

Научно-теоретический журнал

Вестник

Белгородского государственного технологического
университета им. В.Г. Шухова

ISSN 2071- 7318

1

2019

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
БЕЛГОРОДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
им. В.Г. ШУХОВА

НАУЧНО-ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ
ВЕСТНИК
БГТУ им. В.Г. ШУХОВА

№ 1, 2019 год

Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова

научно-теоретический журнал

К рассмотрению и публикации в НТЖ «Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова» принимаются научные статьи и обзоры по фундаментальным и прикладным вопросам в области строительства, архитектуры, 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: http://vestnik_rus.bstu.ru

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

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

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

Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov scientific and theoretical journal

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

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

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

- 05.23.22** – Urban planning, rural settlement planning (architecture)
- 05.17.06** – Technology and processing of polymers and composites (technical sciences)
- 05.17.11** – Technology of silicate and refractory nonmetallic materials (technical sciences)
- 05.02.05** – Robots, mechatronics and robotic systems (technical sciences)
- 05.02.07** – Technology and equipment of mechanical and physical-technical processing (technical sciences)
- 05.02.08** – Engineering technology (technical sciences)
- 05.02.13** – Machines, units and processes (branch-wise) (technical sciences)

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

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

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

Главный редактор

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

Заместитель главного редактора

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

Члены редакционной коллегии

Айзенштадт Аркадий Михайлович, д-р хим. наук, проф., заведующий кафедрой композиционных материалов и строительной экологии Высшей инженерной школы, Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова (РФ, г. Архангельск).
Баженов Юрий Михайлович, академик РААСН наук, д-р техн. наук, проф., заведующий кафедрой технологии вяжущих веществ и бетона НИУ МГСУ (РФ, г. Москва).

Благоевич Деян, PhD, проф. Высшей технической школы по профессиональному образованию в Нише (Республика Сербия, г. Ниш).
Богданов Василий Степанович, д-р техн. наук, проф., заведующий кафедрой механического оборудования Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова (РФ, г. Белгород).

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Пивинский Юрий Ефимович, д-р техн. наук, проф., научный руководитель ООО «Научно-внедренческая фирма «КЕРАМБЕТ-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., заведующий кафедрой 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., заместитель заведующего кафедрой «Строительные материалы» Баухаус-Университет Ваймар (Германия, г. Веймар).

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

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

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

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

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

CHIEF EDITOR

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

DEPUTY OF CHIEF EDITOR

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

MEMBER OF EDITORIAL BOARD

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Nikolai A. Shapovalov, Doctor of Technical Sciences, Professor, First Vice-Rector, 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).

К 85-летию профессора Рахимбаева Шарка Матрасуловича

8

СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА**Углова Е.В., Ширяев Н.И., Ни Г., Поздняков Н.О.**

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ ЩЕБЕНОЧНО-МАСТИЧНЫХ И ДРЕНИРУЮЩИХ АСФАЛЬТОБЕТОННЫХ СМЕСЕЙ ДЛЯ СЛОЕВ ИЗНОСА

9

Авдушева М.А., Айзенштадт А.М.

АГРЕГАТИВНАЯ УСТОЙЧИВОСТЬ ВОДНЫХ ДИСПЕРСНЫХ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ МАГНЕТИТА

16

Воронов В.В.

КОМПОЗИЦИОННЫЕ ВЯЖУЩИЕ С ПРИМЕНЕНИЕМ ОПОКОВИДНОГО МЕРГЕЛЯ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ПЕНОБЕТОНА

21

Дроков А.В.

РАЦИОНАЛЬНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОТХОДОВ АВТОМОБИЛЬНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ СОСТАВОВ ФИБРОБЕТОНОВ

28

Соков В.Н., Баженова С.И., Петров М.А., Пепеляева А.Ю.

ФАСАДНАЯ НЕГОРЮЧАЯ КРАСКА НА ОСНОВЕ КАЛИЕВОГО ЖИДКОГО СТЕКЛА: ОСОБЕННОСТИ СОСТАВА

33

Боцман Л.Н., Соболев К.Г., Полякова Р.О., Марков А.Ю.

АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВНЕДРЕНИЯ ТЕХНОЛОГИИ ХОЛОДНОГО РЕСАЙКЛИНГА С ПРИМЕНЕНИЕМ МОДИФИКАТОРА «ДОРЦЕМ ДС-1»

39

Бобылева Т.Н.

УСРЕДНЕННАЯ МОДЕЛЬ СЛОИСТЫХ УПРУГО-ПОЛЗУЧИХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

45

Смоляго Г.А., Фролов Н.В., Дронов А.В.

АНАЛИЗ КОРРОЗИОННЫХ ПОВРЕЖДЕНИЙ ЭКСПЛУАТИРУЕМЫХ ИЗГИБАЕМЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

52

Горбунов И.А., Капустин Д.Е.

РАСЧЕТНОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ БЕТОНА И СТАЛЕФИБРОБЕТОНА В ВЕРОЯТНОСТНОЙ ТРАКТОВКЕ

58

Абдразаков Ф.К., Панкова Т.А., Орлова С.С.

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ВЕРОЯТНОСТИ И ВОЗМОЖНЫХ ПОСЛЕДСТВИЙ АВАРИЙ НА ПЛОТИНЕ

65

Карпов Д.Ф., Сеницын А.А.

ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ЛУЧИСТОГО ОТОПЛЕНИЯ В ТЕПЛИЦАХ

73

Шаптала В. Г., Горлов А.С., Северин Н.Н., Радоуцкий В.Ю., Шаптала В.В., Гусев Ю.М.

ВОПРОСЫ КОМПЛЕКСНОГО ОБЕСПЫЛИВАНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПОМЕЩЕНИЙ ПРЕДПРИЯТИЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

81

Ильвицкая С.В., Михайлова И.В.

ОПЫТ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЗАРУБЕЖНЫХ ДОШКОЛЬНЫХ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ УЧРЕЖДЕНИЙ: ПРИЕМЫ ФОРМИРОВАНИЯ АРХИТЕКТУРНО-ПЛАНИРОВОЧНОЙ СТРУКТУРЫ

86

Скрябин П.В.

ПРОБЛЕМАТИКА И НАПРАВЛЕНИЕ ГРАДОСТРОИТЕЛЬНОГО РАЗВИТИЯ РЕКРЕАЦИОННОЙ СРЕДЫ ГОРНОГО АЛТАЯ

95

Аль-Савафи М.Х., Перькова М.В., Аль-Джабери А.А.Х.

ИЗУЧЕНИЕ ИЗМЕНЕНИЙ В ЗЕМЛЕПОЛЬЗОВАНИИ ТЕРРИТОРИИ Г.БЕЛГОРОДА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ И ГИС МЕТОДОВ

103

ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ**Тарасенко В.Н.**

К ВОПРОСУ О СТАБИЛЬНОСТИ ПЕННОЙ МАТРИЦЫ В ПЕНОБЕТОНЕ

112

МАШИНОСТРОЕНИЕ И МАШИНОВЕДЕНИЕ**Семикопенко И.А., Воронов В.П., Смирнов Д.В.**

РАСЧЕТ МОЩНОСТИ, ЗАТРАЧИВАЕМОЙ НА ДВИЖЕНИЕ ДВУХФАЗНОЙ СРЕДЫ В ПАТРУБКЕ РЕЦИКЛА ДЕЗИНТЕГРАТОРА

119

Лозовая С.Ю., Лозовой Н.М., Землянский М.А.

СОВЕШЕНСТВОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ СИСТЕМЫ ПОСТОЯННЫХ МАГНИТОВ БАРАБАНЫХ СЕПАРАТОРОВ

124

Остановский А.А.

АНАЛИЗ И ВЫБОР РАЦИОНАЛЬНОЙ СТРУКТУРНОЙ СХЕМЫ ДВУХКАСКАДНОЙ МЕЛЬНИЦЫ ДИНАМИЧЕСКОГО САМОИЗМЕЛЬЧЕНИЯ

130

Стрельников В.Н., Волошин А.И., Суков М.Г.

ИНТЕРФЕРЕНЦИЯ ЗУБЬЕВ В ЗАЦЕПЛЕНИИ КРУПНОЙ ВОЛНОВОЙ ПЕРЕДАЧИ

142

The article devoted to the 85th Anniversary of professor Rahimbaev Shark Matrasulovich 8

CONSTRUCTION AND ARCHITECTURE

- Uglova E.V., Shiryayev N.I., Ni G., Pozdnyakov N.O.**
COMPARATIVE ANALYSIS OF OPERATIONAL PROPERTIES OF STONE MASTIC AND DRAINING ASPHALT-CONCRETE MIXTURES FOR WEAR LAYER 9
- Avdusheva M.A., Ayzenshtadt A.M.**
AGGREGATIVE STABILITY OF AQUEOUS DISPERSE SYSTEMS BASED ON MAGNETITE 16
- Voronov V.V.**
COMPOSITE BINDERS WITH THE USE OF MARL FOR THE PRODUCTION OF FOAM CONCRETE 21
- Drokov A.V.**
RATIONAL WASTE MANAGEMENT IN THE AUTOMOTIVE INDUSTRY AT DESIGN OF FIBROBETON COMPOSITION 28
- Sokov V.N., Bazhenova S.I., Petrov M.A., Pepelyaeva A.Yu.**
THE NONFLAMMABLE FACADE SILICATE PAINT ON THE BASIS OF THE LIQUID POTASSIUM GLASS: FEATURE OF THE COMPOSITION 33
- Botsman L.N., Sobolev K.G., Polyakova R.O., Markov A.U.**
EFFICIENCY ANALYSIS OF IMPLEMENTATION THE COLD RECYCLING TECHNOLOGY USING THE MODIFIER «DORCEM DS-1» 39
- Bobyleva T.N.**
AVERAGED MODEL OF LAYERED ELASTIC-CREEPING COMPOSITE MATERIALS 45
- Smolyago G.A., Frolov N.V., Dronov A.V.**
ANALYSIS OF CORROSION DAMAGES OF REINFORCED CONCRETE STRUCTURES IN OPERATION 52
- Gorbunov I.A., Kapustin D.E.**
STATISTICAL SUBSTANTIATION OF CONCRETE AND STEEL FIBER REINFORCED CONCRETE STRENGTH 58
- Abdrazakov F.K., Pankova T.A., Orlova S.S.**
PREDICTION OF PROBABILITY AND CONSEQUENCES OF ACCIDENTS ON THE DAM 65
- Karpov D.F., Sinitsyn A.A.**
TECHNO-ECONOMIC ASSESMENT OF RADIANT HEATING EFFECTIVENESS IN GREENHOUSES 73
- Shaptala V.G., Gorlov A.S., Severin N.N., Radautsky V.Yu., Shaptala V.V., Gusev Yu.M.**
QUESTIONS OF COMPLEX DEPOSITION OF INDUSTRIAL PREMISES OF ENTERPRISES OF INDUSTRY OF BUILDING MATERIALS 81
- Ilvitskaya S.V., Mykhaylova I.V.**
EXPERIENCE OF DESIGNING FOREIGN PRESCHOOL EDUCATIONAL INSTITUTIONS: METHODS OF FORMATION ARCHITECTURAL AND PLANNING STRUCTURE 86
- Skryabin P.V.**
THE PROBLEMS AND DIRECTION OF URBAN DEVELOPMENT OF THE RECREATIONAL TERRITORY IN GORNY ALTAI 95
- Al-Sawafi M.H., Perkova M.V., Al-Jaberi A.A.H.**
STUDY OF CHANGES IN THE LAND USE OF BELGOROD WITH REMOTE SENSING AND GIS METHODS 103

