7. С. 97–100.
10. Каплун А.Б., Морозов Е.М., Олферьева М.А. ANSYS в руках инженера: Практическое руководство. М.: Книжный дом «Либроком», 2015. 272 с.
11. Морозов Е.М., Левин В.А., Вершинин А.В. Прочностной анализ: Фидесис в руках инженера. М.: Ленанд, 2015. 408 с.
12. Золочевский А.А., Беккер А.А. Введение в ABAQUS. Харьков, 2011. 49 с.
13. Khennane A. Introduction to Finite Element Analysis Using MATLAB and Abaqus. CRC Press. 2013. 487 p. DOI: 10.1201/b15042
14. Yeoh O.H. Some Forms of the Strain Energy Function for Rubber // Rubber Chemistry and Technology. 1993. Vol. 66. Pp. 754–771.
15. Kaliske M. On the Finite Element Implementation of Rubber-like Materials at Finite Strains

// Engineering Computations. 1997. Vol.14. №. 2. Pp. 216–232.

16. Gokhale Nitin S., Deshpande Sanjay S., Bedekar Sanjeev V. Practical Finite Element Analysis. Finite To Infinite. 2008. 446 p.

17. Selvadurai A.P.S. Deflections of a rubber membrane // Journal of the Mechanics and Physics of Solids. 2006. Vol. 54, No. 6. Pp. 1093–1119. DOI: 10.1016/j.jmps.2006.01.001

18. Truesdell C., Noll W. The Non-Linear Field Theories of Mechanics Third Edition. Berlin – Heidelberg - New York: Springer-Verlag. 2004. XXIX. 602 p. DOI: 10.1007/978-3-662-10388-3

19. Kaang Shinyoung, Jin Young Woong, Huh Yang-il, Lee Wan-Jin, Im Wan Bin. A test method to measure fatigue crack growth rate of rubbery materials // Polymer Testing. 2006. Vol. 25. No. 3. Pp. 347–352 DOI: 10.1016/j.polymertesting.2005.12.005

20. Bertram A. Elasticity and Plasticity of Large Deformations: An Introduction Springer-Verlag Berlin. 3rd edition. 2012. 345 p. DOI: 10.1007/978-3-642-24615-9

21. Потапова Л.Б., Ярцев В.П. Механика материалов при сложном напряженном состоянии. Как прогнозируют предельные напряжения? М.: Издательство машиностроение-1, 2005. 244 с.

Информация об авторах

Куделин Дмитрий Вячеславович, соискатель, ведущий специалист. E-mail: kvmbaikal@yandex.ru. ООО «Научно-технический центр «Интайр». Россия, 150003, Ярославль, ул. Советская, д. 81.

Несиоловская Татьяна Николаевна, доктор технических наук, профессор, декан инженерно-экономического факультета. E-mail: nesiolovskayatn@ystu.ru. Ярославский государственный технический университет. Россия, 150023, Ярославль, Московский пр-т, д. 88.

Поступила в ноябре 2019 г.

© Куделин Д.В., Несиоловская Т.Н., 2020

^{1,*}Kudelin D.V., ²Nesiolovskaya T.N.

¹R&D “Center “Intire” LLC

²Yaroslavy State Technical University

*E-mail: kvmbaikal@yandex.ru

INFLUENCE OF TEST CONDITIONS ON STRENGTH PROPERTIES OF THIN-WALL RUBBER PRODUCTS

Abstract. A computer simulation of the loading of the rubber membrane by a spherical indenter is performed using a finite element analysis package. It is shown that in the complex stress state rubber based on crystallize rubber IR are significantly inferior in strength properties as in the absence and in the presence of stress concentrator to rubber based on amorphous rubber SBR, while in uniaxial tension they are superior. It is revealed that in the complex stress state, rubbers based on IR rubber filled with 40 parts by weight of carbon black N339 have low resistance to shear stresses, inferior to SBR and BR vulcanizates, which results in low strength properties of rubbers based on it in comparison with strength characteristics determined under uniaxial tension. An analysis of the strength properties of rubbers in the presence of a stress concentrator shows that in a complex stress state, rubbers based on amorphous SBR rubber have the maximum tear resistance, exceeding IR and BR vulcanizates by this indicator, respectively by ~ 4 and 2 times. Under uniaxial tension, the most important factor is the ability of the material to orientation hardening, due to the regularity of the rubber structure and the presence of reinforcing filler, and in the complex-stressed state, the most important factor is a density of the nodes of the fluctuation mesh from the point of view of strength properties.

Keywords: rubber membranes, complex stress state, uniaxial tension, strength properties, tear resistance.

REFERENCES

1. Reznichenko S.V., Morozov Yu.L. The Great reference of rubberman. V. 2. Rubber and rubber products [Bolshoy spravochnik rezinshika. V. 2. Rezini i rezinotekhnicheskie izdeliya]. M.: Publishing Center Tekhinform MAI LLC. 2012. 664 p. (rus)

2. Dick J.S. Rubber Technology: Formulation and Testing [Tecnologia rezini. Recepturostroenie I ispitanie]. SPb.: Scientific foundations and technologies. 2010. 620 p. (rus)

3. Kasperovich A.V., Shashok Zh.S., Vishnevsky K.V. Rubber products technology [Tecnologia rezinovich izdelii]. Minsk: BSTU. 2014. 108 p. (rus)

4. Lepetov V.A., Yurtsev L.N. Calculations and design of rubber products and industrial equipment [Rascheti i konstruirovaniye rezinovich izdelii I tehnologicheskoi ostnastki]. M.: Istek. 2009. 417p. (rus)

5. Martin J.M., Smith W.K. Production and use of rubber products [Proizvodstvo i priminenie rezi-notekhnicheskikh izdelii]. SPb.: Professia. 2006. 480 p. (rus)
6. Priss L.S. Physics of elasticity of rubber. Theory of high elasticity [Fizika uprugosti rezini. Teoriya visokoelastichnosti]. M.: Nauch.-Techn. Center "NIISHP". 2010. 364 p. (rus)
7. Khromov M.K. On the relationship of breakdown indicators during breaking with the elastic-strength properties of rubbers [Osviazi pokazateley razrucheniya pri prorive s uprugo-prochnostnymi svoystvami rezin]. Kauchy i resina. 1981. No. 8. Pp. 6–9. (rus)
8. Nesiolovskaya T.N., Kudelin D.V. An integrated approach to the design of thin-walled rubber products [Kompleksnij podhod k proektirovaniyu tonkostennih rezinovykh izdelij]. Scientific and Technical Bulletin of the Volga region. No. 2 Kazan, 2012. Pp. 229–233. (rus)
9. Nesiolovskaya T.N., Vetoshkin A.B., Kudelin D.V. Evaluation of the strength properties of thin-walled rubber products under complex-deformed conditions [Ocenka prochnostnykh svoystv tonkostennih rezinovykh izdelii v usloviakh slognodeformirovannogo sostoyaniya]. Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii. Khimia i Khimicheskaya Tekhnologia. 2012. Vol. 55. No. 7. Pp. 97–100. (rus)
10. Kaplun A.B., Morozov E.M., Olfer'eva M.A. ANSYS in the Engineer's Hands: A Practical Guide [ANSYS v rukah ingenera. Prakticheskoe rukovodstvo]. M.: Knizhny dom "Librocom". 2015. 272 p. (rus)
11. Morozov E.M., Levin V.A., Vershinin A.V. Strength analysis: Fidesis in the hands of an engineer [Prochnostnoy analiz. FIDESYS v rukah ingenera]. M.: Lenand. 2015. 408 p. (rus)
12. Zolochovsky A.A., Becker A.A. Introduction to ABAQUS [Vvedenie v ABAQUS]. Teaching aid. Kharkiv. 2011. 49 p. (rus)
13. Khennane A. Introduction to Finite Element Analysis Using MATLAB and Abaqus. CRC Press. 2013. 487 p. DOI: 10.1201/b15042
14. Yeoh O.H. Some Forms of the Strain Energy Function for Rubber. Rubber Chemistry and Technology. 1993. Vol. 66. Pp. 754–771.
15. Kaliske M. On the Finite Element Implementation of Rubber-like Materials at Finite Strains. Engineering Computations. 1997. Vol. 14. No. 2. Pp. 216–232.
16. Gokhale Nitin S., Deshpande Sanjay S., Bedekar Sanjeev V. Practical Finite Element Analysis. Finite To Infinite. 2008. 446 p.
17. Selvadurai A.P.S. Deflections of a rubber membrane. Journal of the Mechanics and Physics of Solids. 2006. V. 54, No. 6. Pp. 1093–1119. DOI: 10.1016/j.jmps.2006.01.001
18. Truesdell C., Noll W. The Non-Linear Field Theories of Mechanics. 3rd edition. Berlin – Heidelberg – New York: Springer-Verlag. 2004. XXIX. 602 p. DOI: 10.1007/978-3-662-10388-3
19. Kaang Shinyoung, Jin Young Woong, Huh Yang-il, Lee Wan-Jin, Im Wan Bin. A test method to measure fatigue crack growth rate of rubbery materials. Polymer Testing. 2006. V. 25. No. 3. Pp. 347–352. DOI: 10.1016/j.polymertesting.2005.12.005
20. Bertram A. Elasticity and Plasticity of Large Deformations: An Introduction Springer-Verlag Berlin. 3rd edition. 2012. 345 p. DOI: 10.1007/978-3-642-24615-9
21. Potapova L.B., Yarcev V.P. Mechanics of materials under biaxial stress state. How are ultimate stresses predicted? [Mechanika materialov pri slognom napryajennom sostoyanii. Kak predskazivaut predelnye napryajeniya?]. M.: Engineering Publishing House-1. 2005. 244 p. (rus)

Information about the authors

Kudelin, Dmitriy V. Postgraduate student. E-mail: kvmbaikal@yandex.ru. R&D Center "Intire" LLC. Russia, 150003, Yaroslavl, st. Sovetskaya, 81.

Nesiolovskaya, Tatiana N. DSc, Professor. E-mail: nesiolovskayatn@ystu.ru. Yaroslavl State Technological University. Russia, 150023, Yaroslavl, Moskovsky av., 88.

Received in November 2019

Для цитирования:

Куделин Д.В., Несиоловская Т.Н. Влияние условий испытаний на прочностные свойства тонкостенных резиновых изделий // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2020. № 1. С. 78–84. DOI: 10.34031/2071-7318-2020-5-1-78-84

For citation:

Kudelin D.V., Nesiolovskaya T.N. Influence of test conditions on strength properties of thin-wall rubber products. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2020. No. 1. Pp. 78–84. DOI: 10.34031/2071-7318-2020-5-1-78-84

МАШИНОСТРОЕНИЕ И МАШИНОВЕДЕНИЕ

DOI: 10.34031/2071-7318-2020-5-1-85-94

¹Посыпкин М.А., ²Халапян С.Ю., ³Маслова И.В., ³Мамаев В.А., ^{3,*}Вирабян Л.Г.¹Федеральный исследовательский центр "Информатика и управление" РАН²Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова НИТУ МИСиС³Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

*E-mail: mila.kholoshevskaya@mail.ru

АНАЛИЗ И КЛАССИФИКАЦИЯ РЕАБИЛИТАЦИОННЫХ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ НА БАЗЕ ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ МАНИПУЛЯТОРОВ

Аннотация. Одна из самых актуальных и сложных проблем медицины и неврологии – реабилитация больных. Роботизированные системы в настоящее время занимают важное место в комплексной реабилитации неврологических больных с тяжелыми двигательными нарушениями различной этиологии, а также наиболее социально значимых и распространенных неврологических заболеваний. В статье рассмотрены различные архитектуры роботизированных систем для реабилитации нижних конечностей. Также в статье проанализированы работы зарубежных ученых, которые занимаются этими вопросами. В результате чего составлена и рассмотрена классификация реабилитационных систем. Предложена структура системы реабилитации, основанная на пассивном ортезе и активном параллельном 3-PRRR роботе. Разработан численный алгоритм для определения рабочего пространства 3-PRRR робота с учётом конструктивных ограничений. Алгоритм основан на базе концепции неравномерных покрытий с использованием методов интервального анализа и реализован на языке программирования C++. Представлены результаты вычислительных экспериментов. Визуализация результатов моделирования осуществлена путем преобразования множества трехмерных параллелепипедов в файл STL. Однако остается много областей, открытых для теоретических исследований. Дальнейшим направлением исследований является оптимизация геометрических параметров системы для проведения реабилитационных процедур.

Ключевые слова: параллельный робот, роботизированная система, реабилитация, рабочая область.

Введение. Одна из самых актуальных и сложных проблем медицины и неврологии – реабилитация больных. Количество людей, которые нуждаются в реабилитации растет с каждым днем. Одной из основных причин является инсульт, который происходит из-за поражения головного мозга, травмы спинного мозга (SCI), повреждения позвоночника, инвалидности, вызванной развитием острого вялого паралича и т. д. Кроме того, инсульт является одним из причин смерти вследствие болезни коронарной артерии, и является самой распространенной причиной появления хронической инвалидности у взрослых. Риск инсульта после 55 лет составляет 1 из 5 для женщин и 1 из 6 для мужчин [1]. Более 80 % инсультов происходят в развивающихся странах. Каждый год в мире эта патология поражает около 16 млн человек, из них 5,7 млн умирают, и столько же становятся инвалидами. В Российской Федерации (40–50 %) 1-е место в структуре патологии занимает инсульт, являющийся причиной инвалидности. К сожалению, только 20 % лиц, перенесших инсульт,

возвращаются к труду. При этом потери государства от одного больного, получившего инвалидность, составляют порядка 1247000 рублей в год. Это обуславливает важность проблемы профилактики данного заболевания и реабилитации больных, перенесших инсульт. В результате различных факторов, приводящих к нарушению функционирования конечностей, должен быть обеспечен реабилитационный процесс с целью восстановления нормального функционирования деятельности конечностей. Реабилитационные терапевтические методы лечения имеют свою специфику в лечении верхних и нижних конечностей. Лечение верхних конечностей фокусируется на восстановлении ручного нерва, мышечного действия и развиваемой силы, в то время как лечение нижних конечностей фокусируется на различных движениях суставов ног и их синхронных движениях. Следует учитывать ряд социальных аспектов при реабилитации: особенности личности пациента, его окружающей среды, психологические проблемы в семье из-за болезни, оснащение средствами для самостоятельного ориентирования

пациента, финансовые затраты, взаимодействие в системе человек-машина [2].

Для решения этой проблемы роботизированные технологии в области реабилитации значительно продвинулись. За последние годы роботизированные системы для реабилитации были постепенно исследованы и разработаны. Основной задачей которых является помощь физиотерапевтам в ходе терапии, повысить качество и эффективность процесса. Эффективность использования роботов в реабилитации была показана с клиническими результатами [3-

5]. В целом существует две основные классификации программ реабилитации: терапевтические методы и терапевтические упражнения. В то время как цель терапевтических методов заключается в устранении последствий боли, спазма и отеков, конечная цель терапевтических упражнений состоит в том, чтобы вернуть пострадавшего пациента в состояние здоровья и способности к движению.

Реабилитационные роботы можно разделить на три группы (рис. 1).

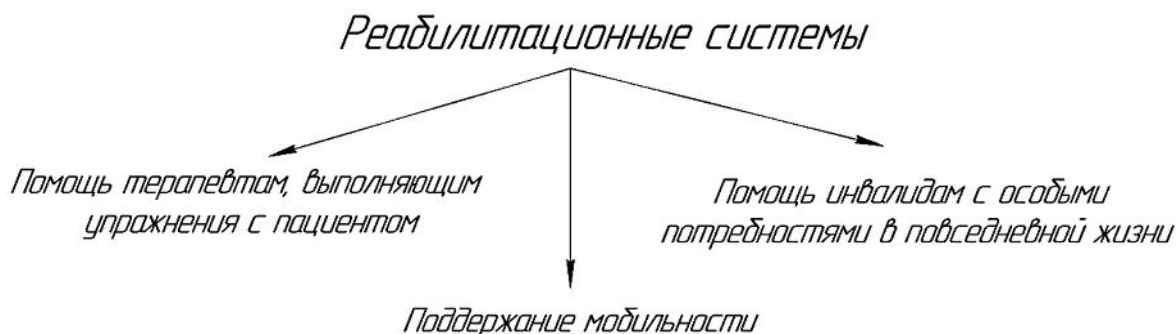


Рис. 1. Классификация реабилитационных систем

За последние десятилетия было разработано большое количество механизмов, которые направлены на реабилитационное лечение, восстановление способности ходить у пациентов, перенесших инсульт. К таким механизмам относятся серийно выпускаемые устройства для реабилитации Motion maker (Швейцария), и находящиеся на стадии разработки механизмы Lambda, профессиональный тренажер Supine, NEUROBike, AIST-Tsukuba [10], HapticWalker.

Стационарная программируемая тестовая и тренировочная система для нижних конечностей была представлена швейцарскими учеными К. Шмитт, П. Метрейлер и др. и производится компанией Swortec S.A., Швейцария [6]. Это устройство называется «MotionMaker™» (рис. 2). Оно состоит из двух ортезов с 3-мя степенями свободы, состоящих из двигателей и датчиков, блока управления, управляющего электростимуляцией, и двигателей с регулированием в реальном времени, многоканального электростимулятора и рабочего стола. Ортез представляет собой экзоскелет, расположенный на внешней стороне ноги. В него входят три сустава: бедро, колено и лодыжка. Кривошипно-шатунные системы, приводимые в действие винтовым домкратом, управляемым двигателем постоянного тока, приводят в движение каждое совместное движение. Это позволяет людям SCI поддерживать или совершать движения ног с желаемыми характеристиками положения, скорости и крутящего момента. Целью является эф-

фективное укрепление мышц, развитие выносливости, а также подвижность суставов и координация движений.



Рис. 2. MotionMaker™ прототип

Предложена [7] новая концепция ортеза на основе Lambda. Эта структура представляет собой параллельную кинематику, которая основана на двух поступательных сочленениях и одном вращательном для мобилизации голеностопного сустава. Кинематика Lambda полностью обеспечивает движение нижних конечностей. Это означает, что бедро, колено и лодыжка могут быть удобно мобилизованы для проведения реабилитации, фитнеса или спортивных тренировок. Эта новая концепция основана на параллельной кинематической конструкции, которая имеет два основных преимущества: простота конструкции и жесткость (рис. 3).

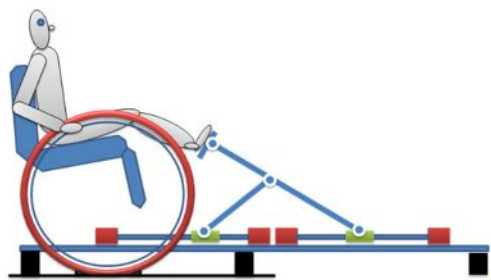


Рис. 3. Структура робота Lambda



Рис. 4. Механическая структура тренажера Supine:

1 – звено бедра; 2 – тазобедренный привод; 3 – коленный привод; 4 – звено голени; 5 – TBT привод; 6 – МТР привод; 7 – платформа для ступни

Тренировочное устройство Supine Gait [8] (рис. 4) – это устройство, позволяющее пациентам с ранним состоянием начать раннее и безопасное восстановление, для более быстрого выздоровления и улучшения функциональных результатов. Устройство состоит из нескольких компонентов; механическая система, которая обеспечивает основную структуру, исполнительные механизмы, которые перемещают структуру, датчики, которые обеспечивают обратную связь, поверхностные датчики EMG, которые обеспечивают биологическую обратную связь, и контроллер операционной системы реального времени (RTOS), который координирует все компоненты.

На рис. 5 представлена роботизированная платформа NEUROBike [9], разработанная для обеспечения нейрореабилитации и восстановления способности ходить у лежачих пациентов после инсульта. NEUROBike может позволить им начать выполнять упражнения на ранней стадии в зависимости от тяжести патологии. С другой стороны, NEUROBike предлагает интенсивные методы лечения, которые могут выявить функциональные двигательные схемы, сравнимые с теми, которые задействованы во время повседневной деятельности (например, ходьба, сидение).

Универсальный роботизированный тренажер для ходьбы HapticWalker [11], основанный на принципе программируемых опорных плит, который позволяет тренировать произвольные

ситуации ходьбы и траектории движения ног (например, даже по земле, подъему / спуску по лестнице, возмущениям, таким как спотыкание / спотыкание, скольжения). HapticWalker (рис. 6) разработан для того, чтобы терапевты имели доступ к пациенту для физического контакта во время тренировки со всех сторон, а также для удобства перемещения пациента в машину, поскольку они обычно привязаны к инвалидному креслу. Полностью рабочий прототип был успешно разработан и построен, и в настоящее время он проходит клинические испытания.

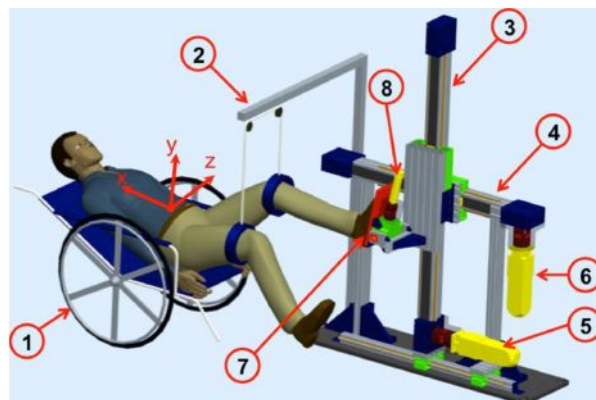


Рис. 5. 3-D модель NEUROBike:

1 – сиденье; 2 – рама для шкивов, 3 и 4 – линейные направляющие, обеспечивающие соответственно вертикальные и горизонтальные движения стопы, имеющие соответствующие им вентильными двигателями (5 и 6), 7 – выходное звено, имеющее двигатель для вращательного движения ступни (8)



Рис. 6. Робот-симулятор ходьбы для реабилитации походки Haptic Walker

В статье предложена новая архитектура роботизированной системы для реабилитации нижних конечностей (рис. 7). Устройство состоит из двух механизмов, в том числе пассивного ортеза и активного параллельного робота [12, 13].



Рис. 7. Концептуальный проект системы реабилитации нижних конечностей

На рис. 8 представлен параллельный робот, предложенный Конгом и Гуссленом [14] известный как «Изогляйд». Он имеет три степени свободы – поступательные движение вдоль каждой из осей. Механизм состоит из трёх кинематических цепей $A_i B_i C_i D_i$. Положение реабилитационной платформы, представляющей собой равносторонний треугольник $D_1 D_2 D_3$ с центром в точке P и радиусом описанной окружности R определяется линейными перемещениями $\mathbf{q} = (q_1 q_2 q_3)$. Введём следующие обозначения: a_i – расстояние между точками A_i и B_i , b_i – между B_i и C_i , c_i – между C_i и D_i , d_i – между B_i и D_i .