CHEMICAL TECHNOLOGY

- Tarasenko V.N.**
TO THE ISSUE OF FOAMED MATRIX STABILITY IN THE FOAM CONCRETE 112

MACHINE BUILDING AND ENGINEERING SCIENCE

- Semikopenko I.A., Voronov V.P., Smirnov D.V.**
POWER CALCULATION EXPENDED ON MOVEMENT OF A TWO-PHASE MEDIUM IN THE PIPE BRANCH OF RECYCLING DISINTEGRATOR 119
- Lozovaya S.Yu., Lozovoy N.M., Zemlyansky M.A.**
CONSTRUCTION IMPROVEMENT OF PERMANENT MAGNETS SYSTEM OF DRUM SEPARATORS 124
- Ostanovsky A.A.**
ANALYSIS AND SELECTION OF RATIONAL STRUCTURAL SCHEME OF TWO-STAGE DYNAMIC SELF-GRINDING MILLS 130
- Strelnikov V.N., Voloshin A.I., Sukov M.G.**
INTERFERENCE OF COGS IN GEARING THE LARGE WAVE TRANSMISSION 142

К 85-летию профессора Рахимбаева Шарка Матрасуловича

Руководство, профессорско-преподавательский состав и сотрудники БГТУ им. В.Г. Шухова поздравляют Шарка Матрасуловича Рахимбаева с 85-летием.

Доктор технических наук, профессор БГТУ им. В.Г. Шухова Шарк Матрасулович Рахимбаев – крупный ученый-практик в области строительного материаловедения, широко известный в мировых научных кругах.

Шарк Матрасулович родился 7 февраля 1934 г в Узбекистане. В 1958 г. он окончил Среднеазиатский политехнический институт. После окончания института продолжил обучение в аспирантуре Академии наук Таджикистана. В 1963 г. Шарк Матрасулович защитил кандидатскую диссертацию по теме «Влияние гидротермальной обработки на сульфатостойкость портландцемента». В 1964–1980 гг. работал в Институте геологии и разведки нефтяных и газовых месторождений Министерства геологии Узбекской ССР. В этот период своей деятельности ученый разработал целую серию тампонажных материалов, по технологическим показателям не уступающих зарубежным аналогам. Первое внедрение разработки, выполненной под непосредственным руководством Ш.М. Рахимбаева, произошло уже в 1966 году на аварийной фонтанирующей скважине под Бухарой, где за 2,5 года пожара выгорели десятки миллиардов кубометров газа. Фонтан решили остановить с помощью ядерного взрыва, который был произведен в пробуренной рядом скважине. Состав специального цементного раствора был разработан юбилером. Это была работа, которую ранее в мире никто не выполнял. Результаты работы были широко освещены в советской прессе, а технические детали работ, в порядке научно-технического обмена по мирному использованию ядерной энергии, вскоре были переданы США.

В 1974 г. Ш.М. Рахимбаев защитил докторскую диссертацию по теме «Регулирование технических свойств тампонажных растворов».

С 1980 г. Шарк Матрасулович работает в Белгородском государственном технологическом университете им. В.Г. Шухова. Сначала он руководил кафедрой процессов и аппаратов, а затем кафедрой строительных изделий и конструкций.

В настоящее время Рахимбаев Ш.М. является профессором кафедры строительного материаловедения, изделий и конструкций. Под его руководством разрабатывается ряд вопросов по теории гидратации, твердения и коррозии цементов. Считает, что пробелы в этой области тормозят разработку эффективных методов управления твердением цементов, шлаковых и других вяжущих. Шарк Матрасулович придает большое значение методологии научных исследований, полагая, что имеет право на существование только такая теоретическая работа, которая позволяет предсказывать новые явления, дает обоснование для получения новых материалов и методик исследований.

Шарком Матрасуловичем выполнено более 30 достаточно крупных разработок, многие из которых внедрены в производство в странах СНГ, включая Россию. Из них наиболее масштабной является технология бурения и цементирования глинистых пород различного генезиса, которая обеспечивает наименьшее намокание и диспергирование глинистых пород на стенках скважин. Реализация этого проекта уже дала экономический эффект в сотни миллиардов рублей.

Внедрение разработанной под его руководством сырьевой смеси на Белгородском и Харьковском цементных заводах уменьшило выбросы ртути, мышьяка и таллия в окружающую среду. Под руководством и непосредственным участием учёного проводились исследования по проблематике использования отходов КМА, ряд технических разработок нашли применение в строительном комплексе Белгородской области.

Ш.М. Рахимбаев является автором более 300 публикаций, в том числе 11 монографий, 5 учебных пособий, 35 авторских свидетельств на изобретение. Под его научным руководством защищено 37 кандидатских и 3 докторские диссертации по четырем специальностям ВАК.

Шарк Матрасулович имеет награды: нагрудный знак «Почетный работник высшего профессионального образования РФ», почетное звание «Заслуженный работник высшего образования Российской Федерации», лауреат премии имени А.Н. Косыгина, неоднократно награждался почетными грамотами Министерств Геологии и Высшего образования СССР.

В этот знаменательный юбилей руководство, профессорско-преподавательский состав и сотрудники БГТУ им. В.Г. Шухова от всей души желают Вам, уважаемый Шарк Матрасулович, дальнейших успехов на поприще служения людям и науке, неиссякаемой энергии, жизнелюбия, крепкого здоровья, благополучия и радости на долгие годы!



СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

DOI: 10.12737/article_5c5061fd688293.78594078

¹Углова Е.В., ^{1,*}Ширяев Н.И., ¹Ни Г., ¹Поздняков Н.О.¹Донской Государственный Технический Университет
Россия, 344000, Ростов-на-Дону, ул.Социалистическая 162

*E-mail: nikita24121990@gmail.com

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ ЩЕБЕНОЧНО-МАСТИЧНЫХ И ДРЕНИРУЮЩИХ АСФАЛЬТОБЕТОННЫХ СМЕСЕЙ ДЛЯ СЛОЕВ ИЗНОСА

Аннотация. Одной из важнейших задач дорожного хозяйства является обеспечение безопасности движения при эксплуатации автомобильных дорог. Для предотвращения преждевременных разрушений дорожной одежды, необходимо использовать современные композиционные материалы не только с высокими прочностными характеристиками, но и с надежными эксплуатационными показателями качества. В зарубежной практике существует опыт применения защитных слоев покрытия из щебеночно-мастичных и высокопористых или пористых асфальтобетонных смесей с открытой гранулометрией (дренирующих), позволяющих существенно повысить безопасность дорожного движения. При сравнительном анализе качественных характеристик щебеночно-мастичных и дренирующих асфальтобетонных смесей, применяемых при устройстве слоев износа, были определены физико-механические и эксплуатационные свойства асфальтобетонов.

Исследования показали, что применение дренирующего асфальтобетона в качестве слоя износа дорожной одежды повышает сцепление колес автомобиля с покрытием, снижает вероятность аквапланирования и уменьшает количество брызг от впереди движущегося транспорта, что позволит повысить безопасность дорожного движения в дождливую погоду. При этом, важно отметить и тот факт, что покрытие из дренирующего асфальтобетона более устойчиво к колееобразованию по сравнению с щебеночно-мастичным асфальтобетоном.

Ключевые слова: слой износа, верхний слой покрытия, щебеночно-мастичный асфальтобетон, дренирующий асфальтобетон, колееобразования, фильтрация.

Введение. На территории Российской Федерации на автомобильных дорогах с высокой грузонапряженностью верхний слой покрытия преимущественно устраивают из щебеночно-мастичного асфальтобетона, основным назначением которого является обеспечение комфортного и безопасного движения транспортных средств. Долговечность такого конструктивного слоя во многом связана с качеством подбора состава асфальтобетонной смеси.

Анализ зарубежных методов проектирования асфальтобетонных смесей выявил, что основной целью на стадии подбора состава является создание оптимальной структуры асфальтобетона, обеспечивающей требуемые эксплуатационные свойства в течении срока службы [4].

Во многих странах Европы в качестве верхнего слоя покрытия (закрывающего слоя) применяют асфальтобетонные смеси с открытой гранулометрией, так называемые дренирующие асфальтобетонные смеси. По показателям эксплуатационных свойств такие асфальтобетоны должны соответствовать следующим критериям: быть устойчивыми к колееобразованию; обеспе-

чивать высокие сцепные качества покрытия автомобильной дороги и предотвращать аквапланирование.

Для оценки возможности эффективного применения в IV д.к.з. в качестве слоя износа дренирующих асфальтобетонных смесей взамен щебеночно-мастичных асфальтобетонных смесей были проведены экспериментальные исследования и осуществлен сравнительный анализ их эксплуатационных свойств.

Методология. В настоящей статье представлены результаты экспериментальных исследований щебеночно-мастичной асфальтобетонной смеси ЩМА-10 по ГОСТ 31015-2002 и дренирующей асфальтобетонной смеси ДА-10 по СТО АВТОДОР 2.15-2016 [7, 8].

Для подбора составов асфальтобетонных смесей использовались щебень фракции 5-10мм, песок из отсеивов дробления, активированный минеральный порошок, стабилизирующая добавка СД-39 [2] и полимерно-модифицированный битум марки ПМБ 50/70 68-20 [1]. Содержание модифицированного вяжущего в ЩМА-10 составляло 6,5 %, а в ДА-10 – 5,0 %. Все исходные компоненты смесей соответствовали требованиям действующей нормативно-технической

документации. Кривые гранулометрического состава представлены на рис. 1.

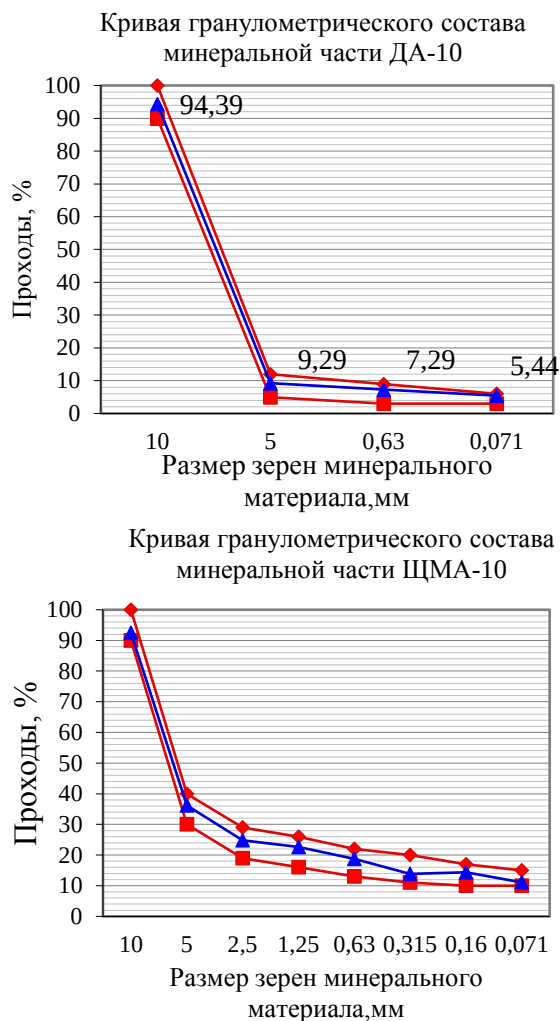


Рис. 1. Кривые гранулометрического состава минеральной части дренажного и щебеночно-мастичного асфальтобетона

Определение показателей физико-механических и эксплуатационных свойств исследуемых асфальтобетонных смесей осуществлялось в соответствии с требованиями действующей нормативно-технической документацией.

Основная часть. Дренажный асфальтобетон – это пористый материал, применяемый в качестве покрытия автомобильных дорог поверх плотного асфальтобетона и обеспечивающий быстрый отвод воды с поверхности дороги. Покрытия из дренажного асфальтобетона предназначены для увеличения безопасности на дорогах, но помимо высоких сцепных характеристик они обладают и рядом других преимуществ. Высокая пористость обеспечивает водопроницаемость, что уменьшает количество поверхностной воды и, таким образом, уменьшает образование брызг при дождливой погоде. Это ведет к снижению риска аквапланирования и увеличению видимости на дорогах, а в конечном итоге – к повышению уровня безопасности дорог.

В рамках экспериментальных исследований были выполнены испытания по определению ряда показателей физико-механических свойств асфальтобетонов на соответствие как требований ГОСТ 31015-2002, так и СТО АВТОДОР 2.15-2016. Результаты испытания представлены в табл. 1.

Из анализа полученных результатов испытаний можно сделать вывод о том, что дренажный асфальтобетон по прочностным показателям физико-механических свойств соответствует требованиям ГОСТ 31015, но при этом у ЦМА-10 фактические значения данных показателей выше.

Таблица 1

Показатели физико-механических свойств исследуемых асфальтобетонов

№ п/п	Наименование показателя	Ед. изм.	Требования		Фактические значения	
			по ГОСТ 31015-2002	по СТО АВТОДОР 2.15-2016	ЦМА-10	ДА-10
1	Остаточная пористость	%	2,0–4,5	12,0–16,0	2,24	13,6
2	Плотность	гр/см ³	–	–	2,41	2,36
3	Предел прочности при сжатии при температурах, не менее:	МПа				
	20 °С		2,5	–	4,2	3,3
	50 °С		0,7	–	1,1	0,9
6	Коэффициент морозостойкости, не менее	–	–	0,85	0,97	0,88
7	Скорость фильтрации, не менее	см/сек	–	0,50	0,15	1,21

Важно отметить, что для предотвращения аквапланирования асфальтобетон должен обладать фильтрационной способностью, т.е. беспрепятственно отводить воду с поверхности слоя из-

носа через поры. При анализе по данному показателю ЦМА-10 выявлено, что его фильтрационная способность существенно ниже требований, а, следовательно, такой асфальтобетон будет об-

ладать меньшим коэффициентом сцепления колеса с покрытием в дождливую погоду. Благодаря высокой пористости дренажного асфальтобетона слоя износа, устроенные с их применением, снижают на 10–15 дБ уровень шума, возникающего при взаимодействии шины с покрытием, относительно щебеночно-мастичных асфальтобетонов.

На рис. 2 представлены образцы-плиты из щебеночно-мастичного асфальтобетона ЩМА-10 и дренажного асфальтобетона ДА-10 при определении их фильтрационной способности на приборе «ПФДА» [6].



а) ЩМА-10, б) ДА-10

Рис. 2. Отвод воды с покрытия автомобильной дороги

Слой износа – это верхний слой дорожного покрытия, задача которого обеспечение необходимого сцепления автотранспорта с дорогой и защита основных слоев дорожного покрытия от транспортной нагрузки и погоднo-климатических факторов.

С целью определения срока службы слоя износа по устойчивости к пластическому колееобразованию были приготовлены образцы-плиты на секторном уплотнителе, иметирующем процесс уплотнения асфальтобетонной смеси кактами в производственных условиях [9].

Образцы-плиты выдерживались сутки при комнатных условиях в воздушной среде, а непосредственно перед началом испытания термостатировались в климатической камере при температуре $(60 \pm 1)^\circ\text{C}$ в течении 4-х часов, после чего подвергались воздействию колеса при заданном количестве циклов.

Результаты испытания представлены на рис. 3 и 4.

По полученным данным, можно сделать вывод о том, что щебеночно-мастичный асфальтобетон, обладая на 10–15 % более высокими прочностными характеристиками, в 2 раза менее устойчив к возникновению пластических деформаций, чем дренажный асфальтобетон.

При прогнозировании срока службы покрытия из дренажного асфальтобетона по предельно допустимому значению колееобразования (2 см) в соответствии с действующей нормативно-технической документацией, его эксплуатация возможна в течении 7 лет без образования пластических деформаций, в то время как эксплуатация покрытия из щебеночно-мастичного асфальтобетона возможна лишь 4,5 года.

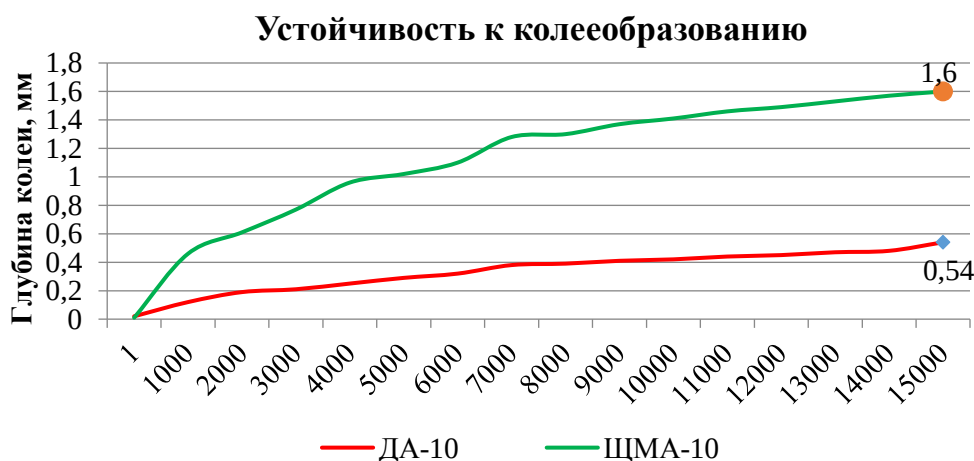


Рис. 3. График показателя «устойчивость к колееобразованию» исследуемых асфальтобетонов

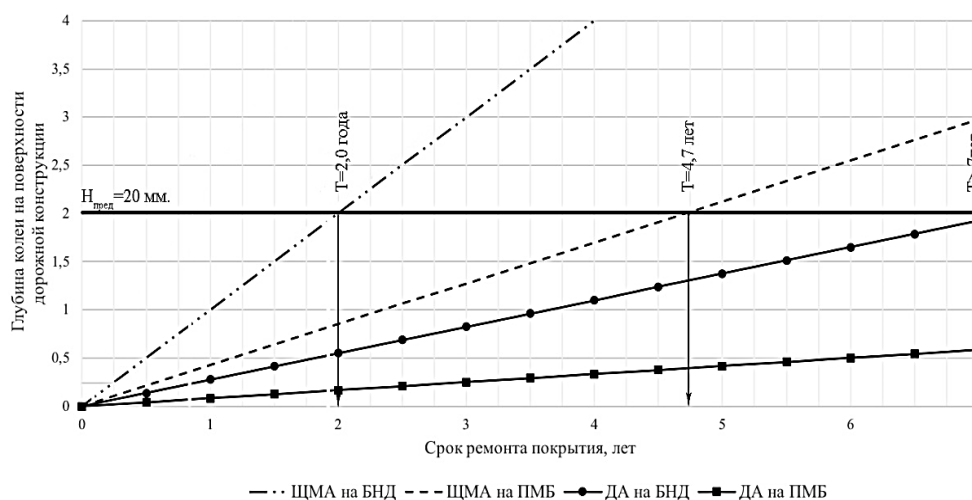
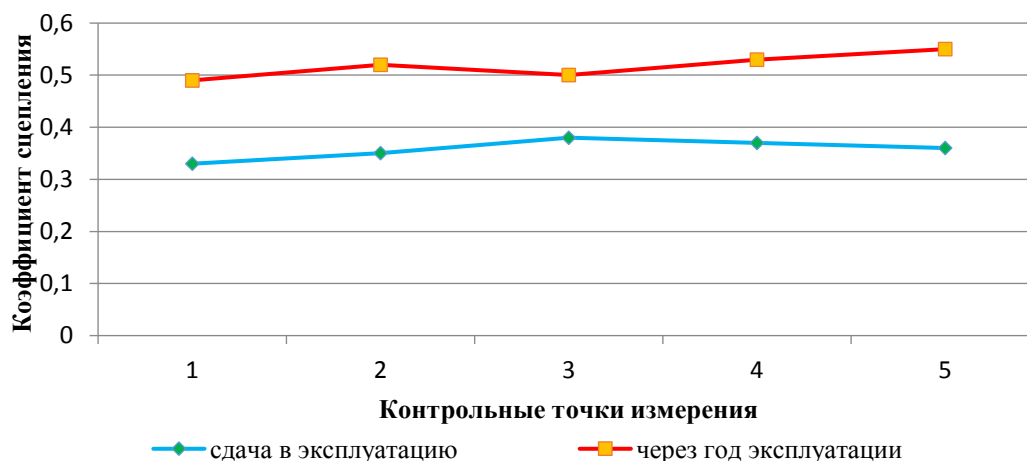


Рис. 4. График прогнозирования срока службы слоя износа по предельно допустимому значению колееобразования

Определение сцепных свойств колес транспортного средства с покрытием осуществлялось инструментальным способом при помощи прибора ППК-МАДИ на опытно-экспериментальном

участке, устроенном в 2017 г. в Ростовской области. Натурные измерения проводились на момент сдачи участка в эксплуатацию и через год эксплуатации.