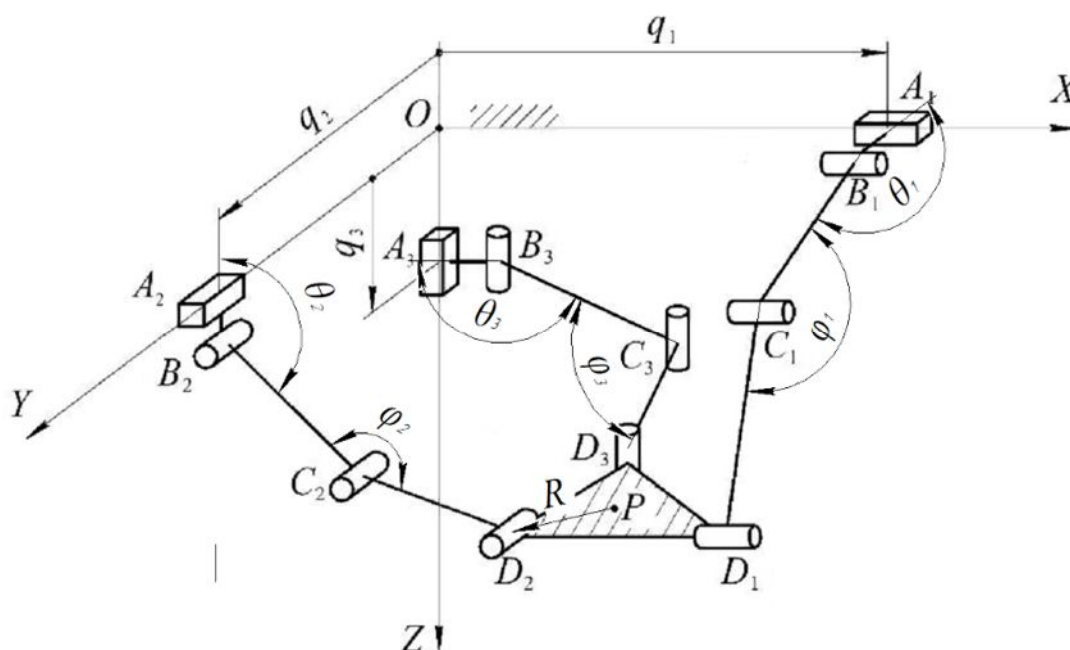


Рис. 8. Расчётная схема реабилитационного механизма

В процессе реабилитации нужно обеспечить следующие углы в тазобедренном, коленном и голеностопном суставе при имитации ходьбы: 1 фаза шага – сгибание в тазобедренном суставе от 0° до 20° , сгибание в коленном суставе от 0° до 60° , разгибание в голеностопном суставе от 0° до 10° ; 2 фаза – 0° , 0° и 90° соответственно; 3 фаза – разгибание в тазобедренном суставе от 0° до 10° , в коленном суставе 0° , сгибание в голеностопном суставе от 0° до 20° . Определим рабочую зону параллельного механизма типа «Изогляйд» для обеспечения движения пассивного ортеза в пределах рабочей зоны в соответствии с клиническими данными при имитации ходьбы.

Для определения рабочей области будем использовать концепцию неравномерных покрытий с использованием методов интервального анализа. При анализе рабочей зоны необходимо учитывать конструктивные ограничения. Для

рассматриваемого механизма можно выделить следующие:

- ограничения на приводные координаты $\mathbf{q}$: $q_i \in [q_{min}; q_{max}]$;
- ограничения на углы поворота в шарнирах B_i и C_i : $\varphi_i \in [\varphi_{min}; \varphi_{max}]$, $\theta_i \in [\theta_{min}; \theta_{max}]$.

Определим приводные координаты и углы поворота в шарнирах B_i и C_i для определённых координат точки центра P платформы $D_1 D_2 D_3$.

Запишем интервалы, которые описывают диапазоны изменения координат точки P :

$$X_P := [\underline{X}_P, \overline{X}_P] = \{X_P \leq x_P \leq \overline{X}_P\}$$

$$Y_P := [\underline{Y}_P, \overline{Y}_P] = \{Y_P \leq y_P \leq \overline{Y}_P\}$$

$$Z_P := [\underline{Z}_P, \overline{Z}_P] = \{Z_P \leq z_P \leq \overline{Z}_P\}$$

Определим значения координат точек D_i и приводных координат q_i :

$$D_1 = \begin{bmatrix} x_P + \frac{\sqrt{3}}{2}R \\ y_P + \frac{R}{2} \\ z_P \end{bmatrix}, \quad D_2 = \begin{bmatrix} x_P - \frac{\sqrt{3}}{2}R \\ y_P + \frac{R}{2} \\ z_P \end{bmatrix}, \quad D_3 = \begin{bmatrix} x_P \\ y_P - R \\ z_P \end{bmatrix}$$

Запишем интервалы, которые описывают диапазоны изменения приводных координат:

$$Q_i := [\underline{Q}_i, \overline{Q}_i] = \{Q_i \leq q_i \leq \overline{Q}_i\}$$

Приводные координаты q_i определяются как

$$q_1 = x_{D1} = x_P + \frac{\sqrt{3}}{2}R, \quad (1)$$

$$q_2 = y_{D2} = y_P + \frac{R}{2}, \quad (2)$$

$$q_3 = z_{D3} = z_P. \quad (3)$$

Запишем интервалы, которые описывают диапазоны изменения углов φ_i :

$$\Phi_i := [\underline{\Phi}_i, \overline{\Phi}_i] = \{\Phi_i \leq \varphi_i \leq \overline{\Phi}_i\}$$

Углы φ_i согласно теореме косинусов вычислим как

$$\varphi_i = \cos^{-1} \left(\frac{b^2 + c^2 - d_i^2}{2bc} \right), \quad \varphi_i \in [0; \pi]. \quad (4)$$

Где d_i определяются как

$$d_1 = \sqrt{\left(y_P + \frac{R}{2} - a\right)^2 + (z_P)^2},$$

$$d_2 = \sqrt{\left(x_P - \frac{\sqrt{3}}{2}R\right)^2 + (z_P - a)^2},$$

$$d_3 = \sqrt{(x_P - a)^2 + (y_P - R)^2}$$

Запишем интервалы, которые описывают диапазоны изменения углов θ_i :

$$\Theta_i := [\underline{\Theta}_i, \overline{\Theta}_i] = \{\Theta_i \leq \theta_i \leq \overline{\Theta}_i\}$$

Учитывая, что точки C_i являются точками пересечения окружностей с радиусами b и c и центрами в точках B и D соответственно, косинусы углов определим как

$$\theta_1 = \cos^{-1} \left(\frac{z_P \sqrt{b^2 - s_1^2} - s_1(y_{D1} - a)}{d_1 b} \right), \quad \theta_1 \in [0; 2\pi] \quad (5)$$

$$\theta_2 = \cos^{-1} \left(\frac{-x_{D2} \sqrt{b^2 - s_2^2} - s_2(z_P - a)}{d_2 b} \right), \quad \theta_2 \in [0; 2\pi] \quad (6)$$

$$\theta_3 = \cos^{-1} \left(\frac{-y_{D3} \sqrt{b^2 - s_3^2} - s_3(x_{D3} - a)}{d_3 b} \right), \quad \theta_3 \in [0; 2\pi] \quad (7)$$

где $s_i = \frac{b^2 - c^2 + d_i^2}{2d_i}$.

Уравнения (1–7) позволяют определить значения геометрических параметров, определяющих ограничения рабочей области.

Для решения задачи аппроксимации нелинейных неравенств с учётом формул (1–7) синтезирован алгоритм, который показан представлен на рис. 9. Он работает с двумя списками трёхмерных параллелепипедов $\mathbb{P}$ и $\mathbb{P}_I$. Каждое из измерений параллелепипедов соответствует координатам x_P, y_P, z_P центра подвижной платформы P .

Алгоритм работает следующим образом:

1. Задать геометрические параметры робота и точность аппроксимации δ .

2. На первом шаге алгоритма список внутренней аппроксимации $\mathbb{P}_I$ пуст, список $\mathbb{P}$ состоит только из одного параллелепипеда Q , включающего интервалы X_P, Y_P и Z_P : $X_{P3} = Y_{P3} = Z_P = [q_{min} - 2R, q_{max} + 2R]$.

3. Извлечь из списка $\mathbb{P}$ параллелепипед B .

4. Если $d(B) < \delta$, то B добавить к списку $\mathbb{P}_I$ и перейти к шагу 13.

5. Вычислить $Q_i, i \in 1, 3$ по формулам (1-3).

6. Если $\underline{Q}_i > q_{max}$ или $\overline{Q}_i < q_{min}$, то перейти к шагу 13.

7. Вычислить $\Phi_i, i \in 1, 3$ по формуле (4).

8. Если $\underline{\Phi}_i > \varphi_{max}$ или $\overline{\Phi}_i < \varphi_{min}$, то перейти к шагу 13.

9. Вычислить $\Theta_i, i \in 1, 3$ по формуле (5-7).

10. Если $\underline{\Theta}_i > \theta_{max}$ или $\overline{\Theta}_i < \theta_{min}$, то перейти к шагу 13.

11. Если $\underline{Q}_i \geq q_{min}, \overline{Q}_i \leq q_{max}, \underline{\Phi}_i \geq \varphi_{min}, \overline{\Phi}_i \leq \varphi_{max}, \underline{\Theta}_i \geq \theta_{min}$ и $\overline{\Theta}_i \leq \theta_{max}$, то B внести в конец списка $\mathbb{P}_I$ и перейти к шагу 13

12. Разделить B на два равных параллелепипеда вдоль ребра с наибольшей длиной. Данные параллелепипеды внести в конец списка $\mathbb{P}$.

13. Если $\mathbb{P} \neq \emptyset$, то перейти к шагу 3.

Алгоритм реализован на языке программирования C++ с использованием библиотеки интервального анализа Snowgoose [15, 16]. В условиях однократного вхождения переменных в выражение для уравнений (1–4) интервальные оценки совпадают с экстремумами функции на параллелепипеде. Для уравнений (5–7) имеет место многократное вхождение переменных, поэтому для них интервалы определялись с использованием равномерной сетки. Визуализация результатов моделирования осуществляется посредством преобразования списка параллелепипедов $\mathbb{P}_I$ в универсальный формат 3D-моделей - stl-файл.

Был проведён вычислительный эксперимент для следующих геометрических параметров механизма: $a = 50$ мм, $b = c = 500$ мм, $q_{min} = 0$ мм, $q_{max} = 100$ мм, $\varphi_{min} = \theta_{min} = 10^\circ$ мм,

$\varphi_{max} = \theta_{max} = 170^\circ$. Результаты моделирования представлены на рис. 10. Время вычисления для точности аппроксимации $\delta = 1$ мм на персональном компьютере составило 1 минуту 24 секунды

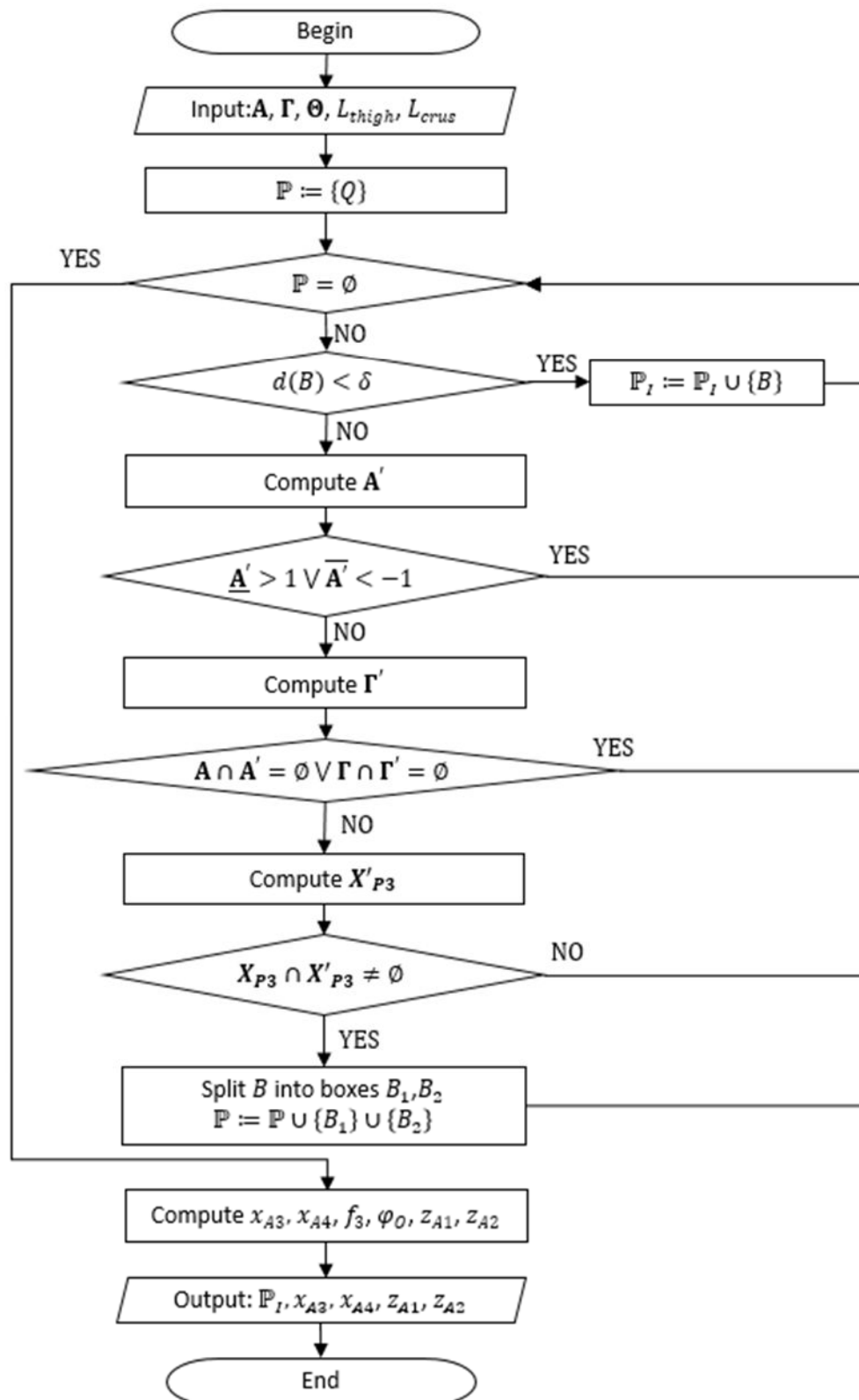


Рис. 9. Блок-схема алгоритма определения рабочей области и оптимизации геометрических параметров

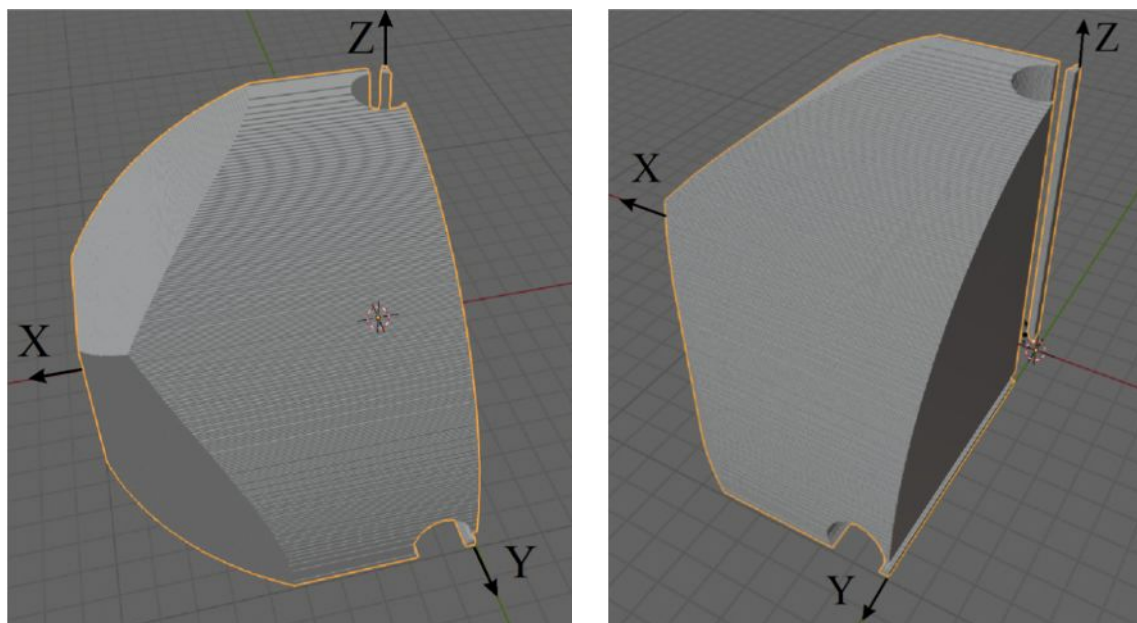


Рис. 10. Результаты моделирования

Выводы. Таким образом, роботизированные системы в настоящее время занимают важное место в комплексной реабилитации неврологических больных с тяжелыми двигательными нарушениями различной этиологии. Большинство авторов, применяющих роботизированную механизированную нейрореабилитацию, отмечают, что тренировки на этой системе ни в коем случае не заменяют традиционную лечебную гимнастику и должны применяться в комплексе с другими методами реабилитации. В статье рассмотрены различные архитектуры роботизированных систем для реабилитации нижних конечностей. Предложена структура системы реабилитации, основанная на пассивном ортезе и активном параллельном 3-PRRR роботе. Для предложенной системы реабилитации нижних конечностей разработаны и апробированы эффективные численные методы и алгоритмы, которые позволили определить рабочую зону. Время вычисления для точности аппроксимации $\delta=1$ мм на персональном компьютере составило 1 минуту 24 секунды. Дальнейшим направлением исследований является оптимизация геометрических параметров системы для проведения реабилитационных процедур.

Источник финансирования. РНФ, Соглашение № 19-19-00692

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Seshadri S., Beiser A., Kelly-Hayes M., Kase C.S., Au R., Kannel W.B. The lifetime risk of stroke: Estimates from the Framingham study // *Stroke*. 2006. Vol. 37. Pp. 345–350.
2. Carbone G. et al. (Eds.): *New Trends in Medical and Service Robotics*, MMS 65, Pp. 293–302, 2019. https://doi.org/10.1007/978-3-030-00329-6_33
3. Toth A., Fazekas G., Arz G., Jurak M., Horvath M. Passive robotic movement therapy of the spastic hemiparetic arm with REHAROB: report of the first clinical test and the follow-up system improvement, in *Rehabilitation Robotics*, 2005. ICORR 2005. 9th International Conference on, 2005, Pp. 127–130.
4. Bernhardt M., Frey M., Colombo G., Riener R. Hybrid force-position control yields cooperative behaviour of the rehabilitation robot LOKOMAT, in *Rehabilitation Robotics*, 2005. ICORR 2005. 9th International Conference on, 2005, Pp. 536–539.
5. Homma K., Fukuda O., Nagata Y., Usuba M. Study of a wire-driven leg rehabilitation system, in *Intelligent Robots and Systems*, 2004. (IROS 2004). Proceedings. 2004 IEEE/RSJ International Conference on. 2004. Vol. 2. Pp. 1668–1673.
6. Schmitt C., Metrailler P., Al-Khodairy A. The Motion Maker: A rehabilitation system combining an orthosis with closed-loop electrical muscle stimulation // *Proc. of the 8th Vienna International Workshop on Functional Electrical Stimulation*. 2004. Pp. 117–120.
7. Bouri M., Le Gall B., Clavel R. A new concept of parallel robot for rehabilitation and fitness: The Lambda // *IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics*. 2009. Pp. 2503–2508.
8. Lim F.M., Foong R., Yu H. A supine gait training device for stroke rehabilitation // *The 15th International Conference on Biomedical Engineering. IFMBE Proceedings*. 2014. Vol. 43. Pp. 512–515.
9. Monaco V., Galardi G., Coscia M., Martelli D., Micera S. Design and evaluation of NEU-

ROBike: A neurorehabilitative platform for bedridden post-stroke patients // IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering. 2012. Vol. 20. Pp. 845-852.

10. Homma K., Fukuda O., Sugawara J., Nagata Y., Usuba M. A wire-driven leg rehabilitation system: Development of a 4-dof experimental system // Proceedings of the International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics. 2003. Pp. 908-913.

11. Schmidt H., Werner C., Bernhardt R., Hesse S. and Krüger J. Gait rehabilitation machines based on programmable footplates // Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation. 2007.

12. Rybak L.A., Khalapyan S.Y., Malyshev D.I. Optimization of the trajectory of movement of a parallel robot based on a modified ACO algorithm // 13th International Conference on Mechanical Engineering, Automation and Control Systems (MEACS) IOP Conference Series-Materials Science and Engineering. 2019. Vol. 560. DOI: 10.1088/1757-899X/560/1/012036.

13. Rybak L.A., Gaponenko E.V., Malyshev D.I., Virabyan L.G. The algorithm for planning the

trajectory of the 3-RPR robot, taking into account the singularity zones based on the method of non-uniform covering // 30th International Conference of Young Scientists and Students - Topical Problems of Mechanical Engineering (TopME) IOP Conference Series-Materials Science and Engineering 2019. Vol. 489

14. Kong X., Gosselin C.M. Kinematics and singularity analysis of a novel type of 3-CRR 3 DOF translational parallel manipulator. The International Journal of Robotics Research 21(9), 2002, Pp. 791-798.

15. Posypkin Mikhail, Usov Alexander. Basic numerical routines, 2018 (accessed August 21, 2019). URL: <https://github.com/mposypkin/snowgoose>.

16. Рыбак Л.А., Бехера Л., Малышев Д.И., Виравян Л.Г. Аппроксимация рабочей области манипуляторов параллельной и последовательной структуры в составе мультироботизированной системы // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2019. № 8. С. 121-128.

Информация об авторах

Посыпкин Михаил Анатольевич, доктор физико-математических наук, профессор, заведующий кафедрой. E-mail: mposypkin@gmail.com. Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление» Российской Академии Наук. 109028, г. Москва, Покровский бульвар, д. 11 корпус S кабинет S 803.

Халапьян Сергей Юрьевич, кандидат технических наук, доцент кафедры автоматизированных и информационных систем управления. E-mail: khalapyan@yandex.ru. Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова НИТУ МИСиС. Россия, 309516, Старый Оскол, Белгородская обл., микрорайон им. Макаренко, д. 42.

Маслова Ирина Викторовна, кандидат технических наук, доцент. E-mail: iren_mas@list.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Мамаев Виталий Александрович, бакалавр. E-mail: rl_bgtu@intbel.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Виравян Лусине Гарниковна, аспирант кафедры технологии машиностроения. E-mail: lvg181992@mail.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Поступила в декабре 2019 г.

© Посыпкин М.А., Халапьян С.Ю., Маслова И.В., Мамаев В.А., Виравян Л.Г., 2020

¹Posypkin M.A., ²Khalapyan, S.Y., ³Maslova I.V., ³Mamaev V.A., ^{3,*}Virabyan L.G.