Коэффициент сцепления колеса с покрытием автомобильной дороги (слой износа из ЩМА-10)



Коэффициент сцепления колеса с покрытием автомобильной дороги (слой износа из ДА-10)

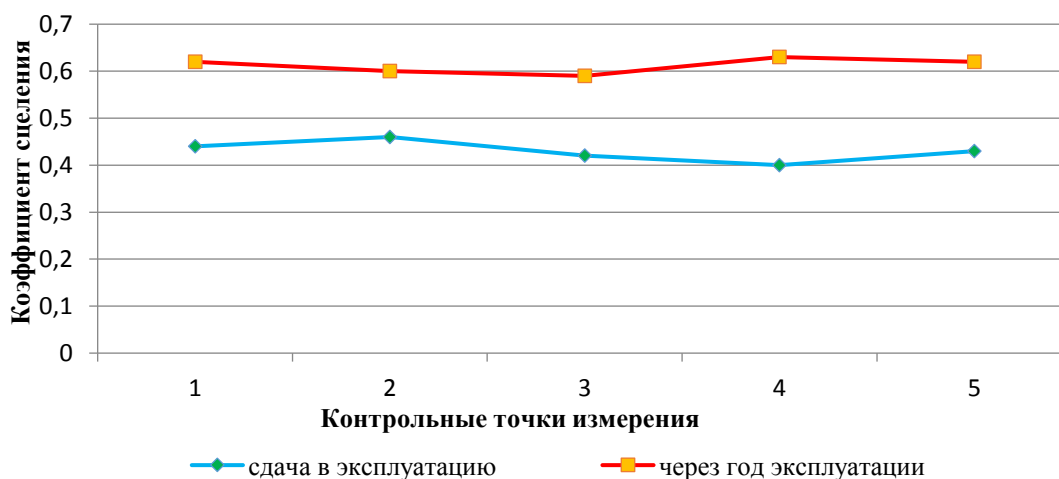


Рис. 5. График показателя «коэффициент сцепления колеса с покрытием автомобильной дороги

По результатам анализа данных рис. 5, можно сделать вывод о том, что коэффициент сцепления колеса с покрытием из дренирующих асфальтобетона ДА-10, как на момент сдачи участка в эксплуатацию, так и через год эксплуатации, выше на 15–18 %, чем из щебеночно-мастичного асфальтобетона ЩМА-10. Это во многом связано с тем, что толщина битумной пленки у дренирующих асфальтобетонов меньше, чем у щебеночно-мастичных асфальтобетонов.

Выводы. При сравнительном анализе качественных характеристик щебеночно-мастичных и дренирующих асфальтобетонных смесей, применяемых при устройстве слоев износа, были определены физико-механические и эксплуатационные свойства асфальтобетонов.

Исследования показали, что применение дренирующего асфальтобетона в качестве слоя износа дорожной одежды повышает сцепление колес автомобиля с покрытием, снижает вероятность аквапланирования и уменьшает количество брызг от впереди движущегося транспорта, что позволит повысить безопасность дорожного движения в дождливую погоду. При этом, важно отметить и тот факт, что покрытие из дренирующего асфальтобетона более устойчиво к колееобразованию по сравнению с щебеночно-мастичным асфальтобетоном [5].

Таким образом, представленные результаты сравнительных испытаний щебеночно-мастичного и дренирующего асфальтобетонов, свидетельствуют об эффективности применения последних в качестве слоя износа дорожной одежды в IV дорожно-климатической зоне.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Чернов С.А., Ширяев Н.И., Майор Ю.А. Опыт применения отходов резиновой крошки в щебеночно-мастичных асфальтобетонных смесях / Строительство-2013: материалы Междунар. науч.-практ. конф. // Рост. гос. строит. ун-т. Ростов н/Д.: РГСУ, 2013. С. 198–200

2. Чирва Д.В., Колев В.Г., Чернов С.А. Анализ эффективности влияния стабилизирующих и полимерных добавок на физико-механические показатели щебеночно-мастичных смесей // Автомобильные дороги. 2013. № 8 (981). С. 70–75.

3. Ширяев Н.И., Гаврилов В.А., Чернов С.А. Дренирующие асфальтобетоны для верхних слоев покрытия / Строительство – 2015: материалы Междунар. науч.-практ. конф. // Рост. гос. строит. ун-т. Ростов н/Д.: РГСУ, 2015. С. 54–57.

4. Илиополов С.К., Мардиросова И.В., Дармодехин П.О., Чернов С.А. Модифицированная щебеночно-мастичная асфальтобетонная смесь с дисперсно-армирующей добавкой «FORTA» // [Электронный ресурс] // НАУКОВЕДЕНИЕ. [Электронный ресурс]: электрон. науч. журн. 2012. № 4(13). Режим доступа: <http://naukovedenie.ru/PDF/87trgsu412.pdf>.

5. Чернов С.А., Ширяев Н.И., Конорева О.В., Голюбин К.Д. Эксплуатация покрытий автомобильных дорог из дренирующего асфальтобетона, Ростов н/Д.: ДГТУ, 2018. 120 с.

6. Пат. 148806 Россия, МПК G01N 15/08. – № 2014136634/28. Прибор для определения коэффициента фильтрации образцов из дренирующей асфальтобетонной смеси – «ПФДА» / Чернов С.А., Голюбин К.Д., Ширяев Н.И., Леконцев Е.В., Мардиросова И.В.; заявл. 9.09.2014; опубл. 20.12.2014 Бюл. № 35.

7. ГОСТ 31015-2002 «Смеси асфальтобетонные и асфальтобетон щебеночно-мастичные. Технические условия». МНТСК. Москва 2002г. 21 с.

8. СТО АВТОДОР 2.15-2016 «Смеси асфальтобетонные и асфальтобетон дренирующие. Технические условия». Государственная копия «Автодор». Москва. 2016. 18 с.

9. ПНСТ 181-2016 «Дороги автомобильные общего пользования. Смеси асфальтобетонные дорожные и асфальтобетон. Метод определения стойкости к колееобразованию прокатыванием нагруженного колеса». Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии. Стандартинформ. Москва. 2016. 8с.

Информация об авторах

Углова Евгения Владимировна, доктор технических наук, профессор, заведующая кафедрой «Автомобильные дороги». E-mail: uglova.ev@yandex.ru. Донской Государственный Технический Университет. Россия, 344000, Ростов-на-Дону, ул.Социалистическая 162.

Ширяев Никита Игоревич, научный сотрудник Дорожно-транспортного научно-исследовательского института. E-mail: nikita24121990@mail.ru. Донской Государственный Технический Университет. Россия, 344000, Ростов-на-Дону, ул.Социалистическая 162.

Ни Гуансун, магистр. E-mail: nikita24121990@mail.ru. Донской Государственный Технический Университет. Россия, 344000, Ростов-на-Дону, ул.Социалистическая 162.

Поздняков Николай Олегович, аспирант кафедры «Автомобильные дороги» преподаватель.
E-mail: notedcrwk@mail.ru. Донской Государственный Технический Университет, 344000, Ростов-на-Дону,
ул. Социалистическая 162.

Поступила в декабре 2018 г.

© Углова Е.В., Ширяев Н.И., Ни Г., Поздняков Н.О., 2019

¹Uglova E.V., ^{1,*}Shiryaev N.I., ¹Ni G., ¹Pozdnyakov N.O.

¹Don State Technical University

Russia, 344000, Rostov-on-Don, Sotsialisticheskaya st. 162

*E-mail: nikita24121990@mail.ru

COMPARATIVE ANALYSIS OF OPERATIONAL PROPERTIES OF STONE MASTIC AND DRAINING ASPHALT-CONCRETE MIXTURES FOR WEAR LAYER

Abstract. Ensuring traffic safety is one of the most important tasks of the road sector. It is necessary to use modern composite materials with high strength characteristics and with reliable performance of quality indicators to prevent premature destruction of pavement. The foreign practice provides an experience of applying protective coating layers of black mastic and highly porous or porous asphalt concrete mixes with open granulometry (draining), which can significantly improve the road safety. A comparative analysis of crushed stone-mastic and draining asphalt concrete mixtures used in the device layers of wear determines the physico-mechanical and operational properties of asphalt concrete. Studies demonstrate that the use of draining asphalt concrete as a pavement of wear layer increases car's contact with the road; reduces the probability of aquaplaning and decreases splashing from ahead of moving vehicles. It can improve road traffic safety on rainy season. At the same time, the coating of the draining asphalt concrete is more resistant to glue formation as compared with crushed stone and mastic asphalt concrete.

Keywords: wear layer, top coating layer, crushed stone-mastic asphalt concrete, draining asphalt concrete, glue formation, filtration.

REFERENCES

1. Shapovalov N.A., Poluektova V.A. The nano-modifier for concrete mixtures and concrete. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov, 2015, no. 5, pp. 72–76.

2. Chirva.DV., Kolev V.G. Chernov S.A. Analysis of the effectiveness of the effect of stabilizing and polymer additives on the physicomachanical indicators of crushed stone-mastic mixtures. Roads, 2013, no. 8 (981), pp. 70–75.