¹Federal Research Center «Computer Science & Control» of RAS

²Stary Oskol Technological Institute n.a. A.A. Ugarov NUST MISiS

³Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov

*E-mail: mila.kholoshevskaya@mail.ru

ANALYSIS AND CLASSIFICATION OF REHABILITATION ROBOTIC SYSTEMS BASED ON PARALLEL MANIPULATORS

Abstract. One of the most actual and complex problems of medicine and neurology is the rehabilitation of patients. Robotic systems currently occupy an important place in the comprehensive rehabilitation of neurological patients with severe motor impairment of various etiologies, as well as the most socially significant

and common neurological diseases. The article discusses various architectures of robotic systems for the rehabilitation of the lower limbs. The article also analyzes the work of foreign scientists who deal with these issues. As a result, a classification of rehabilitation systems has been compiled and reviewed. The structure of the rehabilitation system based on a passive orthosis and active parallel 3-PRRR robot is proposed. A numerical algorithm has been developed to determine the workspace of a 3-PRRR robot, taking into account design limitations. The algorithm is based on the concept of non-uniform coverings using interval analysis methods and is implemented in the C++ programming language. The results of computational experiments are presented. The simulation results are visualized by converting a set of three-dimensional parallelepipeds into an STL file. However, many areas remain open to theoretical research. A further area of research is the optimization of the geometric parameters of the system for carrying out rehabilitation procedures.

Keywords: parallel robot, robotic system, rehabilitation, workspace.

REFERENCES

1. Seshadri S., Beiser A., Kelly-Hayes M., Kase C.S., Au R., Kannel W.B. The lifetime risk of stroke: Estimates from the Framingham study. *Stroke*. 2006. Vol. 37. Pp. 345–350.
2. Carbone G. et al. (Eds.) *New Trends in Medical and Service Robotics*, MMS 65, 2019. Pp. 293–302, https://doi.org/10.1007/978-3-030-00329-6_33
3. Toth A., Fazekas G., Arz G., Jurak M., Horvath M. Passive robotic movement therapy of the spastic hemiparetic arm with REHAROB: report of the first clinical test and the follow-up system improvement. *Rehabilitation Robotics*, 2005. ICORR 2005. 9th International Conference on, 2005, Pp. 127–130.
4. Bernhardt M., Frey M., Colombo G., Riener R. Hybrid force-position control yields cooperative behaviour of the rehabilitation robot LOKOMAT. *Rehabilitation Robotics*, 2005. ICORR 2005. 9th International Conference on, 2005. Pp. 536–539.
5. Homma K., Fukuda O., Nagata Y., Usuba M. Study of a wire-driven leg rehabilitation system. *Intelligent Robots and Systems*, 2004. (IROS 2004). Proceedings. 2004 IEEE/RSJ International Conference on, 2004, Vol. 2. Pp. 1668–1673.
6. Schmitt C., Metrailler P., Al-Khodairy A. The Motion Maker: A rehabilitation system combining an orthosis with closed-loop electrical muscle stimulation. *Proc. of the 8th Vienna International Workshop on Functional Electrical Stimulation*. 2004. Pp. 117–120.
7. Bouri M., Le Gall B., Clavel R. A new concept of parallel robot for rehabilitation and fitness: The Lambda. *IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics*. 2009. Pp. 2503–2508.
8. Lim F.M., Foong R., Yu H. A supine gait training device for stroke rehabilitation. *The 15th International Conference on Biomedical Engineering. IFMBE Proceedings*. 2014. Vol. 43. Pp. 512–515.
9. Monaco V., Galardi G., Coscia M., Martelli D., Micera S. Design and evaluation of NEURO-Bike: A neurorehabilitative platform for bedridden post-stroke patients. *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*. 2012. Vol. 20. Pp. 845–852.
10. Homma K., Fukuda O., Sugawara J., Nagata Y., Usuba M. A wire-driven leg rehabilitation system: Development of a 4-dof experimental system. *Proceedings of the International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics*. 2003. Pp. 908–913.
11. Schmidt H., Werner C., Bernhardt R., Hesse S., Krüger J. Gait rehabilitation machines based on programmable footplates. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*. 2007.
12. Rybak L.A., Khalapyan S.Y., Malyshev D.I.: Optimization of the trajectory of movement of a parallel robot based on a modified ACO algorithm. *13th International Conference on Mechanical Engineering, Automation and Control Systems (MEACS) IOP Conference Series-Materials Science and Engineering*. 2019. Vol. 560. DOI: 10.1088/1757-899X/560/1/012036.
13. Rybak L.A., Gaponenko E.V., Malyshev, D.I., Virabyan L.G. The algorithm for planning the trajectory of the 3-RPR robot, taking into account the singularity zones based on the method of non-uniform covering. *30th International Conference of Young Scientists and Students - Topical Problems of Mechanical Engineering (TopME) IOP Conference Series-Materials Science and Engineering* 2019. Vol. 489 DOI: 10.1088/1757-899X/489/1/012060.
14. Kong X., Gosselin C.M. Kinematics and singularity analysis of a novel type of 3-CRR 3 DOF translational parallel manipulator. *The International Journal of Robotics Research* 21(9), 2002, Pp. 791–798.
15. Posypkin Mikhail, Usov Alexander. Basic numerical routines, 2018 (accessed August 21, 2019). URL: <https://github.com/mposypkin/snowgoose>.
16. Rybak L.A., Behera L., Malyshev D.I., Virabyan L.G. Approximation of the workspace of parallel and serial structure manipulators as part of the multi-robot system. [Аппроксимация рабочего пространства манипуляторов параллельной и последовательной структур в составе мультироботизированной системы] *Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov*. 2019. No.8. Pp. 121–128. DOI:10.34031/article_5d4d6bfa2aa2a2.09768681 (rus)

Information about the authors

Posypkin, Mikhail A. DSc, Professor. E-mail: mposypkin@gmail.com. Federal Research Center «Computer Science & Control» of RAS, 109028, Moscow, Pokrovsky Boulevard, building 11, building S cabinet S 803.

Khalapyan, Sergey Y. PhD, Assistant professor. E-mail: khalapyan@yandex.ru. Sary Oskol Technological Institute n.a. A.A. Ugarov NUST MISiS. Russia, 309516, Sary Oskol, Belgorod region, microdistrict them. Makarenko, d. 42.

Maslova, Irina V. PhD, Assistant professor. E-mail: iren_mas@list.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Mamaev, Vitaly A. Bachelor student. E-mail: rl_bgtu@intbel.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Virabyan, Lusine G. Postgraduate student. E-mail: lvg181992@mail.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Received in Desember 2019

Для цитирования:

Посыпкин М.А., Халапян С.Ю., Маслова И.В., Мамаев В.А., Вирабян Л.Г. Анализ и классификация реабилитационных робототехнических систем на базе параллельных манипуляторов // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2020. № 1. С. 85–94. DOI: 10.34031/2071-7318-2020-5-1-85-94

For citation:

Posypkin M.A., Khalapyan S.Y., Maslova I.V., Mamaev V.A., Virabyan L.G. Analysis and classification of rehabilitation robotic systems based on parallel manipulators. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2020. No. 1. Pp. 6–94. DOI: 10.34031/2071-7318-2020-5-1-85-94

DOI: 10.34031/2071-7318-2020-5-1-95-100

¹Уваров В.А., ²Кайтуков Б.А., ^{2,*}Скель В.И.¹Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова²Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет

*E-mail: SkelVI@mgsu.ru

ГИДРАВЛИЧЕСКИЕ ЭКСКАВАТОРЫ И КРАНЫ С МОДУЛЬНЫМИ МЕХАНИЗМАМИ ПРИВОДА

Аннотация. Рассмотрена проблема ограничения типоразмерного ряда механизмов привода гидравлических экскаваторов и самоходных стреловых кранов при широкой унификации их элементов. Такой подход позволяет повысить серийность продукции, снизить издержки при проектировании и производстве, повышает долговечность машин и сокращает сроки освоения новой техники. Проведен анализ производства отечественных экскаваторов и кранов, который представлен в табличном варианте и последовательностью логических шагов, позволяющих обеспечить системный подход к разработке рациональных конструкций гидравлических экскаваторов и кранов. Анализ показал, что целесообразно провести унификацию на модульном принципе формирования некоторых сборочных единиц и, в первую очередь, опорно-поворотных механизмов этих машин. Предложена методика унификации механизмов поворота и лебедок экскаваторов и кранов на основе унифицированных планетарных гидромеханических блок-модулей. Создание гидравлических экскаваторов и кранов с унифицированными планетарными гидромеханическими механизмами позволяет снизить эксплуатационные затраты и повысить качество механизмов привода экскаваторов и кранов, приводит к снижению себестоимости и трудоемкости изготовления. Унификация на модульном принципе и последующая кооперация деталей, агрегатов и сборочных единиц позволяет расширить возможности по наращиванию объемов производства, обеспечивает межвидовую унификацию их основных элементов.

Ключевые слова: гидравлический экскаватор, кран, механизм поворота, механизм лебедки, унификация, блок-модуль, планетарная передача, гидромотор.

Введение. Экскаваторы предназначены для землеройных работ. Они широко используются в промышленном, дорожном, аэродромном и гидротехническом строительстве. По типу силовых передач движения от двигателя к рабочему механизму экскаваторы делятся на гидравлические и механические. Полноповоротные гидравлические экскаваторы – универсальные землеройные машины, базовая часть которых включает ходовую тележку с нижней рамой, опорно-поворотное устройство и поворотную платформу с расположенными на ней насосно-силовой установкой, узлами гидравлической системы привода и кабиной машиниста. В приводе поворотной платформы используют механизмы, состоящие из гидромотора, редуктора и открытой зубчатой пары – шестерни выходного вала редуктора и зубчатого венца опорно-поворотного устройства.

При погрузочно-разгрузочных работах и монтаже широкое распространение получили стреловые самоходные краны. Они обладают хорошей маневренностью и легкостью управления, что позволяет применять их на рассредоточенных объектах. Краны состоят из следующих составных частей: базовой машины, поворотной платформы, на которой установлена стрела и смонтированы рабочие механизмы.

Экскаваторы и краны оборудованы гидравлическим приводом, коробками передач, стре-

лами, ковшами, мостами, гидроцилиндрами, механизмами поворота и грузовыми лебедками. Конструкции их являются агрегатированными, что позволяет их компоновать из унифицированных модульных механизмов. Применение унифицированных узлов и деталей является основой метода агрегатной сборки различных машин, осуществления широкой кооперации и специализации.

Такой подход позволяет повысить серийность продукции, снизить издержки при проектировании и производстве, повышает долговечность машин и сокращает сроки освоения новой техники [1, 2, 3].

Методология. В технике под унификацией понимают приведение видов продукции и средств ее производства к рациональному числу типоразмеров, марок исполнений [1, 2, 3]. Принцип создания унифицированных машин и организации их специализированного производства был положен в основу при создании гидравлических экскаваторов и кранов, еще в конце 20 века. В этот период все типоразмеры универсальных гидравлических экскаваторов выполнялись с некоторой унификацией узлов и агрегатов. Так, изготовители универсальных одноковшовых экскаваторов на пневмоколесном ходу организовывали производство ряда унифицированных сборочных единиц, что дало возможность на базе

разделения труда широкой взаимной кооперации. При этом повысилась производительность труда, уменьшилась трудоемкость и себестоимость изготовления унифицированных единиц, агрегатов и машин. При создании новых кранов была поставлена задача – на базе модульного принципа проектирования обеспечить максимальную унификацию как внутри каждого типоразмерного ряда, так и между размерными группами кранов. Для определения рациональных границ унификации после изучения конструкций отечественных кранов, их зарубежных аналогов была разработана система поузловой унификации гидравлических кранов. Эти работы обеспечили возможность относительно быстрой организации серийного производства некоторых кранов и экскаваторов.

Анализ производства отечественных кранов и экскаваторов показывает, что целесообразно провести унификацию на модульном принципе формирования некоторых сборочных единиц и, в первую очередь, опорно-поворотных механизмов этих машин. В настоящее время, в зарубежной и отечественной практике, особое значение приобретают вопросы экономии топлива, унификации элементов и повышения технического уровня, что находит отражение в появлении новых решений при разработке систем гидро-механического привода механизмов экскаваторов и кранов, повышении наибольшего рабочего давления. Современный гидропривод позволяет бесступенчатого изменять скорость выполнения операции, осуществлять плавные разгон и торможение груза. Применение в приводе грузовой лебедки регулируемого аксиально-поршневого

гидромотора, позволяет дополнительно регулировать частоту вращения барабана лебедки. Рассмотрев различные конструкции, основную номенклатуру, нагрузочные характеристики механизмов и объемы производства экскаваторов и кранов установили, что с 1990 года, в России, выпуск разных типов экскаваторов составил около 100 тысяч штук, а автокранов около 98 тысяч штук. Установили, что при создании новых машин конструкторы стараются обеспечить максимальную унификацию однотипных сборочных единиц внутри ряда машин. Положительный опыт унификации сборочных единиц и механизмов имеется в нескольких моделях экскаваторов 3-й размерной группы, двух модулей экскаваторов 4-ой размерной группы, двух моделей 5-й группы, а также некоторых кранов.

При проектировании новых машин зарубежные фирмы в качестве девиза принимают положение: чем меньше элементов и базовых механизмов применяются, тем проще и дешевле их производство. Качество составных частей машин определяет технический уровень и востребованность машин на рынке, что достигается целесообразной унификацией [4, 5].

При создании группы экскаваторов, в качестве базовой машины применяли одноковшовый экскаватор ЭО-3323А на пневмоколесном ходу, с ковшем емкостью 0,65 м³. Конструкция этого экскаватора является агрегатированной, что позволяет компоновать их унифицированными сборочными единицами. В табл. 1 представлены технические характеристики отечественных экскаваторов.

Таблица 1

Технические характеристики экскаваторов

Марка экскаватора	ЕК-6	ЭО-3323А	ЕК-18	ЭО-3123	ЕТ-20	ЕТ-25
Емкость ковша, м ³	0,4	0,65	1,0	0,65	1,0	1,4
Масса, т	7,05	12,4	16	13,5	17,8	25
Давление в гидросистеме, МПа	28	28	28	28	28	28
Скорость, км/ч	30	20	20	2,8	2,34	2,3
Радиус копания, м	6,9	8,2	9,1	8,2	9,4	9,5
Глубина копания, м	3,87	4,7	5,77	4,96	6,0	6,2
Высотка выгрузки, м	5,42	5,63	6,24	5,37	6,2	6,7
Угол поворота ковша	178°	180°	177°	180°	170°	177°
Двигатель на поворотной платформе	Д-243(л)	Д-243(л)	Д-245	Д-243(л)	Д-245	Д-260
Частота вращения вала двигателя, мин ⁻¹	2200	2200	2200	2200	2200	2100

Отечественная промышленность выпускала краны грузоподъемностью 25; 40; 63; 100; 160; 250 т на специальном шасси автомобильного типа, грузоподъемностью: 16, 20, 25; 40 т и 50 т,

на короткобазовых шасси, а также дизель-электрические грузоподъемностью: 63, 100, 160 и 250 т.

При создании новых кранов конструкторы решали задачу: разработать на модульном принципе типоразмерный ряд внутри ряда и между размерными группами кранов.

Модуль – основная, наиболее сложная и трудоемкая часть машины [5]. Краны условно

можно разделить на три размерные группы: грузоподъемностью 25-40 т, 63-100 т и 100-250 т. В табл. 2 представлены технические характеристики некоторых отечественных кранов.

Таблица 2

Технические характеристики автокранов

Марка крана	КС-35714	КС-45719	КС-55713	КС-5576	КС-6574	КС-6576 СКАМ-50	КС-7976
Грузо-подъемность, т	16	20	25	32	40	50	70
Длина стрелы, м	8–12	9,7–21,7	9,7–21,7	30,7	10,1–30,3	34(32)	21,5–29
Вылет, м	3,3–5,5 5,7	3,85–6	4,2–5,6 6	3,0–20	3,0–25,0	25	32
Высота подъема, м	8–13	21,8	21,9	10,5–31,3	10,5–30,3	48,6(48)	56
Частота вращения поворотной платформы, мин ⁻¹	0,12,65	2,2	1,4	0,2–2,0	1,0	1,5(1,46)	0,2
Грузовой момент, тм	42	64	80	98	120	150	210
База автомобиля	ГАЗ	КАМАЗ	КрАЗ КАМАЗ	КАМАЗ	МЗКТ	МЗКТ КАМАЗ	МЗКТ

К конструктивным и эксплуатационным особенностям гаммы кранов можно отнести следующее: наличие специальных шасси автомобильного типа, оснащение их телескопическими стрелами, наличие гидравлического привода механизмов и поворотной платформы со стрелой и гидроцилиндрами, опорно-поворотное устройство.

Зарубежные краностроители – фирмы «Kato», Япония, «Coles», Англия, «Grawe», США, «Liebherr», Германия, на базе широкой унификации составных частей кранов переходят к кооперации при создании и производстве новых кранов. Планетарные механизмы поворота в сочетании с гидромоторами и грузовые лебедки нашли применение в кранах «Coles», «Kato», «Liebherr» и отличаются малым весом, комплектные и надежные в работе.

Поворотная платформа крана соединена с шасси, выполнена в виде планетарной передачи, где в качестве модуля применяется редуктор фирмы «Girmatick», Канада.

Основная часть. Анализ различных конструктивных исполнений механизмов поворота и грузовых лебедок кранов зарубежных фирм показал, что главный путь снижения стоимости и повышения технического уровня машин является унификация с использованием конструктивно-отработанных модульных узлов серийного производства или получения их по кооперации [5–12].

На рис. 1, представлена кинематическая схема механизма поворота экскаватора ЭО-3323А, которая унифицирована с механизмами

поворота других экскаваторов Тверского экскаваторного завода. Унификация механизма поворота проведена с бортовыми редукторами, приводом бура и с напорной лебедкой бурильного оборудования, где в качестве передаточного механизма применяется унифицированный планетарный редуктор.

Кинематическую схему механизма поворота (рис.1), можно использовать в качестве механизма поворота платформы крана КС-5576, грузоподъемностью 32 т, подбирая гидромотор и два планетарных модуля [5]. Применение планетарного модуля в механизме поворота крана, позволяет унифицировать его с механизмом поворота экскаватора ЭО-3323А. При замене цилиндрического редуктора на планетарный снижается масса механизма и металлоемкость в 2,2 раза. Наличие у планетарного механизма трех и более сателлитов снижает порог целесообразности кооперации и специализации производства механизмов поворота для экскаваторов и кранов.

Предлагаемый метод унификации механизмов поворота экскаваторов и кранов с подбором аксиально-поршневых гидромоторов на базе планетарных блок-модулей, существенно повышает технический уровень машин. Он является наиболее эффективным средством повышения качества и надежности сборочных единиц и деталей экскаваторов и кранов. На рис. 2 представлена кинематическая схема планетарной грузовой лебедки с гидроприводом фирмы «Liebherr», Германия. Для крана КС-5576 по аналогии с выбором механизма поворота, по ограничительному

документу [5], подбираем планетарные модули, согласно схеме рис. 2.

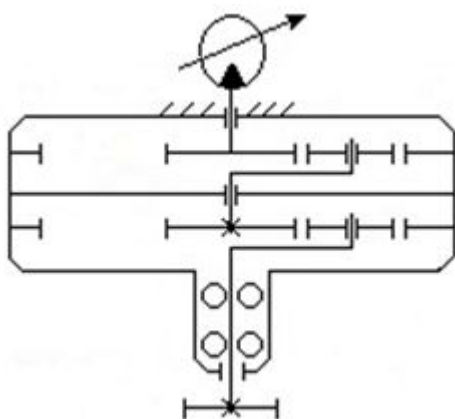


Рис.1. Кинематическая схема планетарного механизма поворота

В зависимости от крутящего момента на первой ступени планетарного редуктора механизма поворота крана (рис. 1) КС-5576, $T_1=1800$ Нм, выбираем типоразмер модуля, $r=80$ мм, $U_{пл1}=8,5$, с $b_w=45$ мм, а в качестве второй ступени $T_2=3900$ нм, типоразмер $r=112$ мм, $U_{пл2}=6,7$, а $b_w=60$ мм, где r – радиус расположения осей сателлитов, мм, $U_{пл}$ – передаточное отношение, b_w – ширина венца сателлита, T_1 , T_2 – момент на водиле первой и второй ступени.

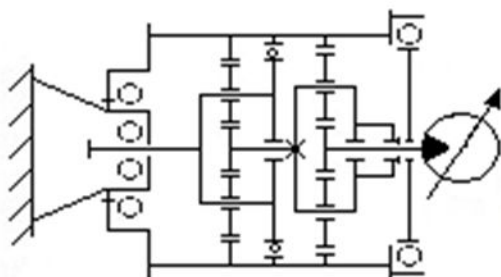


Рис.2. Планетарная грузовая лебедка

В качестве первой ступени планетарной лебедки (рис.2) выбираем модуль $r=80$ мм, $U=8,5$ и $b_w=45$ мм, а второй $r=80$ мм, $U=8,5$ и $b_w=50$ мм [11,12].

Выводы: Унификация механизмов привода экскаваторов и кранов способствует повышению их производительности и качества, снижению себестоимости и трудоемкости изготовления. Широкая унификация на модульном принципе и последующая кооперация деталей, агрегатов и сборочных единиц, в том числе механизмов поворота и грузовых лебедок, позволяет расширить возможности по наращиванию объемов производства, обеспечивает межвидовую унификацию их основных элементов и способствует повышению надежности работы экскаваторов и кранов.

Информация об авторах

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Шарапов Р.Р., Кайтуков Б.А., Степанов М.А. Некоторые проблемы динамики и надежности строительной техники // Механизация строительства. 2017. Т 78. №7. С. 5–8.
2. Кудрявцев Е.М., Степанов М.А. Строительные краны. Часть 1. Башенные краны. Основы теории конструкции и расчета. Учебник изд. АСВ. Москва, 2016. 330 с.
3. Янсон Р.А. Экскаваторы одноковшовые полноповоротные. Учебное пособие. Изд-во АСВ. Москва, 2013. 108 с.
4. Черкасов В.А., Кайтуков Б.А., Капырин П.Д., Скель В.И., Степанов М.А. Надежность машин и механизмов. Учебник. Министерство образования и науки РФ. Национальный исследовательский Московский Государственный Строительный Университет. Москва. НИУ МГСУ, 2015. 272 с.
5. Кайтуков Б.А., Скель В.И., Горяйнова П.О. Гравитационные бетоносмесители с унифицированными механизмами привода // Вестник БГТУ им. В.Г.Шухова. 2019. №2. С. 137–143.
6. Густов Ю.И., Степанов М.А., Кайтуков Б.А. Анализ конструктивно-расчетных схем бетоносмесителей // Механизация строительства. 2013. №12. С. 10–12.
7. Plavelsky E.P., Sharapov R.R. The Problems of Dynamics of Wheeled Vehicles with Flow Able Building Cargo // International Conference on Industrial Engineering, ICIE. 2017. Vol. 206. Pp. 86–92.
8. Plavelsky E., Sharapov R. (2018) Modeling of Movement the Flowable Building Load in the Operating Vessel of Vehicle // International Scientific Conference Energy Management of Municipal Transportation Facilities and Transport, EMMFT, 2017, Advances in Intelligent Systems and Computing. Vol. 692. Springer, Cham.
9. Степанов М.А., Цибилов Я.И. Анализ работоспособности гидравлического подъемника // Механизация строительства. №11. 2017. С. 9–12.
10. Руководящий нормативный документ РД-22-25.183-87. Передачи зубчатые, планетарные, модульные. Редукторы. Схемы компоновки. Министерство СДиКМ. СССР. Москва, 1987.
11. Руководящий нормативный документ РД 22-25.180-87. Передачи зубчатые, планетарные, модульные. Конструктивные исполнения. Технические параметры. Министерство СДиКМ. СССР. Москва, 1987.
12. Шарапов Р.Р., Уваров В.А., Орехова Т.Н. Теория наземных транспортно-технологических машин. Учебное пособие. Белгород. БГТУ, 2014.