3. Shiryaev N.I., Gavrilov V.A., Chernov S.A. Draining asphalt concrete for the upper layers of the coating. Building - 2015: materials of the Intern. scientific-practical conf. Growth. state builds un-t - Rostov n / a.: RSSU. 2015, pp. 54–574.

4. Chernov S.A., Shiryaev N.I., Major Yu.A. Experience of using rubber crumb waste in stone mastic asphalt mixes. Construction-2013: materials of the Intern. scientific-practical conf. Growth. state builds un-t - Rostov n / a.: RSSU. 2013, pp. 198–200.

5. Chernov S.A. Shiryaev N.I., Konoreva O.V., Golyubin K.D. Operation of road pavements from

the draining asphalt pitch, Rostov n / D.: DSTU. 2018, 120 p.

6. Chernov S.A. Golyubin K.D. Shiryaev N.I. Lekontsev E.V. Mardiroswa I.V A device for determining the filtration coefficient of samples from a draining asphalt concrete mix – PFDA. Pat RF. No. 2014136634/28, 2014.

7. GOST 31015-2002 “Asphalt concrete mixes and crushed stone-mastic asphalt concrete. Technical conditions. " Mntc. Moscow, 2002, 21p.

8. STO AVTODOR 2.15-2016 “Drainage asphalt concrete and asphalt concrete mixtures. Technical conditions " State Avtodor. Moscow. 2016, 18 p.

9. PNST 181-2016 “Roads of public use. Asphalt road mixes and asphalt concrete. Method for determination of resistance to groove formation by rolling a loaded wheel”. Federal Agency for Technical Regulation and Metrology. Standartinform. Moscow. 2016, 8 p.

Information about the authors

Uglova, Evgenia V. DSc, Professor, Head of the Highways Department. E-mail: uglova.ev@yandex.ru. Don State Technical University, 344000, Rostov-on-Don, Sotsialisticheskaya st. 162.

Shiryaev, Nikita I. Researcher, Department of Highways. Email: nikita24121990@mail.ru. Don State Technical University. Russia, 344000, Rostov-on-Don, Sotsialisticheskaya st. 162.

Neither, Guangsun. Master student of Automobile Roads. Email: nikita24121990@mail.ru. Don State Technical University. Russia, 344000, Rostov-on-Don, Sotsialisticheskaya st. 162.

Pozdnyakov, Nikolay O. Postgraduate student Email: notedcrwk@mail.ru. Don State Technical University. Russia, 344000, Rostov-on-Don, Sotsialisticheskaya st. 162.

Received in December 2018

Для цитирования:

Углова Е.В., Ширяев Н.И., Ни Г., Поздняков Н.О. Сравнительный анализ эксплуатационных свойств щебеночно-мастичных и дренирующих асфальтобетонных смесей для слоев износа // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2019. №1. С. 9–15. DOI: 10.12737/article_5c5061fd688293.78594078

For citation:

Uglova E.V., Shiryaev N.I., Ni G., Pozdnyakov N.O. Comparative analysis of operational properties of stone mastic and draining asphalt-concrete mixtures for wear layer. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov, 2019, no. 1, pp. 9–15. DOI: 10.12737/article_5c5061fd688293.78594078

DOI: 10.12737/article_5c5061ffbea714.05294074

^{1,*}Авдушева М.А., ¹Айзеништадт А.М.¹Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова
Россия, 163000, Архангельск, наб. Северной Двины, д.22.

*E-mail: m.avdusheva@yandex.ru

АГРЕГАТИВНАЯ УСТОЙЧИВОСТЬ ВОДНЫХ ДИСПЕРСНЫХ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ МАГНЕТИТА

Аннотация. Частицы магнетита $\text{FeO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$ благодаря высокой магнитовосприимчивости и антикоррозионной устойчивости нашли широкое применение в строительстве, например, в качестве компонента бетонной смеси. Для равномерного распределения частиц по всему объему смеси и формирования единой однородной структуры композита, требуется создание устойчивых коллоидных растворов. Целью проведенных исследований стала оценка возможности получения агрегативно устойчивой высокодисперсной добавки магнетита путем механического диспергирования, которая может быть использована в качестве модифицирующего компонента бетонной смеси. В качестве контролирующего параметра был принят дзета-потенциал частиц твердой фазы. В ходе лабораторных исследований установлена зависимость агрегативной устойчивости водной суспензии магнетита со средним размером частиц 3,77 мкм от pH среды, а также выявлена связь между дзета-потенциалом и размерными характеристиками частиц суспензии. Показано, что для получения стабильной агрегативно устойчивой водной суспензии магнетита методом механического диспергирования необходимо выдерживать pH дисперсионной среды равное 8.

Ключевые слова: магнетит, коллоидный раствор, агрегативная устойчивость, pH среды, дзета-потенциал.

Введение. Наночастицы оксидов железа благодаря своей высокой магнитовосприимчивости нашли широкое применение в различных отраслях. Так, например, в промышленности их используют для создания сверхмощных магнитов, записи информации со сверхвысокой плотностью; в медицине – для переноса лекарств и в качестве контрастного средства в магнитно-резонансной томографии [1, 2].

В строительстве благодаря своей доступности и антикоррозионной устойчивости широкое распространение получили частицы магнетита $\text{FeO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$. Известно их применение в качестве компонента бетонной смеси [3–5]. Введение такой добавки в исходный состав позволяет получать бетоны, обладающие свойствами радиационной защиты, устойчивые к воздействию кислотной среды [6]. Применяемые в конструкциях реакторов, они обеспечивают отвод тепла и защиту от излучения [7, 8]. Кроме того, добавка частиц магнетита позволяет получать магнитовосприимчивый бетон [9]. Обладая рядом уникальных свойств, бетон с добавкой магнетита может быть использован при строительстве защитных сооружений на полигонах захоронения радиоактивных отходов.

Для применения магнитных частиц требуется создание устойчивых коллоидных растворов, которые будут сохранять стабильность в течение необходимого времени. В таком случае частицы твердой фазы равномерно распределяются по всему объему, создавая единую однородную структуру композита.

Известно, что при размере частиц 500–2000 нм коагуляция твердой фазы в магнитных жидкостях не происходит [10]. Получение дисперсной фазы такой размерности осуществляется либо путем измельчения материала на механических или коллоидных мельницах, а также ультразвуком, либо путем химических реакций, позволяющих направленно изменять состав вещества до определенного роста новой фазы [11].

Целью проведенных исследований стала оценка возможности получения агрегативно устойчивой высокодисперсной добавки магнетита путем механического диспергирования, которая может быть использована в качестве модифицирующего компонента бетонной смеси.

Агрегативная устойчивость частиц определяется величиной их дзета-потенциала (ζ -потенциала), так как для предотвращения укрупнения агрегатов необходимо, чтобы величина их поверхностного заряда превышала значение электростатического барьера взаимодействия. Таким образом, значительный по величине заряд частиц будет препятствовать укрупнению и дальнейшей седиментации твердой фазы.

Известно, что на величину ζ -потенциала поверхности оказывает существенное влияние pH дисперсионной среды. Это связано с тем, что ионы водорода, благодаря своему малому радиусу, обладают способностью избирательно адсорбироваться на поверхности и эффективно изменять ζ -потенциал [12–14].

В то же время, химические свойства оксидов железа (Fe_2O_3 и FeO), составляющих основу магнетита, могут оказывать влияние на электрокинетические свойства раствора. Так, например, FeO является основным оксидом, который сохраняет свое состояние в кислой и щелочной средах. В противоположность этому, Fe_2O_3 – соединение, проявляющее слабые свойства амфотерности [15]. Поэтому следует ожидать, что при изменении pH среды будут протекать химические реакции взаимодействия этого оксида с дисперсионной средой.

Данный факт может привести как к изменению ζ -потенциала частиц твердой фазы, так и к образованию новых нерастворимых химических соединений. Поэтому основным экспериментальным приемом, служащим для определения границ агрегативной устойчивости водной суспензии тонкодисперсного магнетита, являлось в нашей работе изменение величины pH среды.

Методология. В качестве исходного материала для исследований был принят порошок магнетита, добываемый на Кирябинском месторождении в республике Башкирии. Зерновой состав был определен ситовым анализом по методике ГОСТ 8735-88.

Элементный состав образцов исходного порошка магнетита был установлен по данным завода-изготовителя.

Опытные высокодисперсные образцы получались измельчением сырья на планетарной шаровой мельнице Retsch PM100 в течение 60 мин со скоростью вращения ротора 420 об/мин при использовании карбид вольфрамовой размоленной гарнитуры (60 помольных тел диаметром $d = 5$ мм).

Для характеристики агрегативной устойчивости коллоидной системы были подготовлены водные растворы с разным значением показателя кислотности (pH 2 ÷ 12). Заданные значения pH получены при добавлении соляной кислоты HCl и гидроксида калия KOH . Измерение величины pH суспензии выполнялось с помощью pH-метра «Эксперт-001». Дзета-потенциал (ζ -потенциал) твердых частиц измерялся на анализаторе DelsaNano методом динамического и электрофоретического светорассеяния. Для каждой суспен-

зии с разным pH значение ζ -потенциала определялось как среднее по результатам двух параллельных измерений. В водной суспензии концентрация частиц твердой фазы составляла 1–1,5 %.

Для оценки агрегативной устойчивости в заданном временном интервале, отслеживалось изменение размера частиц дисперсной фазы после её введения в водный раствор через 0, 5, 10, и 20 мин. Размер частиц измерялся на анализаторе DelsaNano методом фотонно-корреляционной спектроскопии.

Основная часть. Зерновой состав порошка магнетита представлен в таблице 1.

Таблица 1

Размерные характеристики исходного порошка магнетита

Номер сетки	014	009	0056	0045
Остаток, %, на сетке (не более)	3,5	15,4	55,9	80

Содержание основных элементов исходного порошка магнетита приведено в таблице 2.

Таблица 2

Химический состав исследуемых образцов песка

Оксид	Fe_2O_3	FeO	Mn	Cu	O	п.п.
Содержание, масс. %	77,00	22,88	0,07	0,03	0,01	0,01

Данные химического состава показали, что в образце содержание оксидов железа составляет 99,88 %.

По результатам анализа фракционного состава измельченного порошка магнетита средний (рисунок 1) размер частиц составил 3,77 мкм, при этом 85,1 % дисперсной фазы исследуемой суспензии составили частицы размером менее 1 мкм.

Таким образом, полученная размерная фракция может быть использована для создания устойчивой коллоидной системы, что подтверждается литературными данными.

Агрегативная устойчивость системы для суспензий с разным значением pH оценивалась при помощи измерения ζ -потенциала. Изменение этого параметра в зависимости от показателя кислотности дисперсионной среды представлено в таблице 3.

Таблица 3

Значения ζ -потенциала частиц твердой фазы в зависимости от pH среды

pH среды	2	4	6	8	10	12
ζ -потенциал, мВ	5,89	-19,16	-22,41	-25,42	-25,67	-33,81

С увеличением pH от 2 до 12 ζ -потенциал изменялся от 5,89 до -33,81 мВ. При этом в диапазоне pH 6 ÷ 10, соответствующем нейтральной и

слабощелочной средам, наблюдалась стабильность его значений.

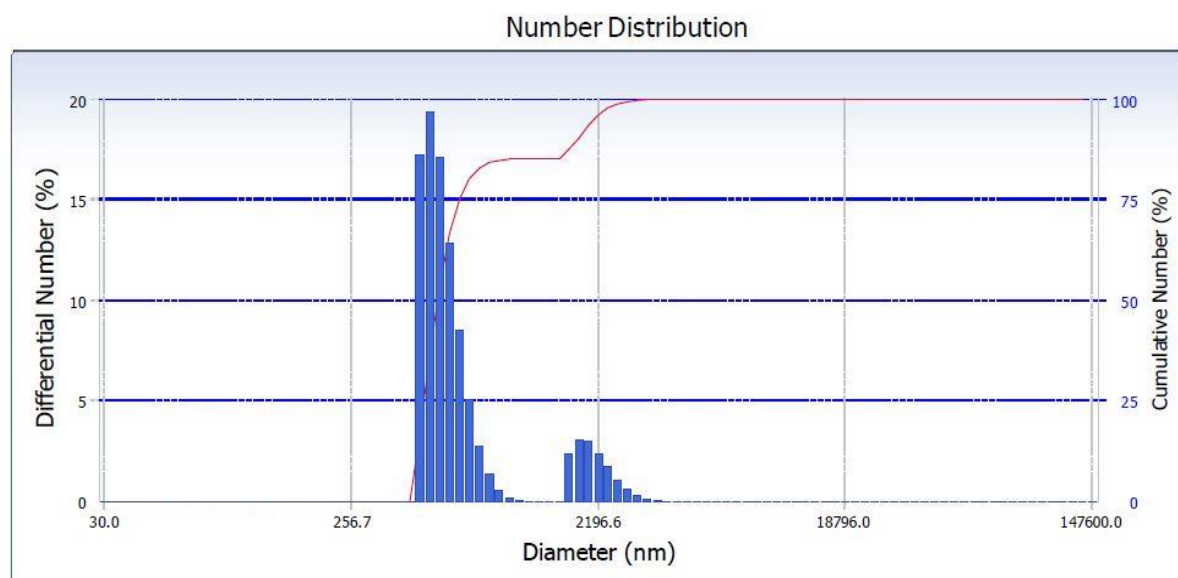


Рис. 1. Размерное распределение частиц в опытном образце

Данные, полученные при оценке агрегативной устойчивости коллоидной системы во времени путем измерения размера частиц представлены в таблице 4.

Таблица 4

**Размерные характеристики
высокодисперсных образцов с разным
значением pH среды**

Время, мин	Средний размер частиц, мкм для суспензий с показателем кислотности		
	2 pH	8 pH	12 pH
0	3,89	3,77	3,17
5	2,36	3,13	1,28
10	1,74	2,29	1,95
20	1,64	3,15	1,45

Полученные значения позволяют сделать вывод о том, что, находясь в нейтральной среде, частицы высокодисперсного порошка магнетита лучше сохраняют свою агрегативную устойчивость. В образцах с pH 8 на протяжении всего ряда измерений наблюдался стабильный средний размер частиц $3,00 \pm 0,75$ мкм.

Выводы. По результатам проведенных лабораторных исследований было установлено, что pH среды значительно влияет на значения ζ -потенциала твердой фазы. Измерение данного параметра показало, что в кислой среде при показателях pH $2 \div 6$ ζ -потенциал изменяется на 126 %, в щелочной среде при pH $10 \div 12$ – на 32 %, а в нейтральной – на 15 %.

Стабилизация размерных характеристик частиц твердой фазы во времени наблюдалась в диапазоне постоянного ζ -потенциала твердой фазы (pH 8).

Для получения стабильной агрегативно устойчивой водной суспензии магнетита методом механического диспергирования необходимо выдерживать pH дисперсионной среды равное 8.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. McBain S.C., Yiu H.H., Dobson J. Magnetic nanoparticles for gene and drug delivery // International Journal of Nanomedicine. 2008. Т. 3. № 2. Р. 169-180. DOI: 10.2147/IJN.S1608
2. Губин С.П., Кокшаров Ю.А., Хомутов Г.Б., Юрков Г.Ю. Магнитные наночастицы: методы получения, строение и свойства // Успехи химии. 2005. Т. 74. № 6 С. 539–574.
3. Лесовик Р.В., Агеева М.С., Чернышева Н.В. Активация мелкозернистого бетона на железосодержащих техногенных песках магнитным полем // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2011. №1. С. 24–28.
4. Авдушева М.А., Невзоров А.Л. Влияние магнетита на электропроводность растворной смеси // Строительные материалы. 2017. № 11. С. 55–58.
5. Пат. 2642762 Российская Федерация, МПК51 E02D27/08. Способ усиления фундамента /Авдушева М.А., Невзоров А.Л., Айзенштадт А.М.; заявитель и патентообладатель САФУ им. М.В. Ломоносова. №2017107922, заявл. 10.03.17 ; опубл. 25.01.18, Бюл. №3. 5 с.
6. Borucka-Lipska J., Kiernozycski W., Guskos N., Dudek M.R., Ho D.Q., Wolak W., Marć M., Koziol J.J., Kalaga J.K. On magnetite concentrate grains with respect to their use in concrete // International Journal of Engineering Research & Science. 2016. Vol. 2. P. 97–103.

7. Lee H.-S., Kwon S.-J. Effects of Magnetite Aggregate and Steel Powder on Thermal Conductivity and Porosity in Concrete for Nuclear Power Plant [Электронный ресурс] // *Advances in Materials Science and Engineering*. 2016. Vol. 2016. URL: <http://dx.doi.org/10.1155/2016/9526251> (04.12.2018).

8. Калашников В.И., Демьянова В.С., Калашников Д.В., Махамбетова К.Н. Оптимизация состава особо тяжелого высокопрочного бетона для защиты от радиации // *Строительные материалы*. 2011. № 8. С. 25–28.

9. Esguerra M., Lucke R. Application and production of magnetic product. U.S. Patent, no. US 6,696,638 B2, 2004.

10. Бобровицкий Д.А., Деменкова Л.Г. Магнитная жидкость – наноматериал для машиностроения // *Перспективные материалы в строительстве и технике*. 2014. С. 631–635.

11. Birgisson B., Mukhopadhyay A.K., Geary G., Khan M., Sobolev K. Nanotechnology in concrete materials: a synopsis // *Transportation research*

circular. 2012. № E-C170. Available at: <http://onlinepubs.trb.org/onlinepubs/circulars/ec170.pdf> (accessed 04.12.2018).

12. Голованева Н.В. Особенности механизма и влияние основных технологических параметров на характеристики нанофильтрационных мембран: дис... канд. т. наук.: М., 2015. С. 127.

13. Гельфман. М.И. Коллоидная химия: учебник. СПб.: Лань, 2010. 336 с.

14. Тутьгин А.С., Айзенштадт М.А., Айзенштадт А.М., Махова Т.А. Влияние природы электролита на процесс коагуляции сапонит-содержащей суспензии // *Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология*. 2012. № 5. С. 470–474.

15. Оганесян Э.Т., Попков В.А., Щербакова Л.И., Брель А.К. Общая и неорганическая химия: учебник для вузов. М.: Изд-во Юрайт, 2018. 448 с.

Информация об авторах

Авдушева Мария Алексеевна, аспирант кафедры инженерной геологии, оснований и фундаментов. E-mail: m.avdusheva@yandex.ru. Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова. Россия, 163000, Архангельск, наб. Северной Двины, д.17.

Айзенштадт Аркадий Михайлович, доктор химических наук, профессор, заведующий кафедрой композиционных материалов и строительной экологии. E-mail: a.isenshtadt@narfu.ru. Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова. Россия, 163000, Архангельск, наб. Северной Двины, д.17.

Поступила в декабре 2018 г.

© Авдушева М.А., Айзенштадт А.М., 2019

^{1,*}*Avdusheva M.A., ¹Ayzenshtadt A.M.*

¹*Northern (Arctic) Federal University*

Russia, 163000, Arkhangelsk, Severnaya Dvina emb., 17

**E-mail: m.avdusheva@yandex.ru*

AGGREGATIVE STABILITY OF AQUEOUS DISPERSE SYSTEMS BASED ON MAGNETITE

Abstract. Particles of magnetite $\text{FeO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$ are widely used in construction, for example, as a component of a concrete mix, due to their high magnetic susceptibility and corrosion resistance. The creation of stable colloidal solutions is required for a uniform distribution of magnetite particles throughout the entire volume of the mixture and the formation of a uniform homogeneous structure of the composite. The purpose of the research is to assess the possibility of obtaining an aggregate-stable highly dispersed magnetite additive by mechanical dispergation, which can be used as a modifying component of the concrete mix. Zeta potential of the particles of the solid phase is taken as the controlling parameter. In the course of laboratory studies, the dependence of an aggregative stability of aqueous suspension of magnetite with an average particle size of $3.77 \mu\text{m}$ on the pH of the medium is established. The relationship between the zeta potential and suspension particles' size is revealed. It is necessary to maintain the pH of the dispersion medium equal to eight for obtaining aggregatively stable aqueous suspension of magnetite by the method of mechanical dispersion.

Keywords: magnetite, colloidal solution, aggregative stability, pH, zeta potential.