Уваров Валерий Анатольевич, доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой теплогазоснабжения и вентиляции. E-mail: v_a_uvarov@mail.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д.46.

Кайтуков Батраз Амурханович, кандидат технических наук, доцент кафедры механизация строительства. E-mail: KaitukovBA@mail.ru. Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет. Россия, 129337, Москва, ул. Ярославское шоссе, д. 26.

Скель Владимир Израилевич, кандидат технических наук, доцент кафедры механизация строительства. E-mail: SkelVI@mgsu.ru. Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет. Россия, 129337, Москва, ул. Ярославское шоссе, д. 26.

Поступила в ноябре 2019 г.

© Уваров В.А., Кайтуков Б.А., Скель В.И., 2020

¹Uvarov V.A., ²Kaytukov B.A., ^{2*}Skel V.I.

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

²National Research Moscow State University of Civil Engineering

*E-mail: SkelVI@mgsu.ru

HYDRAULIC EXCAVATORS AND CRANES WITH MODULAR DRIVE MECHANISMS

Abstract. The problem of limiting the standard-size range of drive mechanisms for hydraulic excavators and self-propelled jib cranes with a wide unification of their elements is considered. This approach allows to increase the serialization of products to reduce costs in the design and production, increases the durability of machines and reduces the time of development of new equipment. The analysis of the production of domestic excavators and cranes is carried out. It is presented in a tabular version and a sequence of logical steps to provide a systematic approach to the development of rational designs of hydraulic excavators and cranes. The analysis showed that it is advisable to carry out unification on the modular principle of the formation of some units and, first of all, of slewing mechanisms of these machines. The technique of unification of turning mechanisms and winches of excavators and cranes based on unified planetary hydromechanical block modules is proposed. Creating hydraulic excavators and cranes with unified planetary hydromechanical mechanisms allows you to reduce operating costs and improve the quality of drive mechanisms for excavators and cranes, reducing the cost and complexity of manufacturing. Unification on a modular principle and the subsequent cooperation of parts, assemblies and units allows expanding opportunities to increase production volumes, provides interspecific unification of their basic elements.

Keywords: hydraulic excavator, crane, turning mechanism, winch mechanism, unification, block module, planetary gear, hydraulic motor.

REFERENCES

1. Sharapov R.R., Kaytukov B.A., Stepanov M.A. Some problems of the dynamics and reliability of construction equipment [Nekotorye problemy dinamiki i nadezhnosti stroitel'noj tekhniki]. Mechanization of construction, 2017. Vol. 78. No. 7. Pp. 5–8. (rus)
2. Kudryavtsev E.M., Stepanov M.A. Construction cranes. Part 1. Tower cranes. Fundamentals of the theory of design and calculation [Stroitel'nye krany. CHast' 1. Bashennye krany. Osnovy teorii konstrukcii i rascheta]. Textbook ed. ACB. Moscow, 2016. 330 p.
3. Janson R.A. Excavators single-bucket full-turn [Ekskavatory odnokovshovye polnoporotnye]. Tutorial. Publisher ACB. Moscow 2013. 108 p. (rus)
4. Cherkasov V.A., Kaytukov B.A., Kapryin P.D., Skel V.I., Stepanov M.A. Reliability of machines and mechanisms [Nadezhnost' mashin i mekhanizmov]. Textbook. Ministry of Education and Science of the Russian Federation. National Research Moscow State University of Construction. Moscow. NRU MGSU, 2015. 272 p. (rus)
5. Kaytukov B.A., Skel V.I., Goryaynova P.O. Gravity mixers with unified drive mechanisms [Gravitacionnye betonosmesiteli s unificirovannyimi mekhanizmami privoda]. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2019. No. 2. Pp. 137–143. (rus)
6. Gustov Yu.I., Stepanov M.A., Kaytukov B.A. Analysis of design and design schemes of concrete mixers [Analiz konstruktivno-raschetnyh skhem betonosmesitelej]. Mechanization of construction. 2013. No. 12. Pp. 10–12. (rus)
7. Plavelsky E.P., Sharapov R.R. The Problems of Dynamics of Wheeled Vehicles with Flow Able

Building Cargo. International Conference on Industrial Engineering, ICIE, 2017. Vol. 206. Pp. 86–92.

8. Plavelsky E., Sharapov R. (2018) Modeling of Movement the Flowable Building Load in the Operating Vessel of Vehicle. International Scientific Conference Energy Management of Municipal Transportation Facilities and Transport, EMMFT, 2017. Advances in Intelligent Systems and Computing. Vol. 692. Springer, Cham.

9. Stepanov M.A., Tsibikov Ja.I. Analysis of the hydraulic lift [Analiz rabotosposobnosti gidravlicheskogo pod"emnika]. Mechanization of construction. No. 11. 2017. Pp. 9–12.

10. Guiding normative document RD-22-25.183-87. Transmissions are gear, planetary, mod-

ular. Gearboxes. Layout layouts [Peredachi zubchatye, planetarnye, modul'nye. Reduktory. Skhemy komponovok]. Ministry SDiKM. USSR. Moscow, 1987. (rus)

11. Guiding normative document RD 22-25.180-87. Transmissions are gear, planetary, modular. Designs. Technical specifications [Peredachi zubchatye, planetarnye, modul'nye. Konstrukтивnye ispolneniya]. Ministry SDiKM. USSR. Moscow, 1987. (rus)

12. Sharapov R.R., Uvarov V.A., Orekhova T.N. Theory of ground transport and technological machines [Teoriya nazemnyh transportno-tekhnologicheskikh mashin]. Tutorial. Belgorod. BSTU, 2014. (rus)

Information about the authors

Uvarov, Valeriy A. DSc, Professor. E-mail: v_a_uvarov@mail.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Kaitukov, Batraz A. PhD, Assistant professor. E-mail: KaitukovBA@mail.ru. Moscow State University of Civil Engineering (MGSU) National Research University. Russia, 129337, Moscow, st. Yaroslavskoye Shosse, 26.

Skel, Vladimir I. PhD, Assistant professor. E-mail: SkelVI@mgsu.ru. Moscow State University of Civil Engineering (MGSU) National Research University. Russia, 129337, Moscow, st. Yaroslavskoye Shosse, 26.

Received in November 2019

Для цитирования:

Уваров В.А., Кайтуков Б.А., Скуль В.И. Гидравлические экскаваторы и краны с модульными механизмами привода // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2020. № 1. С. 95–100. DOI: 10.34031/2071-7318-2020-5-1-95-100

For citation:

Uvarov V.A., Kaytukov B.A., Skel V.I. Hydraulic excavators and cranes with modular drive mechanisms. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2020. No. 1. Pp. 95–100. DOI: 10.34031/2071-7318-2020-5-1-95-100

DOI: 10.34031/2071-7318-2020-5-1-101-109

Агарков А.М., Шарапов Р.Р.Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет***E-mail: AgarkovAM@mgsu.ru*

К ВОПРОСУ О СКОРОСТИ ДВИЖЕНИЯ ВОЗДУХА И ДАВЛЕНИИ В ИНЕРЦИОННОМ КОНЦЕНТРАТОРЕ

Аннотация. Рассмотрены различные конструкции инерционных концентраторов для очистки запыленного воздуха от частиц пыли. Проанализированные конструкции аппаратов для разделения частиц пыли по фракциям, также обладают рядом недостатков: невысокой фракционной эффективностью и сложностью конструкций при разделении на несколько фракций. Предложена конструкция инерционного концентратора пыли с регулируемыми параметрами. Данная конструкция концентратора обеспечивает повышение фракционной эффективности и снижение гидравлического сопротивления при простоте конструкции аппарата. Проведено трехмерное моделирование пространственного движения воздуха в инерционном концентраторе пыли с регулируемыми параметрами. Приведена система уравнений, описывающая газодинамические течения. Представлены результаты расчетов скорости и давления в инерционном концентраторе пыли с регулируемыми параметрами. Отражающие лопасти и ложная стенка внутри инерционного концентратора выполняют роль дефлекторов, то есть отклоняют поток, что приводит к увеличению времени нахождения взвешенных частиц в инерционном концентраторе и снижение их кинетической энергии. При этом будет возрастать роль сил инерции на движение частиц. Численное моделирование трехмерного течения воздуха в концентраторе позволило получить картину течения и основные характеристики течения (скорость и давление) от момента подачи воздуха в концентратор до момента установления течения.

Ключевые слова: концентратор, частица, моделирование, турбулентность, давление, скорость.

Введение. При производстве любых строительных материалов выделяется большое количество запыленного воздуха. Для устранения данной проблемы используют различное оборудование для очистки воздуха от частиц пыли [1–7].

Проведенные исследования в области переработки различных материалов показали, что внимание многих исследователей на стадии удаления грубодисперсных частиц уделяется пылеконцентраторам [8–16].

Рациональное использование концентраторов достигается в аспирационных системах большой производительности. Их устанавливают перед фильтрами или перед циклоном. Концентратор namного уменьшает массу пыли, направляемой на тонкую очистку. Это позволяет уменьшить энергозатраты на производство в целом, а также, за счет возможного уменьшения производительности фильтров тонкой очистки, снизить их первоначальную стоимость, металлоёмкость, эксплуатационные расходы и уменьшить занимаемую ими площадь.

Оборудование. С целью повышения эффективности очистки запыленного воздуха с возможностью разделения пыли по фракциям в научно–производственном предприятии «Конверсия» авторами Янушкевич В.А., Лукерченко В.Н. предложена конструкция инерционного пылеотделителя для улавливания пыли и газо-

очистки при производстве строительных материалов, в химической промышленности, теплоэнергетике и в других отраслях промышленности.

Инерционный пылеотделитель состоит из корпуса, образованного входными 1, промежуточными 2 и выходными 3 воздуховодами (рис. 1). Между входным и промежуточным воздуховодами размещена первая система жалюзийных элементов, а вторая система жалюзийных элементов размещена между промежуточным и выходным воздуховодами. Пылеотделитель содержит также основной пылесборник 4, соединённый через изогнутый патрубок 5 с дальним концом входного воздуховода, и дополнительный пылесборник 6, соединённый через изогнутый патрубок 7 с дальним концом промежуточного воздуховода [8].

Под действием системы нагнетания или системы отсоса запыленный поток воздуха поступает во входной воздуховод, где сталкивается с системой жалюзийных элементов, установленных под углом 45° к вектору входного потока. Крупные частицы пыли, сталкиваясь с пластинами 8, отражаются к нижней стенке 9, вновь подхватывается потоком и пролетает по инерции через изогнутый патрубок 5 в пылесборник 4 крупных фракций.

Мелкая пыль, обладающая меньшей инерцией, с воздухом проходит в промежуточный воздуховод, в котором вновь нагнетается воздушным потоком и встречает вторую систему

жалюзийных элементов. Мелкая пыль, сталкиваясь с пластинами 10 проскакивает через изогнутый патрубок 7 в дополнительный пылесборник 6 мелких фракций.

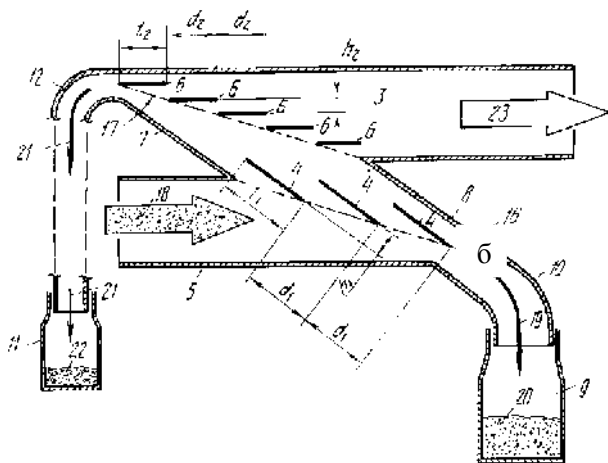


Рис. 1. Инерционный пылеотделитель авторов Янушкевич В.А. и Лукерченко В.Н.

Очищенный воздух после второй системы жалюзийных элементов через выходной воздуховод выходит наружу.

В данном инерционном пылеотделителе используют две системы жалюзийных элементов с различными конструктивными параметрами. Это предотвращает забивку жалюзийных элементов крупными фракциями и обеспечивает более тонкую очистку.

Коллективом авторов (Кочетов О.С., Голубева М.В., Колаева Л.В., Боброва Е.О., Духанина Е.В., Горнушкина Н.И., Павлова Д.О., Дорушенкова О.Ю., Костылева А.В., Зубова И.Ю.) разработан инерционный пылеотделитель (рис. 2) для повышения эффективности и надёжности процесса пылеулавливания [9].

В данном пылеотделителе запыленный газовый поток поступает в конус 1 через ввод 2. Частицы пыли обладая силами инерции устремляются в бункер 3 для сбора пыли, а очищенный газ выводится через выходные патрубки 5. Преградой для попадания мелких фракций пыли в выходные патрубки 5 служит отбойный элемент, отделяющий бункер для сбора пыли от выходных патрубков 5.

Инерционный пылеотделитель содержит цилиндрический корпус 1 с крышкой 4, в которой закреплен ввод 2 запыленного газового потока. Конический бункер 3 предназначен для сбора пыли и соединен с корпусом 1 в нижней его части. Устройство для вывода очищенного газа, выполненное в виде двух патрубков 5. Отбойный элемент отделяет бункер 3 от устройства для вывода очищенного газа. Отбойный элемент выполнен в виде пакета конических шайб 6, 7, 8, каждая

из которых образованна конической поверхностью усеченного конуса большим и меньшим основанием.

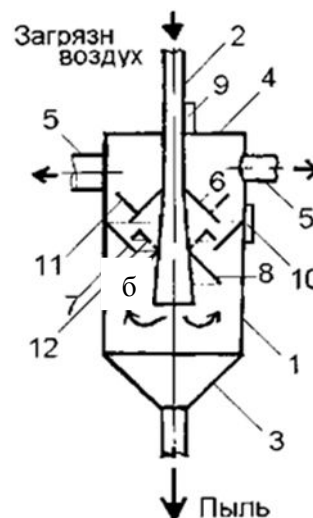


Рис. 2. Инерционный пылеотделитель авторов Кочетова О.С., Голубева М.В., Колаева Л.В., Боброва Е.О., Духанина Е.В., Горнушкина Н.И., Павлова Д.О., Дорушенкова О.Ю., Костылева А.В., Зубова И.Ю.

Для очистки конических шайб от налипшей на них и корпус пыли на корпусе в местах крепления конических шайб отбойного элемента установлены три вибратора 10, и на вводе 2 запыленного газового потока в месте крепления его к крышке корпуса установлены два вибратора 9.

Данная конструкция инерционного пылеотделителя имеет сложную конструкцию и большие энергозатраты за счет установки как минимум пяти вибраторов. Также в данном инерционном пылеотделителе невозможно регулировать размер фракций пыли попадающих в конический бункер для сбора пыли.

В Ярославском государственном техническом университете коллективом авторов (А.В. Сугак, Д.Е. Смирнов, В.К. Леонтьев, Л.В. Чекалов, М.Е. Смирнов) разработан пылеуловитель-классификатор (рис. 3) [10].

Пылеуловитель-классификатор позволяет разделять улавливаемую пыль на три фракции за счет трех ступеней очистки газа, размещенных в корпусе, входного патрубка спиральной формы, патрубков отвода крупной и средней фракции пыли, расположенных на одном наклонном днище, неподвижных лопастей, расположенных на третьей ступени очистки и конического днища.

В аппарате размещены три ступени очистки газа I, II, III. Пылеуловитель-классификатор состоит из корпуса 1, в котором в верхней части размещен спиральный входной патрубок 2, в нижней - наклонное днище 4, содержащее патрубок отвода крупной фракции пыли 3 и патрубок отвода средней фракции пыли 5. По оси корпуса пылеуловителя-классификатора 1 расположены:

установленный на наклонном днище 4 приемный цилиндр второй ступени очистки газа 6, навстречу которому закреплен экран цилиндрической формы 7; приемный цилиндр третьей ступени очистки газа 8, соединенный с коническим днищем 11, на котором установлен патрубок отвода мелкой фракции пыли 12; выходной патрубок 10, направленный вверх. В кольцевом пространстве между приемным цилиндром третьей ступени очистки газа 8 и выходным патрубком 10 установлены неподвижные лопасти 9.

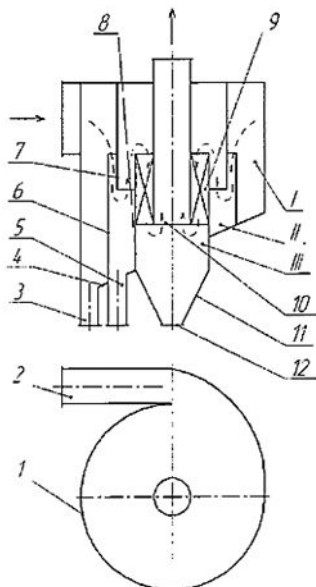


Рис. 3. Пылеуловитель – классификатор Ярославского государственного технического университета

В корпусе пылеуловителя-классификатора размещены три ступени очистки газа, что позволяет не только добиться повышения эффективности пылеулавливания, но и осуществить классификацию осаждаемых частиц пыли на три фракции. Применение входного патрубка спиральной формы позволяет снизить гидравлическое сопротивление конструкции, по крайней мере, на 25...30 % и повысить устойчивость аппарата к абразивному износу. На третьей ступени очистки расположены неподвижные лопасти, что позволяет увеличить частоту вращения пылегазового потока, следовательно, повысить действие центробежной силы при разделении системы «газ – твердое тело». Применение конического днища на третьей ступени препятствует возникновению вторичного уноса пыли. За счет указанных признаков достигается повышение эффективности улавливания мелкодисперсной пыли на третьей ступени, по крайней мере, на 7-10%.

Рассмотренные усовершенствованные конструкции аппаратов для пылеразделения также обладают рядом недостатков: невысокой фракционной эффективностью и сложностью конструкций при разделении на несколько фракций.

В связи с этим определенно, что одним из перечисленных направлений совершенствования аппаратов пылеразделения является повышение фракционной эффективности и снижение гидравлического сопротивления при простоте конструкции аппарата.

Одним из таких оборудований может служить инерционный концентратор пыли с регулируемыми параметрами [12–17].

Инерционный пылеконцентратор (рис. 4) состоит из корпуса, в верхней части которого имеются патрубки подвода исходного материала и вывода тонкого материала. В нижней части корпуса расположен патрубок вывода грубой фракции. Система регулируемых жалюзийных элементов располагается в средней части корпуса относительно его вертикальной оси. Жалюзийные элементы, закрепленные на осях, которые установлены в боковых стенках корпуса, кинематически соединены между собой, чтобы иметь возможность вращения вокруг своих осей и горизонтального перемещения (по проточкам в корпусе) одновременно. Жалюзийные элементы могут поворачиваться относительно своих осей от 0° до 180° и перемещаться поперек корпуса от 0 мм до a .

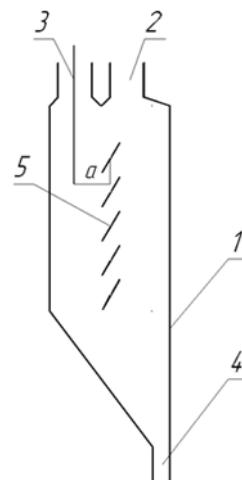


Рис. 4. Предлагаемый инерционный концентратор пыли: 1 – корпус, 2 – патрубок подвода, 3 – патрубок вывода тонкого материала, 4 – патрубок вывода грубой фракции, 5 – жалюзийные элементы

Вращение обеспечивается тем, что на одной из осей, например, верхней, установлен привод (на рисунке не показан), либо электромеханический, либо ручной, и оси между собой связаны кинематически с возможностью их одновременного вращения. Также предусмотрено одновременное перемещение жалюзийных элементов поперек корпуса от 0 мм до a . Варьируя величинами параметров α и a можно в широких пределах изменять дисперсность выходящего из пылеконцентратора продукта. Для управления процессом разделения дисперсных частиц в потоке воздуха

жалюзийные элементы вращаются вокруг своих осей от 0° до 180°.

Основная часть. В тех случаях, когда область течения имеет сложную геометрию или потоку приходится обтекать различные преграды, истинную картину течения можно получить только из трехмерного моделирования. Модель газодинамических процессов в области со сложной геометрией строится на базе основных законов сохранения, применяемых ко всему множеству точек области решения, и сводится к системе уравнений, замыкаемых набором дополнительных связей: краевых условий, уравнений состояния и др.

$$\frac{\partial V_1}{\partial t} + V_1 \frac{\partial V_1}{\partial x_1} + V_2 \frac{\partial V_1}{\partial x_2} + V_3 \frac{\partial V_1}{\partial x_3} = F_1 - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x_1} + \nu \Delta V_1, \quad (3)$$

$$\frac{\partial V_2}{\partial t} + V_1 \frac{\partial V_2}{\partial x_1} + V_2 \frac{\partial V_2}{\partial x_2} + V_3 \frac{\partial V_2}{\partial x_3} = F_2 - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x_2} + \nu \Delta V_2, \quad (4)$$

$$\frac{\partial V_3}{\partial t} + V_1 \frac{\partial V_3}{\partial x_1} + V_2 \frac{\partial V_3}{\partial x_2} + V_3 \frac{\partial V_3}{\partial x_3} = F_3 - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x_3} + \nu \Delta V_3, \quad (5)$$

$$\frac{\partial V_1}{\partial x_1} + \frac{\partial V_2}{\partial x_2} + \frac{\partial V_3}{\partial x_3} = 0, \quad (6)$$

или кратко

$$\frac{\partial V_i}{\partial t} + V_k \frac{\partial V_i}{\partial x_k} + V_k \frac{\partial V_i}{\partial x_k} + V_k \frac{\partial V_i}{\partial x_k} = F_i - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x_i} + \nu \Delta V_i, \quad (7)$$

$$\frac{\partial V_k}{\partial x_k} = 0, \quad i, k = 1, 2, 3. \quad (8)$$

Моделирование пространственного движения воздуха в концентраторе производится на основании двумерных уравнений динамики потока

Движение вязкой несжимаемой жидкости описывается уравнениями Навье-Стокса совместно с уравнением неразрывности:

$$\text{div} \vec{V} = 0, \quad (1)$$

$$\frac{\partial \vec{V}}{\partial t} + (\vec{V} \cdot \nabla) \vec{V} = \vec{F} - \frac{1}{\rho} \text{grad} p + \nu \Delta \vec{V}, \quad (2)$$

где $\vec{V}$ – вектор скорости воздуха, ρ – плотность воздуха, p – давление воздуха, ν – коэффициент кинематической вязкости воздуха, $\vec{F}$ – плотность распределения объемных сил.