REFERENCES

1. McBain S.C., Yiu H.H., Dobson J. Magnetic nanoparticles for gene and drug delivery. *International Journal of Nanomedicine*, 2008, vol. 3, no. 2, pp. 169–180. DOI: 10.2147/IJN.S1608
2. Gubin, S.P., Koksharov, Y.A., Khomutov, G.B., Yurkov, G.Y. Magnetic nanoparticles: methods of preparation, structure and properties. *Advances in Chemistry*, 2005, vol. 74, no. 6, pp. 539–574.
3. Lesovik R.V., Ageeva M.S., Chernysheva N.V. Activation of fine-grained concrete on iron-containing technogenic sands by a magnetic field. *Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov*, 2011, no. 1, pp. 24–28.
4. Avdusheva M.A., Nevzorov A.L. Influence of magnetite on electrical conductivity of mortar mix. *Construction materials*, 2017, no. 11, pp. 55–58.
5. Avdusheva M.A., Nevzorov A.L., Aizenshtadt A.M. Method for foundation underpinning. Patent RF no.2642762, 2018.
6. Borucka-Lipska J., Kiernożycki W., Guskos N., Dudek M.R., Ho D.Q., Wolak W., Marć M., Kozioł J.J., Kalaga J.K. On magnetite concentrate grains with respect to their use in concrete. *International Journal of Engineering Research & Science*, 2016, vol. 2, pp. 97–103.
7. Lee H.-S., Kwon S.-J. Effects of Magnetite Aggregate and Steel Powder on Thermal Conductivity and Porosity in Concrete for Nuclear Power Plant [Electronic resource]. *Advances in Materials Science and Engineering*, 2016, vol. 2016, URL: <http://dx.doi.org/10.1155/2016/9526251> (04.12.2018).
8. Kalashnikov V.I., Demyanova V.S., Kalashnikov D.V., Makhambetova K.N. Optimization of the composition of very heavy high-strength concrete for radiation protection. *Construction materials*, 2011, no. 8, pp. 25–28.
9. Esguerra M., Lucke R. Application and production of magnetic product. U.S. Patent, no. US 6,696,638 B2, 2004.
10. Bobrovitsky D.A., Demenkova L.G. Magnetic fluid - nanomaterial for mechanical engineering. *Advanced materials in construction and engineering*. 2014, pp. 631–635.
11. Birgisson B., Mukhopadhyay A.K., Geary G., Khan M., Sobolev K. Nanotechnology in concrete materials: a synopsis. *Transportation research circular*. 2012, no. E-C170. Available at: <http://onlinepubs.trb.org/onlinepubs/circulars/ec170.pdf> (accessed 04.12.2018).
12. Golovaneva N.V. The features of the mechanism and the influence of the main technological parameters on the characteristics of nanofiltration membranes: dissertation of the candidate of technical sciences: M. 2015, 127 p.
13. Gelfman M.I. *Colloid chemistry: a textbook*. St. Petersburg: Lan. 2010, 336 p.
14. Tutygin A.S., Eisenstadt M.A., Eisenstadt A.M., Makhova T.A. Influence of electrolyte nature on the process of coagulation of saponite-containing suspension. *Geoecology. Engineering geology. Hydrogeology. Geocryology*, 2012, no. 5, pp. 470–474.
15. Oganessian E.T., Popkov V.A., Shcherbakova L.I., Brel A.K. *General and inorganic chemistry: a textbook for high schools*. M.: Yurayt Publishing House, 2018, 448 p.

Information about the authors

Avdusheva, Maria A. Postgraduate student. E-mail: m.avdusheva@yandex.ru. Northern (Arctic) Federal University. Russia, 163000, Arkhangelsk, Severnaya Dvina emb., 17.

Ayzenshtadt, Arcady M. DSc, Professor. E-mail: a.izenshtadt@narfu.ru. Northern (Arctic) Federal University. Russia, 163000, Arkhangelsk, Severnaya Dvina emb., 17.

Received in December 2018

Для цитирования:

Авдушева М.А., Айзенштадт А.М. Агрегативная устойчивость водных дисперсных систем на основе магнетита // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2019. №1. С. 16–20. DOI: 10.12737/article_5c5061ffbea714.05294074

For citation:

Avdusheva M.A., Ayzenshtadt A.M. Aggregative stability of aqueous disperse systems based on magnetite. *Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov*, 2019, no. 1, pp. 16–20. DOI: 10.12737/article_5c5061ffbea714.05294074

DOI: 10.12737/article_5c506202c385c3.43864616

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

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

*E-mail: voronoff_82@mail.ru

КОМПОЗИЦИОННЫЕ ВЯЖУЩИЕ С ПРИМЕНЕНИЕМ ОПОКОВИДНОГО МЕРГЕЛЯ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ПЕНОБЕТОНА

Аннотация. Пенобетон в настоящее время является одним из эффективных строительных материалов, что обусловлено как комплексом его улучшенных тепло- и механофизических свойств, так и высокой производительностью строительно-монтажных работ при его использовании.

Основными недостатками, ограничивающими применение пенобетона в качестве конструктивно-теплоизоляционного материала, являются низкие прочностные показатели и высокие усадочные деформации, что связано с природой формирования структуры пенобетона. Для решения этой важнейшей задачи необходимо разработать специальные композиционные вяжущие.

Применение специальных композиционных вяжущих нового поколения, в основу проектирования которых заложены принципы, заключающиеся в целенаправленном управлении технологией на всех её этапах: в использовании активных минеральных добавок, разработке оптимальных составов, применении химических модификаторов, использовании механохимической активации компонентов, а также оптимизации процесса структурообразования матрицы за счет интенсификации процессов поризации и твердения, позволит значительно улучшить физико-механические и эксплуатационные характеристики пенобетона.

Ключевые слова: пенобетон, композиционные вяжущие, опоковидный мергель, процессы структурообразования, физико-механические свойства.

Наиболее распространенным вяжущим, которое используется во всем мире является портландцемент. Но в ближайшие 20 лет в развитых странах на 80 % изменится номенклатура выпускаемых строительных материалов и потребуются композиционные вяжущие (КВ) применительно к каждой группе композитов нового поколения. Получение высокоэффективных КВ нового поколения сопровождается использованием сложных составов компонентов с целью получения высококачественных бетонов разного функционального назначения с улучшенными, а иногда и с принципиально новыми свойствами и определенной, заранее заданной структурой [1–3].

В основу проектирования современных КВ для пенобетона заложены принципы, заключающиеся в целенаправленном управлении технологией на всех ее этапах: в использовании активных минеральных добавок, разработке оптимальных составов, применении химических модификаторов, использовании механохимической активации компонентов, а также оптимизации процесса структурообразования матрицы за счет интенсификации процессов поризации и твердения, что позволяет получать композиты повышенной прочности с улучшенными технико-эксплуатационными характеристиками [4].

Для придания КВ для пенобетона высоких физико-механических и эксплуатационных характеристик применяют различные активные минеральные добавки. Обязательным условием эффективного применения минеральных добавок

является их совместимость как с портландцементом, так и с пенообразователем. Важное значение имеет минеральный состав и химическая активность добавок по отношению к портландцементу. По генетическому происхождению все добавки разделены на природные и техногенные, которые претерпели различную обработку и имеют вследствие этого различную энергетическую способность [5]. Как правило, природные добавки в зависимости от генезиса обладают только пущола-новыми способностями разнообразной химической активности.

Особый интерес представляет карбонатно-кремнистая порода – опоковидный мергель, ранее не применяющийся при производстве КВ. Его использование в качестве минеральной добавки позволит расширить сырьевую базу доступного и дешевого сырья, снизить расход энергоемкого и дорогостоящего компонента вяжущего – портландцемента, управлять процессами структурообразования в зависимости от номенклатуры выпускаемых материалов, и создать комфортную среду обитания.

Целью проведенных исследований являлась разработка состава композиционного вяжущего (КВ) с использованием опоковидного мергеля для повышения эффективности пенобетона.

Выполнение экспериментальных исследований проводилось в Белгородском государственном технологическом университете имени В.Г. Шухова на кафедре СММК, в испытательном

центре «БелГТАС-сертитис». При этом использовались существующие базовые методы исследования, включая современные физико-химические методы анализа, РФА, лазерной гранулометрии, растровой электронной и оптической микроскопии и др. Для получения специальных КВ для пенобетона применялась рационально подобранная смесь портландцемента ЦЕМ II/A–Ш 42,5 Н (ГОСТ 31108–2003) ОАО «Себряковцемент» и тонкодисперсного опоковидного мергеля Хворостянского месторождения, находящегося в 30 км от г. Губкина Белгородской области.

Опоковидный мергель (ОМ) представляет собой карбонатно-кремнистую породу, содержащую кальцит – 35–38 %, смешаннослойные глинистые образования – 10–20 %, цеолиты – 10–20 %, опал – до 15% (рис. 1).

Текстура мергелей изотропная, структура пелитоморфнозернистая, глобулярная, реликтово органогенная. Естественная влажность породы – 21–26 %; пористость – около 47 %. Представляется, что именно такая горная порода может быть идеальным компонентом в составе КВ для повышения эффективности пенобетонных для монолитного строительства. Специфический состав этой породы позволяет предположить положительное влияние таких КВ на всех этапах строительства: от формирования структуры твердеющей системы (кратность и стойкость пены, сроки

схватывания) до твердения композитов в условиях строительства и эксплуатации.

Важным свойством минеральных добавок является гидравлическая активность, обуславливающая возможность их применения в составе КВ. В составе опоковидного мергеля ею обладают аморфный кремнезем и цеолиты (табл. 1). Он характеризуется высоким содержанием оксида кремния SiO_2 (34,92 %) и оксида кальция CaO (30,52 %).

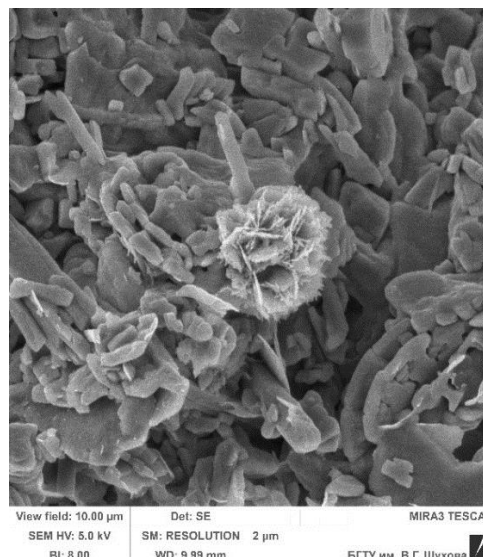


Рис. 1. Микроструктура опоковидного мергеля

Таблица 1

Химический состав опоковидного мергеля

Материал	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	P_2O_5	MgO	CaO	R_2O	SO_3	ппп
Опоковидный мергель	30,6	4,61	6,31	0,21	1,02	30,52	0,12	0,37	21,9

В результате проведенного РФА было выявлено, что кристаллическая фаза опоковидного мергеля представлена кварцем ($d = 4,27; 3,353; 2,29; 2,13; 1,98; 1,82 \dots \text{\AA}$), кальцитом CaCO_3 ($d=3,042; 2,847; 2,500; 2,288; 2,096; 1,915; 1,878 \dots \text{\AA}$), глинистыми минералами (рис. 2)

Высокое содержанием оксидов кремния в составе тонкомолотого ОМ способствует при обычных температурах связыванию $\text{Ca}(\text{OH})_2$, выделяющемуся при гидратации алита с образованием гидросиликатов кальция типа $\text{CSH}(\text{B})$, т.е. он обладает пуццолановой активностью и может быть использован при производстве КВ [6].