В проекции на оси декартовой системы координат система (1) – (2) запишется в виде [18]

воздуха в концентраторе [4]. Поскольку движение турбулентное, то для нахождения Рейнольдсовых напряжений используется модель турбулентности [19].

$$\frac{\partial k}{\partial t} + \bar{V}_j \frac{\partial k}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[(\nu + \nu_t / \sigma_k) \partial k / \partial x_j \right] + \tau_{ij} \frac{\partial \bar{V}_j}{\partial x_j} - \varepsilon, \quad (9)$$

$$\frac{\partial \varepsilon}{\partial t} + \bar{V}_j \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[(\nu + \nu_t / \sigma_\varepsilon) \partial \varepsilon / \partial x_j \right] + c_{\varepsilon 1} \frac{\varepsilon}{k} \tau_{ij} \frac{\partial \bar{V}_j}{\partial x_j} - c_{\varepsilon 2} \frac{\varepsilon^2}{k}, \quad (10)$$

где k, ε – кинетическая энергия и скорость ее диссипация, ν_t – турбулентная вязкость, $\sigma_k, \sigma_\varepsilon, c_{\varepsilon 1}, c_{\varepsilon 2}$ – эмпирические константы.

Система уравнений движения замыкается уравнением состояния, начальными и граничными условиями.

$$p = p(\rho, T) \quad (11)$$

$$\{p, \vec{V}\}(\vec{x}, t) = \{p, \vec{V}\}(\vec{x}, 0), \quad \vec{x} \in \Omega \quad (12)$$

$$\{p, \vec{V}\}(\vec{x}, t) = \{p, \vec{V}\}(\vec{x}, t), \quad \vec{x} \in \Gamma \quad \forall t \quad (13)$$

Расчетная область отображена на блочно-структурированную гексаэдральную сетку (рис. 5). Сетка произвольным образом пересекает поверхность модели. Такой подход к построению сетки наиболее универсален, надежен, прост в использовании и является отличительной особенностью ряда прикладных программных продуктов [20].

Численное решение уравнений (3) – (6), (9), (10) с учетом условий (11) – (13) получено при помощи метода конечных объемов [21]. Результаты расчетов скорости и давления в концентраторе представлены на рисунках 6–10.

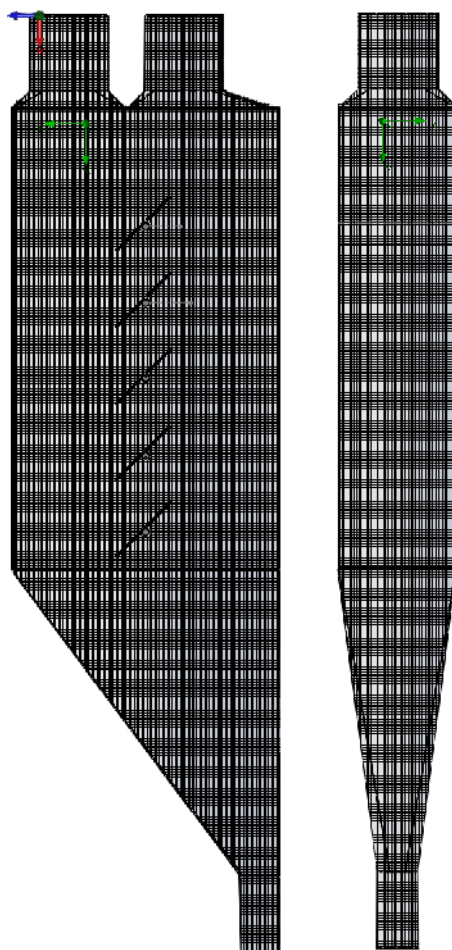


Рис. 5. Расчетная область, покрытая прямоугольной сеткой

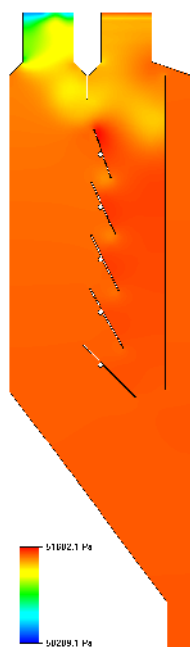


Рис. 6. Поле давлений в концентраторе в начальный момент времени

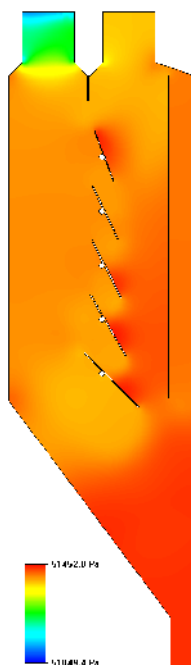


Рис. 7. Поле давлений установившегося процесса в концентраторе

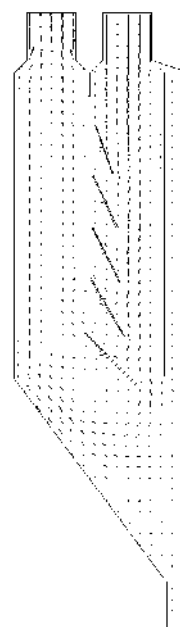


Рис. 8. Вектора скорости установившегося процесса в концентраторе

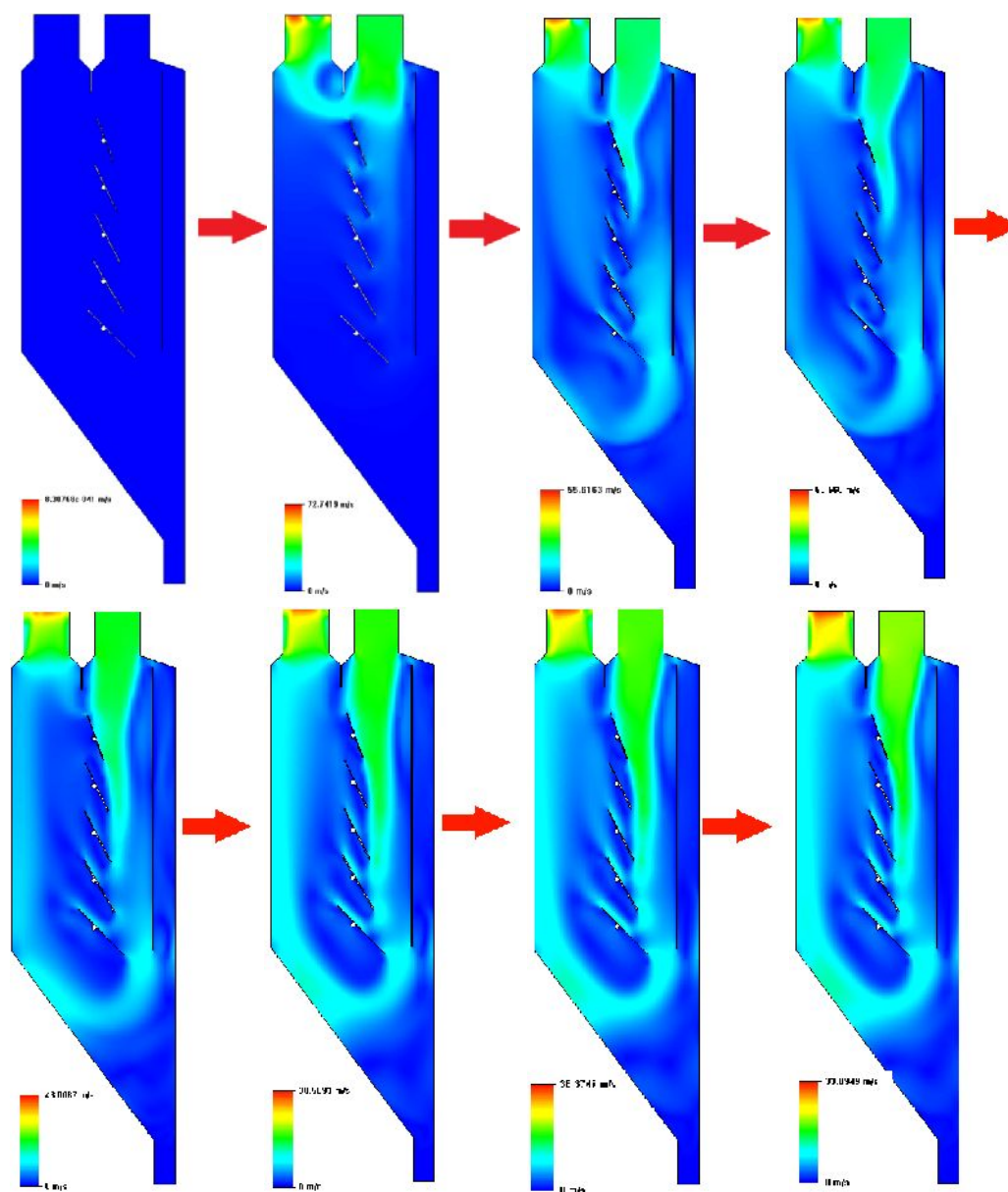


Рис. 9. Динамика развития поля скоростей в концентраторе в различные моменты времени

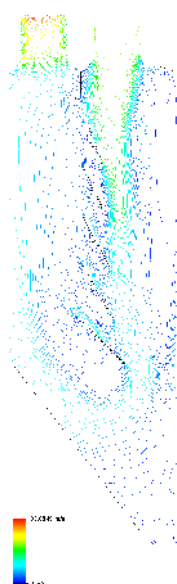


Рис. 10. Изолинии скорости установившегося процесса в концентраторе

Выводы. На основании предложенной конструкции инерционного концентратора (рис. 4) можно сделать вывод, что отражающие лопатки и ложная стенка внутри концентратора выполняют роль дефлекторов, т.е. отклоняют поток, что приводит к увеличению времени нахождения взвешенных частиц в концентраторе, за счет резкого изменения потока пылевоздушной смеси и повышение их кинетической энергии. При этом будет возрастать роль сил инерции на движение частиц.

Численное моделирование трехмерного течения воздуха в концентраторе позволило получить картину течения и основные характеристики течения (скорость и давление) от момента подачи воздуха в концентратор до момента установления течения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Stepanov M.A., Gridchin A.M. Perspectives of construction robots // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering Processing Equipment, Mechanical Engineering Processes and Metals Treatment. 2018. 042126. DOI: 10.1088/1757-899X/327/4/042126
2. Prokopenko V.S., Orekhova T.N., Goncharov E.I., Odobesko I.A. Kinetics of process of product separation in closed system with recirculation // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering Processing Equipment, Mechanical Engineering Processes and Metals Treatment. 2018. 042089. DOI: 10.1088/1757-899X/327/4/042089
3. Sharapov R.R., Ovsyannikov Yu.G., Boychuk I.P., Agarkov A.M., Prokopenko V.S. Research of aerodynamics of recirculation systems with forced aspirated air // International Journal of Applied Engineering Research. 2015. Т. 10. № 21. С. 42707–42713.
4. Агарков А.М. Двумерные уравнения динамики потока воздуха в концентраторе // «Интерстроймех–2015» материалы международной научно-технической конференции. Казанский государственный архитектурно-строительный университет. г. Казань, 2015. С. 7–11.
5. Kaitukov B., Stepanov M., Kapyrin P. The choice of concrete mixers for the concrete preparation // MATEC Web of Conferences. 2018. 06016. DOI: 10.1051/mateconf/201817806016
6. Stepanov M.A., Korolev A.A. Mathematical modeling of a process the rolling delivery // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering 4. Ser. "4th International Conference on Advanced Engineering and Technology, ICAET 2017. 2018. С. 012019. DOI: 10.1088/1757-899X/317/1/012019
7. Uvarov V.A., Orekhova T.N., Uvarov A.V. Compressed-air mixer of continuous action for dry production construction mixtures // World Applied Sciences Journal. 2013. Т. 24. №12. С. 1662–1668. DOI:10.5829/idosi.wasj.2013.24.12.7039
8. Пат. 2056906, Российская Федерация, МПК В 01 D45/08. Инерционный пылеотделитель / В.А. Янушкевич, В.Н. Лукерченко; заявитель и патентообладатель ГНПП «Конверсия». № 93 93049276; заявл. 29.10.1993; опубл., 27.03.1996, Бюл. № 2. 3 с.
9. Пат. 2336928, Российская Федерация, МПК В 01 D45/08. Инерционный пылеотделитель / О.С. Кочетов, М.В. Голубева; заявитель и патентообладатель О.С. Кочетов, М.В. Голубева. № 2007126732/15; заявл. 13.07.2007; опубл., 27.10.2008, Бюл. № 30. 6 с.
10. Пат. 2497569, Российская Федерация, МПК В 01 D45/04. Пылеуловитель-классификация / А.В. Сугак, Д.Е. Смирнов; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВПО ЯГТУ. № 2011148993/05; заявл. 02.12.2011; опубл., 10.11.2013, Бюл. № 31. 6 с.
11. Пат. 2377048, Российская Федерация, МПК В 01 D45/04. Инерционный пылеуловитель / А.И. Бурков, Ю.В. Сычугов; заявитель и патентообладатель ГУП ПКБ Зонального НИИ сельского хозяйства Северо-Востока им. Н.В. Рудницкого. № 2008141175/15; заявл. 16.10.2008; опубл., 27.12.2009, Бюл. № 36. 5 с.
12. Orekhova T.N., Nosov O.A., Prokopenko V.S., Kachaev A.E. Complex modeling of technological processes in pneumatic mixers for production of dry construction mixtures // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2018. С. 022084. DOI: 10.1088/1757-899X/327/2/022084
13. Качаев А.Е., Орехова Т.Н., Гончаров Е.И. Аэродинамические особенности пневмосмесителей для производства сухих строительных смесей // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2017. № 11. С. 149–155.
14. Орехова Т.Н., Романович А.А. Изучение роторно-вихревых мельниц для производства минеральных порошков // Механизация строительства. 2016. Т. 77. № 8. С. 44–46.
15. Kharlamov E. Determination of the magnetic separator separation function // MATEC Web of Conferences. 2018. С. 03027. DOI: 10.1051/mateconf/201825103027
16. Пат. 157341, Российская Федерация, МПК В 01 D45/08. Инерционный пылеконцентратор / Р.Р. Шарапов, Ю.Г. Овсянников; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВПО БГТУ им. В.Г. Шухова. № 2014152565/05; заявл. 24.12.2014; опубл., 27.11.2015, Бюл. № 33. 2 с.
17. Шарапов Р.Р., Бойчук И.П., Агарков А.М., Прокопенко В.С. Уравнение движения взвешенной в потоке воздуха частицы в концентраторе // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2015. № 5. С. 175–178.
18. Лойцянский Л.Г. Механика жидкости и газа: учебн. для вузов. М.: Дрофа, 2003. 840 с.
19. Белов И.А., Исаев С.А. Моделирование турбулентных течений: учебное пособие. СПб.: Балт. гос. техн. ун-т, 2001. 108 с.
20. Амброжевич А.В., Бойчук И.П., Ларьков С.Н., Середа В.А. Малоресурсный метод численного моделирования течений в геометрических областях сложной формы // Авиационно-космическая техника и технология. Х.: ХАИ, 2008. Вып. 6. С. 5–10.
21. Алямовский А.А., Собачкин А.А., Одинцов Е.В. [и др.] SolidWorks 2007/2008 компьютерное моделирование в инженерной практике. СПб.: БХВ-Петербург, 2008. С. 1040.

Агарков Александр Михайлович, старший преподаватель кафедры механизации строительства. E-mail: AgarkovAM@mgsu.ru. Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет. Россия, 129337, Москва, Ярославское шоссе, д. 26.

Шарапов Рашид Ризаевич, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой механизации строительства. E-mail: ptdm_zavkaf@mail.ru. Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет. Россия, 129337, Москва, Ярославское шоссе, д. 26.

Поступила в ноябре 2019 г.

© Агарков А.М., Шарапов Р.Р., 2020

***Agarkov A.M., Sharapov R.R.**

National Research Moscow State University of Civil Engineering

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

ON THE QUESTION OF AIR VELOCITY AND PRESSURE IN AN INERTIAL CONCENTRATOR

Abstract. Various designs of inertial concentrators for cleaning dusty air are considered. The analyzed designs of devices for separating dust particles by fractions also have a number of disadvantages: low fractional efficiency and complexity of structures when divided into several fractions. The design of an inertial dust concentrator with adjustable parameters is proposed. This design of the concentrator provides an increase in fractional efficiency and a decrease in hydraulic resistance with the simplicity of the apparatus design. Three-dimensional modeling of the spatial motion of air in an inertial dust concentrator with adjustable parameters is performed. A system of equations describing gas-dynamic flows is given. The results of calculations of velocity and pressure in an inertial dust concentrator with adjustable parameters are presented. Reflecting vanes and a false wall inside an inertial concentrator act as deflectors, that is, deflect the flow, which leads to an increase in the time spent by suspended particles in the inertial concentrator and a decrease in their kinetic energy. In this case, the role of inertia forces on the motion of particles will increase. Numerical modeling of the three-dimensional air flow in the concentrator made it possible to obtain a flow pattern and the main flow characteristics (velocity and pressure) from the moment of air supply to the concentrator to the moment of establishing the flow.

Keywords: the concentrator, particle, modeling, turbulence, pressure, speed.

REFERENCES

1. Stepanov M.A., Gridchin A.M. Perspectives of construction robots. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering Processing Equipment, Mechanical Engineering Processes and Metals Treatment. 2018. 042126. DOI: 10.1088/1757-899X/327/4/042126
2. Prokopenko V.S., Orekhova T.N., Goncharov E.I., Odobesko I.A. Kinetics of process of product separation in closed system with recirculation. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering Processing Equipment, Mechanical Engineering Processes and Metals Treatment. 2018. P. 042089. DOI: 10.1088/1757-899X/327/4/042089
3. Sharapov R.R., Ovsyannikov Yu.G., Boychuk I.P., Agarkov A.M., Prokopenko V.S. Research of aerodynamics of recirculation systems with forced aspirated air. International Journal of Applied Engineering Research. 2015. Vol. 10. No 21. Pp. 42707–42713.
4. Agarkov A.M. The two-dimensional equations of the dynamics of air flow in the concentrator. [Dvumernye uravneniya dinamiki potoka vozduha v koncentrator]. «Interstrojmekh–2015» materialy mezhdunarodnoj nauchno-tekhnicheskoy konferencii. Kazanskij gosudarstvennyj arhitekturno-stroitel'nyj universitet. g. Kazan. 2015. Pp. 7–11. (rus)
5. Kaitukov B., Stepanov M., Kapyrin P. The choice of concrete mixers for the concrete preparation. MATEC Web of Conferences. 2018. 06016. DOI: 10.1051/mateconf/201817806016
6. Stepanov M.A., Korolev A.A. Mathematical modeling of a process the rolling delivery. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering 4. Ser. "4th International Conference on Advanced Engineering and Technology, ICAET 2017. 2018. 012019. DOI: 10.1088/1757-899X/317/1/012019
7. Uvarov V.A., Orekhova T.N., Uvarov A.V. Compressed-air mixer of continuous action for dry production construction mixtures. World Applied Sciences Journal. 2013. Vol. 24. No 12. Pp. 1662–1668. DOI:10.5829/idosi.wasj.2013.24.12.7039
8. YAnushkevich V.A., Lukerchenko V.N. Inertial Dust Separator [Inertsionnyy pyleotdelitel']. Patent RF, no. 2056906, 1996.

9. Kochetov O.S., Golubeva M.V. Inertial Dust Separator [Inertsionnyy pyleotdelitel']. Patent RF, no. 2336928, 2008.
10. Sugak A.V., Smirnov D.E. Dust collector classifier [Pyleulovitel'-klassifikator]. Patent RF, no. 2497569, 2013.
11. Burkov A.I., Sychugov Yu.V. Inertial dust collector [Inertsionnyy pyleulovitel']. Patent RF, no. 2377048, 2009.
12. Orekhova T.N., Nosov O.A., Prokopenko V.S., Kachaev A.E. Complex modeling of technological processes in pneumatic mixers for production of dry construction mixtures. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2018. P. 022084. DOI: 10.1088/1757-899X/327/2/022084
13. Kachaev A.E., Orekhova T.N., Goncharov E.I. Aerodynamic features of pneumatic mixers for the production of dry building mixtures. [Aerodinamicheskie osobennosti pnevmosmesitelej dlya proizvodstva suhikh stroitel'nyh smesey]. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2017. No 11. Pp. 149–155. (rus)
14. Orekhova T.N., Romanovich A.A. The study of rotary vortex mills for the production of mineral powders. [Izuchenie rotorno-vihrevykh mel'nic dlya proizvodstva mineral'nyh poroshkov]. Mekhanizatsiya stroitel'stva. 2019. Vol. 77. No 8. Pp. 44–46. (rus)
15. Kharlamov E. Determination of the magnetic separator separation function. MATEC Web of Conferences. 2018. P. 03027. DOI: 10.1051/mateconf/201825103027
16. Sharapov R.R., Ovsyannikov Yu.G. Inertial dust concentrator [Inertsionnyy pylekontsentrator]. Patent RF, no. 157341, 2015.
17. Sharapov R.R., Bojchuk I.P., Agarkov A.M., Prokopenko V.S. The equation of motion of particles suspended in the air stream in the concentrator. [Uravnenie dvizheniya vzveshennoj v potoke vozduha chasticy v koncentratore]. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2015. No. 5. Pp. 175–178. (rus)
18. Lojcyanskij L.G. Fluid and gas mechanics. [Mekhanika zhidkosti i gaza]. M.: Bustard, 2003. 840 p. (rus)
19. Belov I.A., Isaev S.A. Modeling turbulent flows [Modelirovanie turbulentnykh techenij]. SPb.: Balt. state tech. un, 2001. 108 p. (rus)
20. Ambrozhevich A.V., Bojchuk I.P., Lar'kov S.N., Sereda V.A. Low-resource method for numerical modeling of flows in geometric regions of complex shape. [Maloresursnyj metod chislennogo modelirovaniya techenij v geometricheskikh oblastyah slozhnoj formy]. Aviacionno-kosmicheskaya tekhnika i tekhnologiya. 2008. Vol. 6. Pp. 5–10. (rus)
21. Alyamovskij A.A., Sobachkin A.A., Odincov E.V. SolidWorks 2007/2008 computer simulation in engineering practice [SolidWorks 2007/2008 komp'yuternoe modelirovanie v inzhenernoj praktike]. SPb: BHV-Petersburg, 2008. Pp. 1040. (rus)

Information about the authors

Agarkov, Alexander M. Senior lecturer. E-mail: AgarkovAM@mgsu.ru. National Research Moscow State University of Civil Engineering. Russia, 129337, Moscow, Yaroslavskoe shosse, 26.

Sharapov, Rashid R. DSc, Professor. E-mail: ptdm_zavkaf@mail.ru. National Research Moscow State University of Civil Engineering. Russia, 129337, Moscow, Yaroslavskoe shosse, 26.

Received in November 2019

Для цитирования:

Агарков А.М., Шарапов Р.Р. К вопросу о скорости движения воздуха и давлении в инерционном концентраторе // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2020. № 1. С. 101–109. DOI: 10.34031/2071-7318-2020-5-1-101-109

For citation:

Agarkov A.M., Sharapov R.R. On the question of air velocity and pressure in an inertial concentrator. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2020. No. 1. Pp. 101–109. DOI: 10.34031/2071-7318-2020-5-1-101-109

DOI: 10.34031/2071-7318-2020-5-1-110-114

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

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 ВРАЩЕНИЯ РОТОРОВ

Аннотация. В настоящее время дезинтеграторы являются одним из видов оборудования, применяемого при помоле и смешении различных материалов. Преимуществами дезинтеграторов являются возможность регулирования частоты вращения роторов и изменения геометрических параметров для получения продукта помола с требуемым зерновым составом, а также простота конструкции. В данной статье предложено описание истечения двухфазной среды из камеры помола в выходной патрубке, ось которого сдвинута относительно плоскости, проходящей через центр вращения роторов. Представлена расчетная схема истечения двухфазного потока в выходной патрубок в плоскости, перпендикулярной оси цилиндрического корпуса. Сделано предположение, что движение двухфазной среды из камеры помола в выходной патрубок происходит с постоянной по модулю скоростью. Схема истечения двухфазного потока рассмотрена с учетом того, что длина выходного патрубка значительно превышает его ширину. Получены соотношения, определяющие изменение компонент вектора скорости вблизи выхода двухфазного потока в выходной патрубок.

Опираясь на полученные выражения, определена траектория движения двухфазного потока из камеры помола в выходной патрубок. Таким образом, используя результаты данного теоретического исследования, можно обеспечить рациональное соотношение основных конструктивных параметров узла разгрузки дезинтегратора.

Ключевые слова: дезинтегратор, камера помола, двухфазная среда, частица.

Дезинтеграторы являются наиболее эффективным оборудованием для помола, смешения и активации материалов [1].

Рассмотрим процесс истечения двухфазной среды из камеры помола дезинтегратора в плоскости, перпендикулярной оси вращения роторов, в выходной патрубок, представленный на рисунке 1.

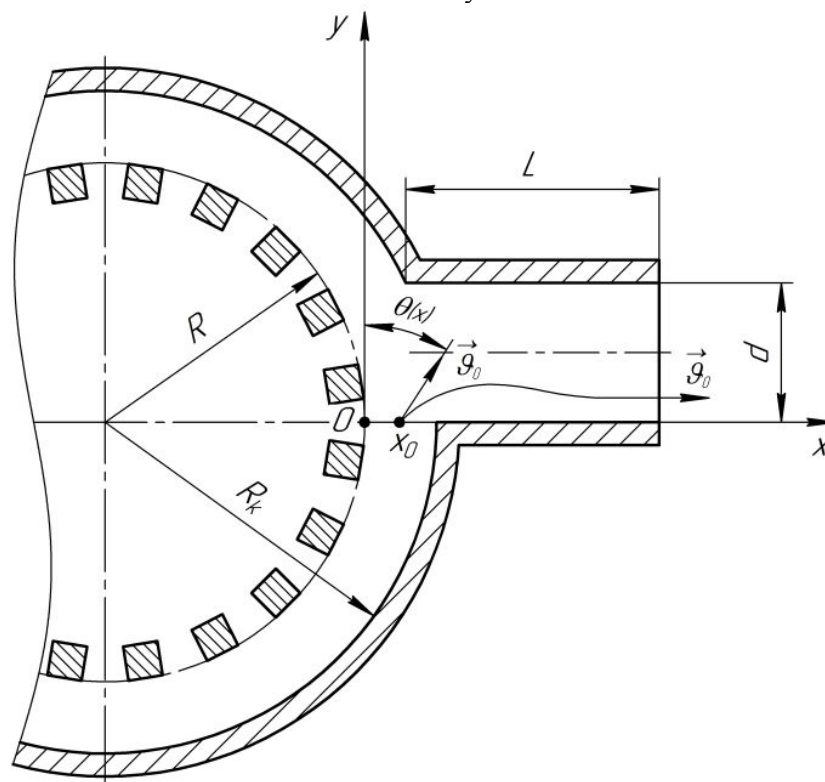


Рис. 1. Схема истечения двухфазного потока в выходной патрубок в плоскости, перпендикулярной оси цилиндрического корпуса: R – радиус внешнего ряда ударных элементов, R_k – внутренний радиус цилиндрического корпуса

Предположим, что движение двухфазной среды из камеры помола дезинтегратора в выходной патрубок происходит с постоянной по модулю скоростью движения среды:

$$(\vec{v}_0)^2 = v_0^2 = \text{const.} \quad (1)$$

На основании расчетной схемы, представленной на рисунке 2, компонента вектора скорости представлена в следующем виде:

$$\vec{v}_0 = (v_x, v_y, 0), \quad (2)$$

$$v_x = v_0 \sin \theta(x), \quad (3)$$

$$v_y = v_0 \cos \theta(x), \quad (4)$$

где $\theta(x)$ – угол, который образует вектор скорости двухфазной среды с положительным направлением оси «O_y».

При выходе двухфазного потока в разгрузочный патрубок, длина которого $L \gg d$, происходит поворот вектора скорости, который описывается изменением угла θ вдоль оси «O_x».

$$\delta W = \gamma \cdot H \cdot d \cdot v_0^2 \int_0^\infty (-\cos \theta(x) \cdot \sin \theta(x)) \cdot \delta \theta(x) + S \frac{d\theta}{dx} \cdot \delta \left(\frac{d\theta}{dx} \right) dx. \quad (7)$$

Минимальное значение функционала (7) достигается при выполнении следующих соотношений:

$$S \frac{d^2 \theta}{dx^2} + \sin \theta \cdot \cos \theta = 0, \quad (8)$$

$$\frac{d\theta}{dx} = 0, \text{ при } x = 0, \text{ и } x = \infty. \quad (9)$$

Необходимо найти решение уравнения (8), удовлетворяющее следующим краевым условиям:

$$\theta(x = 0) = 0, \quad (10)$$

$$\theta(x = \infty) = \frac{\pi}{2}. \quad (11)$$

Уравнение (8) можно привести к следующему виду:

$$\frac{d}{dx} \left[S \left(\frac{d\theta}{dx} \right)^2 + \sin^2 \theta \right] = 0. \quad (12)$$

Интегрирование дифференциального уравнения (12) приводит к соотношению:

$$S \left(\frac{d\theta}{dx} \right)^2 + \sin^2 \theta = C_1. \quad (13)$$

Применение (9) и (11) к (13) позволяет найти значение произвольной постоянной:

$$C_1 = 1. \quad (14)$$

С учетом (14) выражение (13) принимает вид:

$$\sqrt{S} \frac{d\theta}{dx} = \pm \cos \theta. \quad (15)$$

С математической точки зрения уравнение (15) является дифференциальным уравнением с

Кинетическую энергию движения двухфазной среды представим в следующем виде:

$$W = \int \int \int_V \left\{ \frac{\gamma v_0^2}{2} + \frac{\gamma S}{2} (\nabla \cdot \vec{v}_0)^2 \right\} dV, \quad (5)$$

здесь ∇ – двумерный оператор Лапласа; S – площадь поперечного сечения выходного патрубка.

Подынтегральное выражение в формуле (5) представляет собой плотность энергии двухфазного потока, истекающего в выходной патрубок дезинтегратора.

Подстановка (2) – (4) в (5) и выполнение интегрирования по переменным «y» и «z» приводит к следующему соотношению:

$$W = \frac{\gamma H \cdot d \cdot v_0^2}{2} \int_0^{L=\infty} (\cos^2 \theta(x) + S \left(\frac{d\theta}{dx} \right)^2) dx. \quad (6)$$

На основании функционала (6), используя вариационный принцип, можно найти уравнение, описывающее изменение угла $\theta(x)$.

разделяющимися переменными. Разделение переменных в (15) приводит к соотношению:

$$\int \frac{d\theta}{\cos \theta} = \pm \frac{dx}{\sqrt{S}}. \quad (16)$$

Вычисление интеграла в (16) приводит к следующему результату:

$$\ln \left| \tan \left(\frac{\pi}{4} - \frac{\theta}{2} \right) \right| = \pm \frac{x}{\sqrt{S}} + C_2. \quad (17)$$

На основании граничных условий (10) и (11) постоянную C_2 необходимо приравнять нулю, поэтому (17) можно придать следующий вид:

$$\theta(x) = \frac{\pi}{2} - 2 \arctg \left(\exp \left(-\frac{x}{\sqrt{S}} \right) \right). \quad (18)$$

С учетом полученного соотношения (18) формулы (3) и (4) соответственно принимает вид:

$$v_x = v_0 \cos \cdot \left(2 \cdot \arctg \left(\exp \left(-\frac{x}{\sqrt{S}} \right) \right) \right), \quad (19)$$

$$v_y = v_0 \sin \cdot \left(2 \cdot \arctg \left(\exp \left(-\frac{x}{\sqrt{S}} \right) \right) \right). \quad (20)$$

Введем следующее обозначение

$$\alpha = \arctg \left(\exp \left(-\frac{x}{\sqrt{S}} \right) \right). \quad (21)$$

На основании (21) находим:

$$\operatorname{tg} \alpha = e^{-\frac{x}{\sqrt{S}}}; \quad (22)$$

$$\sin \alpha = \cos \alpha \cdot e^{-\frac{x}{\sqrt{S}}}; \quad (23)$$

$$\sin 2\alpha = 2 \sin \alpha \cdot \cos \alpha = 2 \cos^2 \alpha \cdot e^{-\frac{x}{\sqrt{S}}}; \quad (24)$$

$$\cos^2 \alpha = \frac{1}{1+tg^2 \alpha} = \frac{1}{1+e^{-\frac{2x}{\sqrt{s}}}}. \quad (25)$$

Подстановка (25) в (24) приводит к следующему результату:

$$\cos 2\alpha = \cos^2 \alpha - \sin^2 \alpha = \cos^2 \alpha \left(1 - e^{-\frac{2x}{\sqrt{s}}}\right) = \frac{1 - e^{-\frac{2x}{\sqrt{s}}}}{1 + e^{-\frac{2x}{\sqrt{s}}}}. \quad (27)$$

На основании полученных соотношений (26) и (27) формулы (19) и (20) примут вид:

$$v_x = v_0 \cdot \frac{1 - e^{-\frac{2x}{\sqrt{s}}}}{1 + e^{-\frac{2x}{\sqrt{s}}}}; \quad (28)$$

$$v_y = \frac{2v_0}{e^{\frac{x}{\sqrt{s}}} \left(1 + e^{-\frac{2x}{\sqrt{s}}}\right)}. \quad (29)$$

Полученные соотношения (28) и (29) определяют изменение компонент вектора скорости вблизи выхода двухфазного потока в выходной патрубке.

Опираясь на полученные выражения (28) и (29), можно определить траекторию движения двухфазного потока из камеры помолы в выходной патрубке. Для этой цели формулы (28) и (29) представим в виде:

$$\int \frac{\left(1 + e^{-\frac{2x}{\sqrt{s}}}\right)}{1 - e^{-\frac{2x}{\sqrt{s}}}} dx = \left[\begin{array}{l} z = e^{\frac{x}{\sqrt{s}}} \\ x = -\sqrt{s} \ln z \end{array} \right] dx = -\sqrt{s} \frac{dz}{z} = -\sqrt{s} \int \frac{1+z^2}{z(1-z^2)} dz = -\sqrt{s} \cdot \int \left(\frac{1}{z} + \frac{1}{1-z} - \frac{1}{1+z} \right) dz = -\sqrt{s} (\ln z - \ln(1-z) - \ln(1+z)) = -\sqrt{s} \left(\ln \left(e^{\frac{x}{\sqrt{s}}} \right) - \ln \left(1 - e^{-\frac{x}{\sqrt{s}}} \right) - \ln \left(1 + e^{-\frac{x}{\sqrt{s}}} \right) \right) = x + \sqrt{s} \cdot \ln \left(1 - e^{-\frac{2x}{\sqrt{s}}} \right). \quad (33)$$

Подстановка (33) в (32) приводит к следующему результату:

$$x + \sqrt{s} \ln \left(1 - e^{-\frac{2x}{\sqrt{s}}} \right) = v_0 \cdot t + C_2. \quad (34)$$

Постоянную интегрирования в (34) находим из начального условия:

$$\text{при } t = 0, x = x_0. \quad (35)$$

Применив (35) к (34), получим следующий результат:

$$C_2 = x_0 + \sqrt{s} \ln \left(1 - e^{-\frac{2x_0}{\sqrt{s}}} \right). \quad (36)$$

Подстановка (36) в (34) дает:

$$x - x_0 + \sqrt{s} \ln \left(\frac{1 - e^{-\frac{2x}{\sqrt{s}}}}{1 - e^{-\frac{2x_0}{\sqrt{s}}}} \right) = v_0 \cdot t. \quad (37)$$

Интегрирование уравнения (31), удовлетворяющее начальному условию:

$$\text{при } t = 0, y = 0. \quad (38)$$

Вычислим:

$$\sin 2\alpha = \frac{2}{e^{\frac{x}{\sqrt{s}}} \left(1 + e^{-\frac{2x}{\sqrt{s}}}\right)}. \quad (26)$$

$$\frac{dx}{dt} = v_0 \cdot \frac{1 - e^{-\frac{2x}{\sqrt{s}}}}{1 + e^{-\frac{2x}{\sqrt{s}}}}; \quad (30)$$

$$\frac{dy}{dt} = \frac{2v_0}{e^{\frac{x}{\sqrt{s}}} \left(1 + e^{-\frac{2x}{\sqrt{s}}}\right)}. \quad (31)$$

Разделение переменных в дифференциальном уравнении (30) приводит к следующему выражению:

$$\int \frac{\left(1 + e^{-\frac{2x}{\sqrt{s}}}\right) dx}{1 - e^{-\frac{2x}{\sqrt{s}}}} = v_0 \cdot t + C_2. \quad (32)$$

Вычислим:

приводит к следующему соотношению:

$$y = \frac{2 \cdot v_0 \cdot t}{e^{\frac{x}{\sqrt{s}}} \left(1 + e^{-\frac{2x}{\sqrt{s}}}\right)}, \quad (39)$$

Исключение времени "t" из соотношений (37) и (39) позволяет получить следующее выражение:

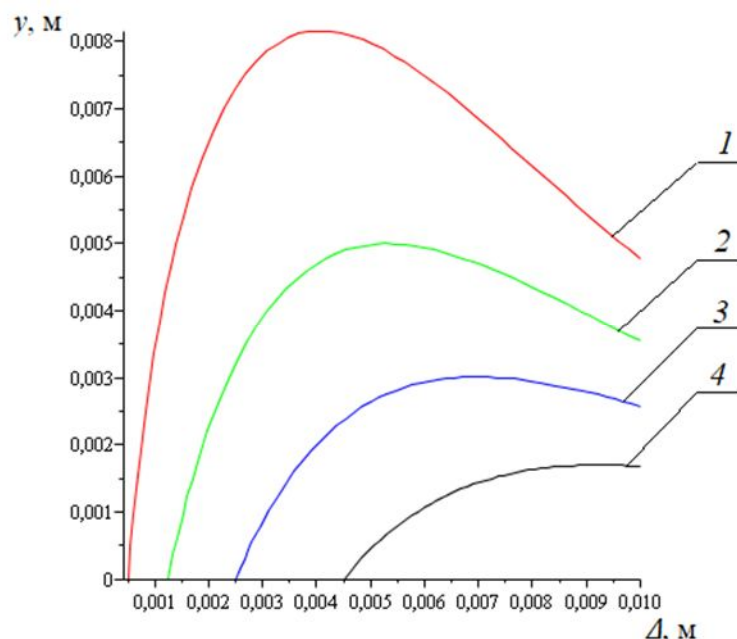
$$y = 2 \cdot \frac{x - x_0 + \sqrt{s} \ln \frac{1 - e^{-\frac{2x}{\sqrt{s}}}}{1 - e^{-\frac{2x_0}{\sqrt{s}}}}}{e^{\frac{x}{\sqrt{s}}} \left(1 + e^{-\frac{2x}{\sqrt{s}}}\right)}. \quad (40)$$

Согласно расчетной схемы, представленной на рисунке 1:

$$s = \Delta^2, \quad (41)$$

где Δ – радиальный зазор.

На рисунке 2 представлены кривые функциональной зависимости (40) для набора значений x_0 .

Рис. 2. Зависимость $y = f(x_0)$.

1 — для $x_0 = 0,1\Delta$; 2 — для $x_0 = \Delta/4$; 3 — для $x_0 = \Delta/2$; 4 — для $x_0 = \Delta - 0,0005$.

Анализ полученных графических зависимостей позволяет сделать заключение о размере d ширины выходного патрубка:

$$d = 1,6 \cdot \Delta. \quad (42)$$

Таким образом, согласно (42) ширина выходного патрубка, представленного на рисунке 1, должна в 1,6 раза превышать радиальный зазор в камере помола дезинтегратора.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Хинт И.А. Основы производства силикатных изделий. М.: Стройиздат, 1962. 636 с.
2. Кухлинг Х. 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.

Информация об авторах

Семикопенко Игорь Александрович, кандидат технических наук, доцент кафедры механического оборудования. E-mail: semickopenko.i@yandex.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. 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.

Чужинин Владислав Олегович, магистрант кафедры механического оборудования. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Поступила в июле 2019 г.

© Семикопенко И.А., Воронов В.П., Беляев Д.А., Чужинин В.О., 2020

***Semikopenko I.A., Voronov V.P., Belyaev D.A., Chuzhinov V.O.**

Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov

**E-mail: semickopencko.i@yandex.ru*

DESCRIPTION OF THE PROCESS OF A TWO PHASE MEDIA OUTFLOW FROM THE DISINTEGRATOR GRINDING CHAMBER IN THE PLANE PERPENDICULAR ROTORS AXIS

Abstract. *Currently, disintegrators are equipment used for grinding and mixing various materials. The advantages of disintegrators are the ability to control the rotation frequency of the rotors and change the geometric parameters to obtain a grinding product with the required grain composition, as well as the simplicity of the design. This article describes the flow of a two-phase medium from the grinding chamber to the outlet pipe, whose axis is shifted relative to the plane passing through the center of rotation of the rotors. A design scheme for the two-phase flow into the outlet pipe in a plane perpendicular to the axis of the cylindrical body is presented. It is assumed that the movement of the two-phase medium from the grinding chamber to the outlet pipe occurs at a constant modulus speed. The diagram of the two-phase flow is considered taking into account that the length of the outlet pipe significantly exceeds its width. The relations determining the change of the velocity vector components near the two-phase flow outlet to the outlet pipe are obtained. Based on the obtained expressions, the trajectory of the two-phase flow from the grinding chamber to the outlet pipe is determined. Thus, using the results of this theoretical study, it is possible to provide a rational ratio of the main design parameters of the disintegrator unloading unit.*

Keywords: *disintegrator, the grinding chamber, two-phase environment, particles.*

REFERENCES

1. Hint I.A. Fundamentals of production silicate products [Osnovy proizvodstva silikal'citnykh izdelij]. M.: Stroyizdat, 1962. 636 p. (rus)
2. Kuhling X. Handbook of physics [Sppavochnik 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. Construction and road machinery [Dezintegrator s povyshennymi nagruzkami na izmel'chaemyj material]. 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. Building materials Industry and construction industry [Gipoteza mekhanizma tonkogo izmel'cheniya v rotornykh mel'nichakh s zubchatopodobnym zacepleniem]. Promyshlennost' strojmaterialov i strojindustriya. Energo- i resurso-sberezhenie v usloviyah rynochnykh otnoshenij: 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)

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.

Voronov, Vitaly P. DSc, Professor. 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.

Chuzhinov, Vladislav O. Graduate student. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46

Received in July 2019

Для цитирования:

Семикопенко И.А., Воронов В.П., Беляев Д.А., Чужинов В.О. Описание процесса истечения двухфазной среды из камеры помола дезинтегратора в плоскости, перпендикулярной оси вращения роторов // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2020. № 1. С. 110–114. DOI: 10.34031/2071-7318-2020-5-1-110-114

For citation:

Semikopenko I.A., Voronov V.P., Belyaev D.A., Chuzhinov V.O. Description of the process of a two phase media outflow from the disintegrator grinding chamber in the plane perpendicular rotors axis. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2020. No. 1. Pp. 110–114. DOI: 10.34031/2071-7318-2020-5-1-110-114

DOI: 10.34031/2071-7318-2020-5-1-115-124

Севостьянов М.В., Сеница Е.В., Уральский А.В., Шкарпеткин Е.А., *Бабуков В.А.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

*E-mail: babukov-v@mail.ru

ВИБРО-ЦЕНТРОБЕЖНЫЕ АГРЕГАТЫ ДЛЯ КОМПЛЕКСНОЙ ПЕРЕРАБОТКИ ТЕХНОГЕННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Аннотация. В статье рассмотрена проблема комплексной переработки техногенных анизотропных материалов. Определено направление производственной деятельности, которое требует создания специального оборудования селективного воздействия на каждом этапе технологического процесса. Представлено описание устройств агрегатов, имеющих базовую кривошипно-ползунную схему работы механизма для выполнения различных технологических функций: измельчение, классификация, тонкий и сверхтонкий помол, гомогенизация, агломерация и др. Приведена краткая характеристика патентозащищенных конструкций вибро-центробежных агрегатов: центробежный помольно-смесительный агрегат, центробежный агрегат с параллельными помольными блоками, вибрационно-центробежный гранулятор, вибро-центробежный агрегат комбинированного действия. Рассмотрены конструктивные особенности вибро-центробежного агрегата комбинированного действия, предназначенного для комплексной переработки техногенных волокнистых материалов двумя способами. Подробно описан один из разработанных технологических вариантов реализации вибро-центробежного комбинированного воздействия на материал, при котором по схеме реализации одноветвевое последовательно выполняются процессы дезагломерации техногенных волокнистых материалов в первой камере, измельчение и смешение компонентов композиционной смеси во второй камере и микрогранулирование смеси с фиброаппендерами в третьей камере. Представлены результаты анализ кинематической схемы базового кривошипно-ползунный механизма и получена система уравнений для определения функций положения точек звеньев механизма, с учетом которых определены характеристики скоростных и силовых параметров в отдельных узлах агрегата. Получены аналитические выражения для расчета потребляемой мощности привода вибро-центробежного агрегата комбинированного действия. С учетом выявленных преимуществ вибро-центробежного агрегата определены направления его использования для комплексной переработки техногенных материалов.

Ключевые слова: техногенные материалы, многофункциональные агрегаты вибро-центробежного типа, кривошипно-ползунный механизм, кинематический анализ, кинематические и энергосиловые параметры.

Введение. Проблема комплексной переработки и утилизации техногенных материалов, защиты окружающей среды от загрязнений становится одной из важнейших проблем не только для нашей страны, но и для других промышленно развитых стран, которую должно решать человечество в XXI в. Ежегодно на территории РФ образуется около 6 миллиардов тонн техногенных материалов, из которых порядка 40 миллионов тонн – это твердые коммунальные отходы. Причем, только 4–5 % вовлекаются в переработку [1].

В мире насчитывается более 1000 наименований техногенных продуктов, перспективных для применения в виде вторичного сырья. Из этого количества 700 наименований включены в банки данных как предмет использования, но лишь 60 из них утилизируются тем или иным способом. В то же время, огромный объем техногенных материалов является неиспользуемым потенциалом ресурсо-энергосбережения каждого промышленно-развитого государства [2].

Особое место при этом занимает группа техногенных волокнистых материалов (ТВМ), характеризующихся анизотропной текстурой; малой насыпной плотностью и сыпучестью, повышенной влагоемкостью, склонностью к слеживаемости, повышенным коэффициентом трения и другими физико-механическими характеристиками, усложняющими их переработку (классификацию, измельчение, смешение, транспортировку и др.). К числу ТВМ относятся: базальтоватные и целлюлозно-бумажные отходы; отходы вермикулитового производства (гидрослюда) и химической промышленности, агропромышленного комплекса и др. Переработка указанных материалов требует создания специального оборудования селективного воздействия на каждом этапе технологического процесса [3–6].

Материалы и методы. С учетом актуальности решения вышеуказанных задач на кафедре ТКММ БГТУ им. В.Г. Шухова разработана серия агрегатов вибро-центробежного типа многофункционального действия. Каждый из агрега-

тов имеет конструктивно-технологические особенности, обеспечивающие выполнение поставленной задачи.

Так, центробежный помольно-смесительный агрегат [7] предназначен для тонкого и сверхтонкого измельчения сыпучих материалов с различными физико-механическими характеристиками. Данный агрегат обеспечивает селективное динамическое воздействие мелющих тел на материал за счет различных траекторий движения помольных камер.

Дальнейшим совершенствованием данного агрегата стало создание центробежного агрегата с параллельными помольными блоками [8, 9], что позволило существенно повысить производительность при тех же энергозатратах.

Основываясь на базовом кривошипно-ползунном механизме агрегата для тонкого измельчения материала, был разработан вибрационно-центробежный гранулятор [10]. Агрегат предназначен для гранулирования композиционных материалов с различными физико-механическими характеристиками, в том числе с низкой насыпной плотностью ($\rho_0 \leq 600 - 800 \text{ кг/м}^3$).

На этой же базе разработан и вибро-центробежный агрегат комбинированного действия, предназначенный для комплексной переработки техногенных волокнистых материалов и выполнения различных технологических операций.

Для обеспечения стабильных динамических режимов работы агрегатов разработаны технические устройства для автоматизированного управления технологическими процессами. [11, 12]

Каждая из разработанных конструкций ВЦА выполняет свои технологические функции за счет конструктивных особенностей и организации технологического процесса.

В качестве примера, рассмотрим конструктивные особенности и принцип действия ВЦА КД [13]. Вибрационно-центробежный агрегат комбинированного действия реализует следующие технологические процессы: дезагломерацию волокнистых материалов, например, базальто-волокнистых отходов или целлюлозно-бумажных отходов; классификацию; измельчение отдельных компонентов композиционной смеси, а также, ее гомогенизацию; получение фибронаполнителей в виде отдельных фибр или высококонцентрированных микрогранул.

Кроме того, использование последовательно или параллельно расположенных камер при обеспечении их герметичности позволяют осуществлять в них процессы пароувлажнения, сушки, вакуумирования и другие операции.

По схеме агрегата рис. 1 предусмотрена переработка ТВМ способом дезагломерации в верхней камере и микрогранулирования в нижней. Во втором варианте рис. 2 используется средняя камера для механоактивации, классификации или смешения материалов.

Верхняя камера выполнена призматической формы. Внутри камеры закреплены гирляндные цепные завесы. Верхние цепные завесы подпружинены по вертикали с помощью прорезиненных валиков, расположенных в их центральной части. Нижняя камера для переработки материала составлена из двух сопряженных в центре цилиндрических камер, ограниченных со стороны загрузки перегородками с загрузочными спиралевидными устройствами, а в центральной части – выгрузочными решетками. Кроме того, в цилиндрических камерах расположены мелющие тела.

Согласно схеме агрегата на рис. 2, устройство для получения фибронаполнителей содержит две камеры для переработки ТВМ и камеру микрогранулирования. Камера микрогранулирования, с загрузочным отверстием по центру и двумя выгрузочными отверстиями по краям, содержит по своему периметру прорезиненные вставки в виде усеченных конусов, направленных большими основаниями от центра в стороны выгрузки.

При необходимости переработки более плотных или слежавшихся ТВМ в обоих вариантах устройств прорезиненные валики могут быть соединены с виброустройствами [13].

Основная часть. Вышеуказанные конструкции ВЦА представляют кривошипно-ползунные механизмы, в которых функции кривошипа выполняет звено АВ, элемент ползуна С. Кинематическая связь звеньев кривошипа АВ и ползуна С выполняет рама (шатун), на которой закреплены рабочие камеры. Разработанные ВЦА имеют общую кинематическую схему (рис. 3), расчет которой сводится к следующему.

Проведенный анализ кинематической схемы механизма позволил получить систему уравнений для определения функций положения точек звеньев механизма, в которых закреплены рабочие камеры, в системе координат X_0Y_0 , связанной со стойкой О.

Для точки С:

$$\begin{cases} l_1 \cos \varphi_0 + l_2 \cos(\varphi_0 + \varphi_1) = 0, \\ l_1 \sin \varphi_0 + l_2 \sin(\varphi_0 + \varphi_1) = y_c, \end{cases} \quad (1)$$

где y_c – координата точки С, м; l_1 и l_2 – длины звеньев 1 и 2, м; φ_0 – угол поворота входного звена 1, град.; φ_1 – угол поворота звена 2 относительно звена 1, град.

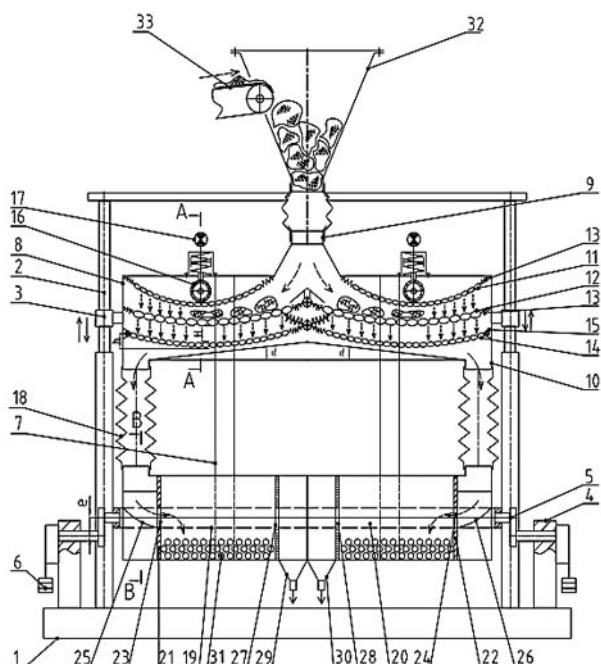


Рис. 1. Вибрационно-центробежный агрегат комбинированного действия с двумя камерами:

- 1 – станина; 2 – вертикальные направляющие;
3 – ползуны; 4 – опорные стойки; 5 – эксцентриковый вал; 6 – противовесы; 7 – рама; 8 – камера дезагломерации; 9 – загрузочное отверстие; 10 – выгрузочные отверстия; 11, 12, 14 – гирляндные цепные завесы; 13 – пружинные амортизаторы; 15 – крепление цепных завес; 16 – прорезиненные валики; 17 – виброустройства; 18 – гофрированные патрубки; 19, 20 – нижняя камера; 21, 22 – перегородки; 23, 24 – загрузочные отверстия; 25, 26 – загрузочные спиралевидные устройства; 27, 28 – выгрузочные решетки; 29, 30 – выгрузочные отверстия; 31 – мелющие тела; 32 – бункер; 33 – ленточный транспортер

Для дальнейших преобразований необходимо учесть, что

$$\varphi_1 = \frac{5}{2}\pi - (\varphi_0 + \varphi_2), \quad (2)$$

$$\varphi_2 = -\arcsin \frac{l_1 \cos \varphi_0}{l_2}, \quad (3)$$

где φ_2 – угол поворота звена 3 относительно звена 2, град.

Для точки К получим зависимости изменения координат точки К

$$\begin{aligned} x_K &= x_K(\varphi_0), y_K = y_K(\varphi_0): \\ l_1 \cos \varphi_0 + l_K \cos(\varphi_0 + \varphi_1) &= x_K, \quad (1.4) \\ l_1 \sin \varphi_0 + l_K \sin(\varphi_0 + \varphi_1) &= y_K, \end{aligned}$$

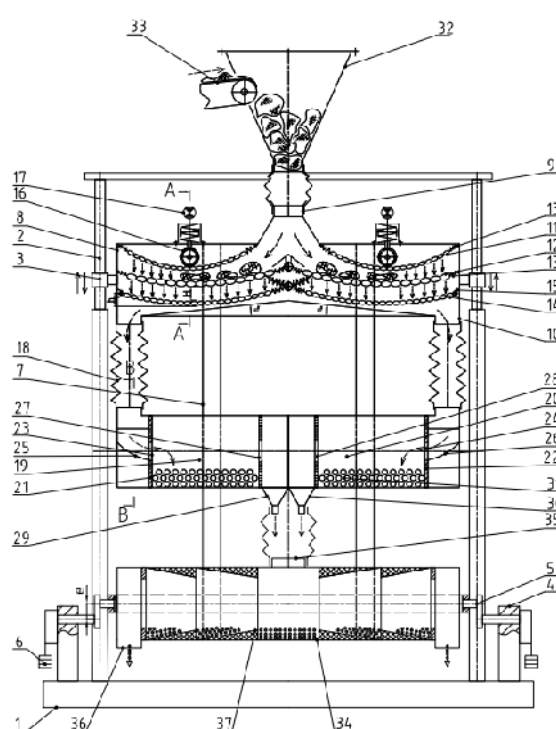


Рис. 2. Вибрационно-центробежный агрегат комбинированного действия с тремя камерами:

- 1 – станина; 2 – вертикальные направляющие;
3 – ползуны; 4 – опорные стойки;
5 – эксцентриковый вал; 6 – противовесы;
7 – рама; 8 – камера дезагломерации;
9 – загрузочное отверстие; 10 – выгрузочные отверстия; 11, 12, 14 – гирляндные цепные завесы; 13 – пружинные амортизаторы; 15 – крепление цепных завес; 16 – прорезиненные валики; 17 – виброустройства; 18 – гофрированные патрубки; 19, 20 – нижняя камера; 21, 22 – перегородки; 23, 24 – загрузочные отверстия; 25, 26 – загрузочные спиралевидные устройства; 27, 28 – выгрузочные решетки; 29, 30 – выгрузочные отверстия; 31 – мелющие тела; 32 – бункер; 33 – ленточный транспортер; 34 – камера микрогранулирования; 35 – загрузочное отверстие; 36 – выгрузочные отверстия; 37 – прорезиненные вставки

где l_K – расстояние от точки В до точки К вдоль звена 2, м.

Получаем функции положения:

точки С:

$$y_C = l_1 \sin \varphi_0 + \sqrt{l_2^2 - (l_1 \cos \varphi_0)^2}, \quad (5)$$

точки К:

$$x_K = l_1 \cos \varphi_0 + l_K \cos(\varphi_0 + \varphi_1) \quad (6)$$

$$y_K = l_1 \sin \varphi_0 + l_K \sin(\varphi_0 + \varphi_1);$$

точки В, совершающей движение по окружности:

$$x_B = l_1 \cos \varphi_0; \quad (7)$$

$$y_B = l_1 \sin \varphi_0.$$

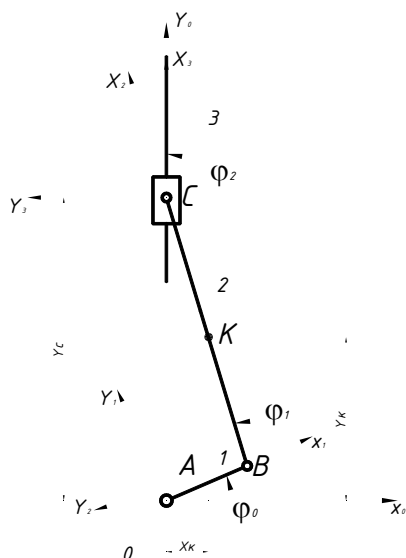


Рис. 3. Расчетная схема кривошипно-ползунного механизма

С целью установления рациональных соотношений длин звеньев рычажного механизма введем коэффициент v относительной длины шатуна

$$v = \frac{l_2}{l_1}. \quad (8)$$

Обозначив величину эксцентриситета $l_1 = e$, выражения (5), (6), запишем в следующем виде:

$$y_c = e(\sin \varphi_0 + \sqrt{v^2 - \cos^2 \varphi_0}); \quad (9)$$

$$x_k = e[\cos \varphi_0 + \xi v \cos(\varphi_0 + \varphi_1)]; \quad (10)$$

Используя полученные аналитические зависимости, проводим кинематический расчет ВЦА с определением величины перемещений, скоростей и ускорений центров звеньев. Исходными данными для кинематических расчетов являются конструктивные параметры экспериментального образца ВЦА, для которого величина эксцентриситета вала $e = 0,02$ м; коэффициент смещения средней камеры $\xi = 0,5$; коэффициент относительной длины шатуна $v = 33$. Угловая скорость эксцентрикового вала постоянна и равна $\omega = 40$ с⁻¹. Использовались также результаты теоретических исследований агрегатов подобного кинематического типа [14–17].

Проведенный нами кинематический расчет параметров агрегата позволил определить характер скоростных и силовых параметров в отдельных узлах агрегата для расчета потребляемой мощности привода ВЦА.

Рассматривались условия действия силовых нагрузок на кинематические звенья и узлы ВЦА для дезагломерации ТВМ и гранулообразования композиционной смеси (рис. 4).

В данном случае изучался один из указанных технологических вариантов реализации

ВЦА, в котором при одновальевом варианте реализуются последовательно процессы дезагломерации ТВМ в первой камере, измельчение и смешение компонентов композиционной смеси во второй камере и микрогранулирование смеси с фиброаппенителями в третьей камере.

На кинематические звенья ВЦА воздействуют следующие усилия. На ползуны верхней камеры дезагломерации А: силы тяжести камеры дезагломерации и ее рабочих элементов $\bar{G}_{01}$; сила нормального давления $\bar{N}$ ползуну на направляющие камеры дезагломерации и сила инерции $\bar{F}_{01y}^u$ верхней камеры. На кинематическое звено O_1O_3 – шатун в его центральной части (камеру измельчения – смешения В): сила тяжести камеры с мелющей загрузкой $\bar{G}_{02}$, силы инерции по оси X – $\bar{F}_{02x}^u$ и оси Y – $\bar{F}_{02y}^u$. На камеру гранулирования С, расположенную в нижней части шатуна O_1O_3 и соединенную с кривошипом O_3 : сила тяжести $\bar{G}_{03}$ и сила инерции $\bar{F}_{03}^u$. В точке опоры эксцентрикового вала $\bar{R}_{0x}$ и $\bar{R}_{0y}$ и крутящий момент $M_{\text{эксц}}$, передаваемый эксцентриковым валом. В точке расположения контргрузов (противовесов) O_4 : сила тяжести контргруза $\bar{G}_{к.гр.}$ и сила инерции $\bar{F}_{04}^u$.

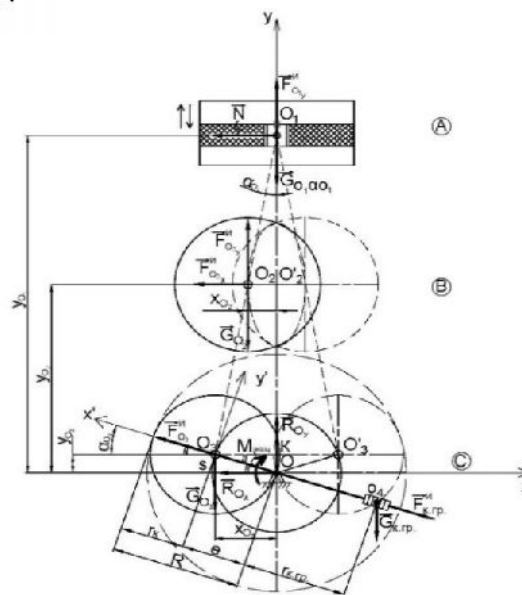


Рис. 4. Схема воздействия силовых нагрузок на кинематические звенья и узлы вибро-центробежного агрегата

Для определения мощности, затрачиваемой на преодоление сил сопротивления в кинематических звеньях, узлах и системе контргрузов ВЦА, используем метод определения приведенных моментов, заключающийся в равенстве мощностей, развиваемых приведенным моментом и моментами, возникающими от действия сил тяжести, инерции и других, приложенных к звеньям агрегата [18–19].

$$N_{пр} = \sum_i^n N_i = \sum_i^n G_i F_i U_i \cos \alpha_i + \sum_i^n M_i \omega_i \quad (11)$$

где F_i – сила, приложенная к звену i , Н; M_i – момент, приложенный к звену i , Н·м; U_i – скорость движения точки приложения силы G_i (F_i), м/с; α_i – угол, образованный между векторами силы (G_i) F_i и скорости U_i , град.; ω_i – угловая скорость i -го кинематического звена, рад/с.

При определении мощности (11) массу ползунов и перерабатываемых в камерах материалов, в силу их незначительных величин по сравнению с рабочими элементами агрегата (подвижной рамы с тремя камерами, эксцентриковым валом, контргрузом и др.), не учитываем. Для удобства расчетов силы тяжести рамы и эксцентрикового вала приведены к соответствующим силам

$$N_{пр} = (\bar{G}_{01}V_{01} \cos \alpha_{1i} + \bar{F}_{01y}^u V_{01} \cos \alpha_{2i} + \bar{G}_{02}V_{02} \cos \alpha_{3i} + \bar{F}_{02y}^u V_{02} \cos \alpha_{4i} + \bar{G}_{03}V_{03} \cos \alpha_{5i} + \bar{F}_{03y}^u V_{03} \cos \alpha_{6i} + M_{эксц} \omega_{эксц} + 2\bar{G}_{к.гр.} V_{к.гр.} \cos \alpha_{7i} + 2\bar{F}_{к.гр.}^u V_{к.гр.} \cos \alpha_{8i}), \quad (12)$$

где V_{01}, V_{02}, V_{03} – соответственно, скорости точек (O_1, O_2, O_3) приложения сил тяжести и инерции, м/с; $V_{к.гр.}$ – скорость точки приложения сил тяжести $G_{к.гр.}$ и инерции $\bar{F}_{к.гр.}^u$ контргрузов, м/с; $M_{эксц}$ – момент, приложенный к эксцентриковому валу, Н·м, $M_{эксц} = \omega_{эксц} \cdot g \cdot e$; $\omega_{эксц}$ – угловая скорость вращения эксцентрикового вала, рад/с; $\alpha_{1i}, \alpha_{2i}, \alpha_{3i}, \alpha_{4i}, \alpha_{5i}, \alpha_{6i}, \alpha_{7i}, \alpha_{8i}$ – соответственно, углы между векторами силовых нагрузок (G_i, F_i) и их скоростей (V_i) в точках приложения центров масс, град.

Рассмотрим схему воздействия силовых нагрузок (рис. 4) для определения параметров выражения (12). При этом, используя принцип Даламбера, считаем, что механическая система будет уравновешенной, если к существующим активным силам и реакциям связи будут приложены силы инерции.

Определим координаты точек приложения силовых нагрузок. Положение камер ВЦА определяет углом α_{03} (в системе координат XOY) при вращении точки O_3 по круговой траектории во-

тяжести камер дезагломерации, измельчения – смешения и гранулирования. Силовые нагрузки от действия веса звеньев O_1O_3 и O_3O_4 не учитываем ввиду их незначительных величин. Силы трения при перемещении ползунов в направляющих камеры дезагломерации также не значительны, $F_{тр} = N \cdot f_{тр} - \min$.

Согласно приведенной одноветвевой кинематической схеме ВЦА и указанных силовых нагрузок (рис. 4) аналитическое выражение для определения потребляемой мощности привода имеет вид:

круг центра O , а также углом α_{01} , при перемещении кинематического звена O_1O_3 – шатуна [14, 20].

Координаты точки O_1 по оси Y получаем из следующих рассуждений.

При рассмотрении ΔO_1SK и ΔOSK имеем

$$O_3K = O_1O_3 \cdot \sin \alpha_{01} = OO_3 \cos \alpha_{03}, \quad (13)$$

или полагая – длины шатуна $l_{O_1O_3} = O_1O_3$ и кривошипа $l_{OO_3} = e$, а также $K_e = \frac{e}{l_{O_1O_3}}$ – коэффициент отношения длины кинематических звеньев, кривошипа и шатуна, из последнего выражения (13) имеем

$$\sin \alpha_{01} = K_e \cos \alpha_{03} \\ \cos \alpha_{01} = \sqrt{1 - \sin^2 \alpha_{01}} = \sqrt{1 - K_e^2 \cos^2 \alpha_{03}}, \quad (14)$$

Тогда координата точки O_1 по оси Y

$$Y_{01} = e \sin \alpha_{03} + l_{O_1O_3} \cos \alpha_{01}, \quad (15)$$

Для выражения (11) потребляемой мощности привода скорость перемещения ползуна V_{01} определяются при дифференцировании координаты Y_{01} , по углу поворота кривошипа α_{03} и угловой скорости вращения эксцентрикового вала.

$$V_{01} = Y_{01} = \omega_{эксц} \cdot e (\cos \alpha_{03} + 0,5K_e \sin \alpha_{03}), \quad (16)$$

Сила инерции, действующая на камеру дезагломерации, равна

$$\bar{F}_{01y}^u = -m_A a_{Ay}, \quad (17)$$

где m_A – масса камеры дезагломерации, кг;

$$a_{Ay} = V_{01} = Y_{01} = -\omega_{эксц}^2 \cdot e (\sin \alpha_{03} - K_e \cos 2\alpha_{03}), \quad (18)$$

Соответствующие значения координат X_{02}, Y_{02} , скорости V_{02} силы инерции $\bar{F}_{02x}^u, \bar{F}_{02y}^u$ центра

a_{Ay} – ускорение движения камеры дезагломерации, м/с².

Значение a_{Ay} определяем как производную скорости перемещения

O_2 второй камеры («В») ВЦА определяются из выражений:

$$X_{02} = 0,5l \cos \alpha_{03} \\ Y_{02} = e \sin \alpha_{03} + 0,5l_{O_1O_3}, \quad (19) \\ V_{02} = X_{02} = -\omega_{эксц} 0,5e \sin \alpha_{03};$$

$$V_{02y} = Y_B = \omega_{\text{эксц}} e (\cos \alpha_{03} + 0,25K \sin 2 \alpha_{03}), \quad (20)$$

$$\bar{F}_{02}^u = -m_B a_{Bx}, \quad (21)$$

где m_B – масса второй камеры, кг; a_{Bx} , a_{By} – соответственно ускорение движения второй камеры по осям X и Y , м/с^2 .

Для выражения (21) значения ускорений по соответствующим координатам X и Y будет иметь вид:

$$\begin{aligned} a_{Bx} &= \dot{V}_{02x} = \ddot{V}_{02x} = -0,5\omega_{\text{эксц}}^2 e \cos \alpha_{03}, \\ a_{By} &= \dot{V}_{02y} = \ddot{V}_{02y} = -\omega_{\text{эксц}}^2 e (\sin \alpha_{03} - 0,5K_e \cos 2 \alpha_{03}), \end{aligned} \quad (22)$$

Для точек O_3 (нижняя камера) и O_4 (противовес) координаты, соответственно, равны (рис. 4).

$$X_{03} = e \cos \alpha_{03}, Y_{03} = e \sin \alpha_{03};$$

$$X_{04} = -r_{\text{к.гр.}} \cos \alpha_{04};$$

$$Y_{04} = -r_{\text{к.гр.}} \sin \alpha_{04}, \quad (23)$$

Тогда окружные скорости для вышеуказанных точек O_3 и O_4 :

$$\begin{aligned} V_{03x} &= \dot{X}_{03} = \omega \frac{dx_{03}}{d\alpha_{03}} = \omega \cdot \frac{d(e \cos \alpha_{03})}{d\alpha_{03}} = -\omega e \sin \alpha_{03}, \\ V_{03y} &= \dot{Y}_{03} = \omega \frac{dy_{03}}{d\alpha_{03}} = \omega \cdot \frac{d(e \sin \alpha_{03})}{d\alpha_{03}} = \omega \cdot r_{\text{к.гр.}} \cos \alpha_{03}, \end{aligned} \quad (24)$$

$$\begin{aligned} V_{04x} &= \dot{X}_{04} = \omega \frac{dx_{04}}{d\alpha_{04}} = \omega \frac{d(-r_{\text{к.гр.}} \cdot \cos \alpha_{04})}{d\alpha_{04}} = \omega \cdot r_{\text{к.гр.}} \sin \alpha_{04} \\ V_{04y} &= \dot{Y}_{04} = \omega \frac{dy_{04}}{d\alpha_{04}} = \omega \frac{d(-r_{\text{к.гр.}} \cdot \sin \alpha_{04})}{d\alpha_{04}} = -\omega \cdot r_{\text{к.гр.}} \cos \alpha_{04} \end{aligned} \quad (25)$$

Учитывая, что кривошип $OO_3=l$ -эксцентриситет и рычаг противовеса $OO_4=r_{\text{к.гр.}}$ осуществляют равномерное вращательное движение с угловой скоростью $\omega_{\text{эксц.}}$, а силы инерции направлены вдоль линии O_3O_4 , то полагая

$$\bar{F}_i^u = m_i \cdot \frac{\partial^2 l}{\partial t^2} = m_i (\omega_i \cdot r_i)^2 r_i = m_i \omega^2 r_i,$$

получим значения сил инерции в центрах камеры гранулирования O_3 и противовеса O_4 :

$$\bar{F}_{03}^u = m_{03} \omega_{\text{эксц.}}^2 e, \quad (26)$$

$$\bar{F}_{\text{к.гр.}}^u = m_{04} \omega_{\text{эксц.}}^2 r_{\text{к.гр.}}, \quad (27)$$

где m_{03} , m_{04} – массы камеры гранулирования и контргруза, соответственно, кг.

Проведенные комплексные экспериментальные исследования подтвердили адекватность установленных закономерностей.

Так при исходных значениях параметров: масса камер - $m_1=48$ кг, $m_2=42$ кг, $m_3=42$ кг; угловой скорости эксцентрикового вала - $\omega_{\text{эксц.}}=40$ с^{-1} ; величины эксцентриситета вала - $e=0,02$ м; $V_{\text{к.гр.}}=5$ м/с; момент, приложенный к эксцентриковому валу - $M_{\text{эксц.}}=7,8$ Н·м; $\cos \alpha_{01}=0,866$; $\cos \alpha_{02}=0,5$; $\cos \alpha_{03}=-0,5$; $\cos \alpha_{04}=-0,866$; $\cos \alpha_{05}=-0,866$; $\cos \alpha_{06}=-0,5$; $\cos \alpha_{07}=0,5$; $\cos \alpha_{08}=0,866$, а также, согласно выражению, $\bar{G}_i = m_i g$, получаем значения $\bar{G}_{01}=470,88$ Н; $\bar{G}_{02}=412,02$ Н; $\bar{G}_{03}=412,02$ Н. По формулам (6), (20), (24) получаем значения $V_{01}=-0,38$ м/с, $V_{02}=-0,34$ м/с, $V_{03}=-0,69$ м/с. По формулам (17), (21), (26) и (27) получаем значения

$\bar{F}_{01}^u=1339,39$ Н; $\bar{F}_{02}^u=8$ Н; $\bar{F}_{03}^u=1344$ Н; $\bar{F}_{\text{к.гр.}}^u=196,2$ Н. Согласно выражению (12) получаем значение мощности привода $N=1,1$ кВт.

Выводы. Таким образом, для переработки техногенных материалов с различными физико-механическими характеристиками нами разработаны вибро-центробежные агрегаты различного конструктивного исполнения и технического назначения, выполняющие различные технологические операции со снижением энергозатрат на 20–30 % при их реализации. Данные агрегаты имеют следующие преимущества перед известными конструкциями:

- обладают универсальными технологическими возможностями при базовой кинематической схеме устройства;
- обеспечивают селективное воздействие динамических нагрузок при каждой последовательной стадии переработки материала;
- обладают модульным принципом, позволяющим осуществлять быструю перенастройку агрегата для выполнения различных технологических процессов;
- позволяют реализовать различные технологические процессы на единой конструктивно-технологической основе (деагломерацию ТВМ, измельчение, классификацию, смешение, гранулирование, термо-влажностную обработку, сушку, вакуумирование, экстракцию и другие операции);

• обеспечивают возможность их использования для перспективных технологий: термолитной переработки техногенных материалов, 3D-технологий, получения наноструктурированных композиционных смесей и др.

Источник финансирования. Работа выполнена в рамках государственного задания № 9.11523.2018/11.12

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Гринин А.С., Новиков В.Н. Промышленные и бытовые отходы: хранение, утилизация, переработка. Москва: Фаир-пресс, 2002. 336 с.
2. Gurieva V.A., Belova T.C. Structural Features of the Cement-sand Mortar Reinforced with a Modified Basalt Microfiber // Procedia Engineering, 2016. Vol. 150. Pp. 2163–2167.
3. Lesovik V.S., Glagolev E.S., Popov D.Y., Lesovik G.A., Ageeva M.S. Textile-reinforced concrete using composite binder based on new types of mineral raw materials // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering 2018. 032033.
4. Гурьева В.А., Прокофьева В.В. Строительная керамика на основе композиции техногенного серпентинитового сырья и низкосортных глиен // Строительные материалы. 2012. №8. С. 20–21.
5. Защепкина К.А. Перспективы применения материалов с добавлением базальтовых волокон и базальтового ровинга // Наукові нотатки. 2014. № 45. С. 215–219.
6. Стенин А.А., Лесовик В.С. Композиционные материалы на основе природных армирующих волокон / Сб.: Современные технологии деревообрабатывающей промышленности // Материалы международной научно-практической онлайн-конференции. 2018. С. 315–320.
7. Пат. 2277973, Российская Федерация, Помольно-смесительный агрегат / Гридчин А.М., Севостьянов В.С., Лесовик В.С., Уральский В.И., Сеница Е.В.; заявитель и патентообладатель БГТУ им. В.Г. Шухова; заявитель и патентообладатель ООО «ТК РЕЦИКЛ», №2005118705/03, заявл. 24.06.2005; опубл. 20.06.06, Бюл. №17.
8. Пат. 2381837, Российская Федерация, Помольно-смесительный агрегат / Гридчин А.М., Севостьянов В.С., Лесовик В.С., Уральский В.И., Уральский А.В., Сеница Е.В. // заявитель и патентообладатель БГТУ им. В.Г. Шухова; заявитель и патентообладатель ООО «ТК РЕЦИКЛ». № 2008109444/03, заявл. 11.03.2008, опубл. 20.02.2010, Бюл №5.
9. Елисеева М.А. Опыт и перспектива применения механоактивации в технологии производства бетонов // Молодой ученый. 2015. № 6–1 (21). С. 23–26.
10. Пат. 2412753, Российская Федерация, Вибрационно-центробежный гранулятор / Ильина Т.Н., Севостьянов М.В., Шкарпеткин Е.А., Уральский В.И.; заявитель и патентообладатель БГТУ им. В.Г. Шухова. № 2009135800/05; заявл. 25.09.09; опубл. 27.02.2011, Бюл. №6.
11. Пат. 2494813, Российская Федерация, Помольно-смесительный агрегат с автоматической балансировкой / Глаголев С.Н., Рубанов В.Г., Севостьянов В.С., Уральский В.И., Стативко А.А., Стативко С.А., Бушуев Д.А.; заявитель и патентообладатель БГТУ им. В.Г. Шухова. № 2012117656/13; заявл. 27.04.2012; опубл. 10.10.13, Бюл. №28.
12. Красулин Н.А., Солодов В.С. Гранулирование угольной пыли на виброгрануляторе // Сб. мат-ов X Всероссийской, сб. докл. науч.-практ. конф. молодых ученых с международным участием «Россия молодая». 2018. С. 53305.1–53305.5.
13. Пат. 2692624, Российская Федерация, Устройство и способ переработки волокнистых техногенных материалов для получения фиброаполнителей (варианты) / Севостьянов М.В., Полуэктова В.А., Севостьянов В.С., Сирота В.В., Уральский В.И., Мартаков И.Г., Бабуков В.А.; заявитель и патентообладатель БГТУ им. В.Г. Шухова. № 2018131819; заявл. 03.09.2018, опубл. 25.06.2019, Бюл. № 18.
14. Сеница Е.В., Севостьянов В.С., Уральский В.И., Уральский А.В. Теоретические основы создания центробежных измельчителей с селективным динамическим воздействием на материал. Монография. Белгород: Изд-во БГТУ, 2013. С. 36–44.
15. Стативко С.А., Рубанов В.Г., Севостьянов В.С., Уральский В.И. Исследование вибрации центробежного помольного агрегата в зависимости от загрузки // Актуальные проблемы науки: сб. докл. междунар. науч.-практ. конф., (Кузнецк, 30 сент. 2011 г.), Кузнецк: ИП Тугушев С.Ю., 2011. Т.3. С. 99–102.
16. Бушуев Д.А., Воробьев Н.Д., Рубанов В.Г. Анализ динамических нагрузок в подшипниках помольно-смесительного агрегата как объекте автоматизации // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2014. № 2. С. 143–148.
17. Рубанов В.Г., Севостьянов В.С., Стативко С.А., Бушуев Д.А. Вопросы автоматизации помольно-смесительных агрегатов для получения высокодисперсных материалов // Сб. докл. международной науч. практ. конференции «Инновационные технологии и материалы». Белгород, 11–12 октября 2011 г. Белгород: Изд-во БГТУ им. В.Г. Шухова. 2011. Ч. 2. С. 215–220.
18. Баби́чев А.П., Баби́чев И.А. Основы вибрационной технологии. Ростов н/Д, 1999. 621 с.

19.Крейнин Г.В. Кинематика, динамика и точность механизмов: Справочник. М.: Машиностроение, 1984. 214 с.

20.Тарг С.М. Краткий курс теоретической механики. М.: Высш. шк., 2001. 216 с.

Информация об авторах

Севостьянов Максим Владимирович, кандидат технических наук, доцент кафедры Технологические комплексы, машины и механизмы E-mail: msev31@mail.ru Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Синица Елена Владимировна, кандидат технических наук, доцент кафедры Технологические комплексы, машины и механизмы E-mail: evsinita@mail.ru Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Уральский Алексей Владимирович, кандидат технических наук, доцент кафедры Технологические комплексы, машины и механизмы E-mail: alexx_1984.10@mail.ru Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Шкарпеткин Евгений Александрович, кандидат технических наук, доцент кафедры Технологические комплексы, машины и механизмы E-mail: jonick86@inbox.ru Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Бабуков Владимир Александрович, аспирант кафедры Технологические комплексы, машины и механизмы E-mail: babukov-v@mail.ru Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Поступила в октябре 2019 г.

© Севостьянов М.В., Синица Е.В., Уральский А.В., Шкарпеткин Е.А., Бабуков В.А., 2020

Sevostyanov M.V., Tit E.V., Uralsky A.V., Shkarpetkin E.A., *Babukov V.A.

Belgorod state technological University. V.G. Shukhova,

**E-mail: babukov-v@mail.ru*

VIBRO-CENTRIFUGAL UNITS FOR COMPLEX PROCESSING OF TECHNOGENIC MATERIALS

Abstract. The article deals with the problem of complex processing of technogenic anisotropic materials. The direction of production activity, which requires the creation of special equipment for selective exposure at each stage of the technological process, is determined. A description of the devices of aggregates that have a basic crank-slide scheme of the mechanism for performing various technological functions is presented: grinding, classification, thin and ultrafine grinding, homogenization, agglomeration, etc. A brief description of patent-protected designs of vibro-centrifugal units is given: centrifugal grinding and mixing unit, centrifugal unit with parallel grinding blocks, vibration-centrifugal granulator, vibro-centrifugal unit of combined action. The design features of the vibro-centrifugal unit of combined action intended for complex processing of technogenic fibrous materials in two ways are considered. One of the developed technological options for the implementation of the vibration-centrifugal combined effect on the material is described in detail, in which, according to the single-branch variant, the processes of deagglomeration of technogenic fibrous materials in the first chamber, grinding and mixing of the components of the composite mixture in the second chamber and micro-granulation of the mixture with fiber fillers in the third the camera. The results of the analysis of the kinematic scheme of the basic crank-slide mechanism are presented and a system of equations for determining the position functions of the points of the mechanism links is obtained, the characteristics of speed and power parameters in individual units of the unit are defined. Taking into account the identified advantages of the vibro-centrifugal unit, the directions of its use for complex processing of technogenic materials are determined.

Keywords: technogenic materials, multifunctional units of vibro-centrifugal type, crank-slide mechanism, kinematic analysis, kinematic and power parameters.

REFERENCES

1. Grinin A.S., Novikov V.N. Industrial and household waste: storage, utilization, processing

[Promyshlennyye i bytovye othody: hranenie, utilizatsiya, pererabotka.]. Moscow: Fair press, 2002. 336 p. (rus)

2. Gurieva V.A., Belova T.C. Structural Features of the Cement-sand Mortar Reinforced with a Modified Basalt. Microfiber Proceedings Engineering. 2016. Vol. 150. Pp. 2163–2167.

3. Lesovik V.S., Glagolev E.S., Popov D.Y., Lesovik G.A., Ageeva M.S. Textile-reinforced concrete using composite binder based on new types of mineral raw materials. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2018. Pp. 032033.

4. Guryeva V.A., Prokofieva V.V. Construction ceramics based on the composition of technogenic serpentinite raw materials and low-grade clays [Stroitel'naya keramika na osnove kompozicii tekhnogennogo serpentinitovogo syr'ya i nizkosortnyh glin]. Building materials. 2012. No. 8. Pp. 20–21. (rus)

5. Zasyapkina K.A. prospects of application of materials with the addition of basalt fibers and basalt roving [Perspektivy primeneniya materialov s dobavleniem bazalt'ovykh volokon i bazalt'ovogo rovinga]. Nukov notatki. 2014. No. 45. Pp. 215–219. (rus)

6. Stenin A.A., Lesovik V.S. Composite materials based on natural reinforcing fibers [Kompozicionnye materialy na osnove prirodnih armiruyushchih volokon] Sb.: Sovremennye tekhnologii derevoobrabatyvayushchej promyshlennosti. Materialy mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy onlajn-konferencii. 2018. Pp. 315–320. (rus)

7. Gridchin A.M., Sevostyanov V.S., Lesovik V.S., Uralsky V.I., Sinitsa E.V. Grinding and mixing unit. Patent RF, no. 2277973, 2006. (rus)

8. Gridchin A.M., Sevostyanov V.S., Lesovik V.S., Uralsky V.I., Uralsky A.V., Sinitsa E.V. Grinding and mixing unit. Patent RF, no. 2381837, 2010. (rus)

9. Eliseeva M.A. Experience and prospects of using mechanical activation in technology of production of concrete [Opyt i perspektiva primeneniya mekhanoaktivatsii v tekhnologii proizvodstva betonov]. Molodi scientist. 2015. No. 6–1 (21). Pp. 23–26. (rus)

10. Ilyina T.N., Sevostyanov M.V., Shkarpetkin E.A., Uralsky V.I. Vibration-centrifugal granulator. Patent RF, no. 2412753, 2011. (rus)

11. Glagolev S.N., Rubanov V.G., Sevostyanov V.S., Uralsky V.I., Stativko A.A., Stativko S.A., Bushuev D.A. Grinding and mixing unit with automatic balancing. Patent RF, no. 2412753, 2012. (rus)

12. Krasulin N. A., Solodov V. S. Granulation of coal dust on vibrogranulator [Granulirovanie

ugol'noj pyli na vibrogranulyatore] Sb. mat-ov H Vserossiyskoj, sb. dokl. nauch.-prakt. konf. molodyh uchenykh s mezhdunarodnym uchastiem «Rossiya molodaya». 2018. Pp. 53305.1–53305.5. (rus)

13. Sevostyanov M.V., Poluektova V.A., Sevostyanov V.S., Sirota V.V., Uralsky V.I., Martakov I.G., Babukov V.A. Device and method of processing of fibrous technogenic materials for obtaining fiber fillers (variants). Patent RF, no. 2381837, 2019. (rus)

14. Sinitsa E.V., Sevostyanov V.S., Uralsky V.I., Uralsky A.V. Theoretical bases of creation of centrifugal grinders with selective dynamic influence on a material [Teoreticheskie osnovy sozdaniya centrebeznyh izmel'chitelej s selektivnym dinamicheskim vozdejstviem na material. Monografiya]. Belgorod: Publishing house of BSTU, 2013. Pp. 36–44. (rus)

15. Stativko S.A., Rubanov V.G., Sevostyanov V.S., Uralsky V.I. investigation of vibration of centrifugal grinding unit depending on loading [Issledovanie vibratsii centrebezhnogo pomol'nogo agregata v zavisimosti ot zagruzki]. Aktual'nye problemy nauki: sb. dokl. mezhdunar. nauch.-prakt. konf., (Kuzneck, 30 sent. 2011 g.), Kuzneck: IP Tugushev S.Yu., 2011. Vol. 3. Pp. 99–102. (rus)

16. Bushuev D. A., Vorobiev N. D., Rubanov V. G. Analysis of dynamic loads in the bearings of the grinding and mixing unit as an object of automation [Analiz dinamicheskikh nagрузok v podshipnikah pomol'no-smesitel'nogo agregata kak ob'ekte avtomatizatsii]. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov, 2014. No. 2. Pp. 143–148. (rus)

17. Rubanov V.G., Sevostyanov V.S., Stativko S.A., Bushuev D.A. questions of automation of grinding and mixing units for obtaining highly dispersed materials [Voprosy avtomatizatsii pomol'no-smesitel'nyh agregatov dlya polucheniya vysokodispersnykh materialov]. Belgorod, 11-12 October 2011, Belgorod: Publishing house of BSTU. V.G. Shukhov. 2011. CH. 2-P. 215–220. (rus)

18. Babichev A.P., Babichev I.A. Fundamentals of vibration technology [Osnovy vibracionnoj tekhnologii]. Rostov n/D, 1999. 621 p. (rus)

19. Kreinin G.V. Kinematics, dynamics and accuracy of mechanisms: Handbook [Kinematika, dinamika i tochnost' mekhanizmov: Spravochnik]. Moscow: Mashinostroenie, 1984. 214 p. (rus)

20. Targ S.M. Short course of theoretical mechanics [Kratkij kurs teoreticheskoy mekhaniki]. M.: No. SHK., 2001. 216 p. (rus)

Information about the authors

Sevostyanov, Maxim V. PhD, Associate Professor. E-mail: msev31@mail.ru. Belgorod state technological University. V.G. Shukhov. 46 Kostyukova str., Belgorod, 308012, Russia.

Tit, Elena V. PhD, Associate Professor. E-mail: evsinitsa@mail.ru. Belgorod state technological University. V. G. Shukhov. 46 Kostyukova str., Belgorod, 308012, Russia.

Uralsky, Alexey V. PhD, Associate Professor. E-mail: alexx_1984.10@mail.ru. Belgorod state technological University. V.G. Shukhov. 46 Kostyukova str., Belgorod, 308012, Russia.

Shkarpetkin, Evgeny A. PhD, Associate Professor. E-mail: jonick86@inbox.ru. Belgorod state technological University. V.G. Shukhov. 46 Kostyukova str., Belgorod, 308012, Russia.

Babukov, Vladimir A. Post-graduate Student. E-mail: babukov-v@mail.ru. Belgorod state technological University. V.G. Shukhov. 46 Kostyukova str., Belgorod, 308012, Russia.

Received in October 2019

Для цитирования:

Севостьянов М.В., Сеница Е.В., Уральский А.В., Шкарпеткин Е.А., Бабуков В.А. Вибро-центробежные агрегаты для комплексной переработки техногенных материалов // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2020. № 1. С. 115–105. DOI: 10.34031/2071-7318-2020-5-1-115-124

For citation:

Sevostyanov M.V., Tit E.V., Uralsky A.V., Shkarpetkin E.A., Babukov V.A. Vibro-centrifugal units for complex processing of technogenic materials. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2020. No. 1. Pp. 115–124. DOI: 10.34031/2071-7318-2020-5-1-115-124

Научное издание
«Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова»
№ 1, 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 №ФС77-26533

Подписано в печать 29.01.20. Формат 60×84/8
Усл. печ. л. 14,41. Уч.-изд. л. 15,5
Тираж 40 экз. Заказ 11. 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