Таблица 2

Активность опоковидного мергеля по поглощению CaO

Вид добавки	Удельная поверхность, $\text{м}^2/\text{кг}$	Активность по поглощению CaO (титрование), мг/г
Опоковидный мергель	469	73,2

В работе определение пуццолановой активности ОМ проводилось по традиционной методике – по количеству CaO , которое поглощает 1 г минеральной добавки за 30 суток. Эксперимент проводили до прекращения изменения количества гидроксида кальция, поглощенного минеральной добавкой (табл. 2).

Для установления энергии (электроповерхностных свойств) на поверхности частиц ОМ в воде были измерены электрокинетические потенциалы, играющие важную роль при формировании коагуляционной структуры цементного геля и физико-химических процессов, обуславливающих возникновение кристалло-гидратной структуры затвердевшего КВ [7]. Величины электрокинетического потенциала ОМ определены на оборудовании MALVER ZETASIZER NANO ZS при помощи методики M3-PALS, измерения и расчеты результатов в котором производятся в автоматическом режиме.

Анализ приведенных данных показал (табл. 3), что на поверхности частиц ОМ преобладают отрицательно заряженные активные центры, но

также содержатся доли % положительно заряженных (электроноакцепторных) центров). Средняя величина ξ -потенциала составляет $-9,67 \text{ mV}$,

но усредненные значения ξ -потенциала не в полной мере объясняют их влияние на процессы структурообразования КВ.

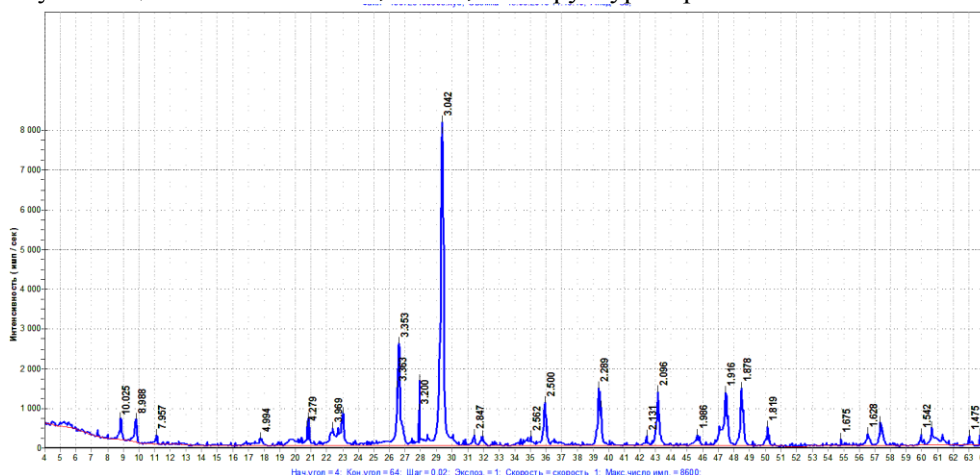


Рис. 2. РФА опокويدного мергеля (ОМ)

Таблица 3

Среднее значение ξ -потенциала опокويدного мергеля

Материал	ξ -потенциал, mV	ЭП, мкм·см/В·с	α , мкСм/см
Опокويدный мергель	$-9,67 \pm 0,19$	$-0,7581 \pm 0,0144$	$0,0730 \pm 0,0014$

Основным порообразующим минералом ОМ является органогенный кальцит (среднее содержание – 35...38 %), частицы которого содержат на своей поверхности преимущественно положительно заряженные активные центры. Остальные составляющие минералы (среднее содержание – 62...65 %, представленные опалом, смешанослойными образованиями и цеолитом) имеют отрицательно заряженную поверхность частиц. Но ввиду того, что разрушение пород проходит по наиболее слабым местам, в данном случае глинистым минералам, частицы кальцита покрыты последними. Это и предопределяет заряд поверхности частиц мергеля в целом. Поэтому в реальных условиях при взаимодействии компонентов КВ с водой необходимо учитывать влияние на процессы структурообразования как

отрицательно заряженных активных центров на поверхности ОМ, так и положительно заряженных.

Оптимизацию состава и структуры КВ осуществляли поэтапно. С целью установления рационального количества ОМ в состав вяжущего вводили различные его дозировки (от 2,5 до 12,5 %) при соответствующем уменьшении количества портландцемента. Предварительно ОМ был высушен, раздроблен в лабораторной щековой дробилке и измельчен в шаровой мельнице до удельной поверхности $469 \text{ м}^2/\text{кг}$. Совместный помол компонентов вяжущего осуществлялся в течение одного времени. После помола, используя метод лазерной гранулометрии, определялся гранулометрический состав КВ (рис. 3).

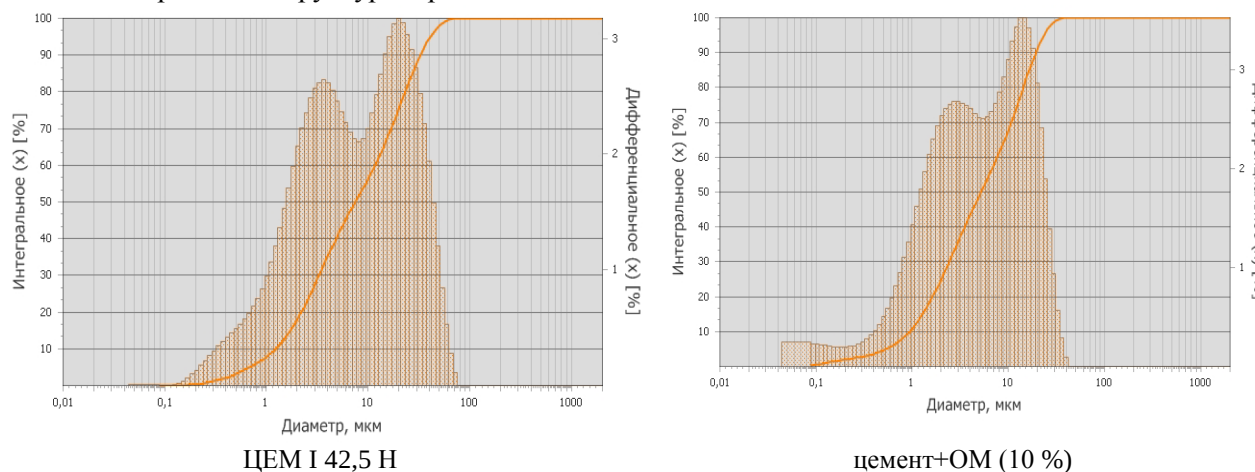


Рис. 3. Гранулометрический состав портландцемента (а) и КВ(б)

Было установлено, что у КВ по сравнению с портландцементом наблюдается смещение графика из области крупных частиц (100 мкм) в область более мелких (до 60 мкм), снижение фракции частиц с 85 % до 75 % в области 3...6 мкм с увеличением мелкой фракции частиц в области 0,06...0,5 мкм, что указывает на повышенную дисперсность, способствующую оптимизации гранулометрического состава КВ, ускорению процесса их структурообразования и, как следствие, повышению прочности. Затем, посред-

ством смешивания КВ с водой, формовались образцы-кубики размером 3×3×3 см (по шесть образцов каждого состава) с уплотнением на встряхивающем столике. Водотвердое отношение (В/Т) для каждого состава было постоянным и составляло 0,24. Через сутки производилась распушка и извлеченные из форм образцы подвергались тепловлажностной обработке в пропарочной камере по режиму 1+6+1 ч при температуре 80°C, по окончании которой образцы подвергались испытаниям (табл.4)

Таблица 4

Физико-механические свойства КВ с добавкой опоковидного мергеля

№ п/п	Состав, масс. %		S _{уд.} , м ² /кг	d ср., мкм	Средняя плотность, кг/м ³	Рсж, МПа
	Цемент	Опоковидный мергель				после ТВО
1	100	—	515	3.9	1932	49,4
2	97,5	2,5	530	3.7	1920	51,9
3	95	5	560	3.6	1917	52,4
4	92,5	7,5	582	3.5	1892	61,3
5	90	10	608	3.3	1870	64,2
6	87,5	12,5	621	3.1	1862	54,3

Было выявлено, что с ростом содержания ОМ снижается плотность КВ, так как его истинная плотность (2600 кг/м³) ниже истинной плотности цемента (3100 кг/м³). Рациональное содержание ОМ в составе затвердевшего КВ составило 10 %, что обеспечивает в 1,3 раза прирост прочности по сравнению с цементным камнем.

Для получения сравнительных данных осуществляли совместный помол сырьевых компонентов КВ до удельной поверхности 550 м²/кг. Тонкий помол компонентов КВ приводит к уве-

личению их водопотребности и флокуляции частиц при затворении водой, в результате чего значительное количество его зерен не гидратируется. Для улучшения физико-механических свойств КВ применяли суперпластификатор (СП) Muraplast FK 19 (0,1 % от массы цемента), обеспечивающий возможность управления структурообразованием в пластичном состоянии и в процессе твердения. Эффективность СП устанавливали по снижению водопотребности теста нормальной густоты. Добавка вводилась с водой затворения (табл.5).

Таблица 5

Составы и физико-механические характеристики затвердевших вяжущих в зависимости от состава

№ п/п	Состав, %		S _{уд.} м ² /кг	Без добавки СП							
	ПЦ	ОМ		НГ %	Сроки схватыв. начало/ конец мин	Рсж, МПа, в сроки					
						7 сут	ΔРсж %	28 сут	ΔРсж %	Про пар	Δ Рсж %
СП Muraplast FK 19 (0.1%)											
1	100	-	324	18	28/160	64,8	118	75.9	121	53,0	118
2	100	-	556	18,5	25/186	84,5	154	91.2	146	73.0	164
3	90	10	551	23	15/168	75.3	138	79.3	126	57,4	129

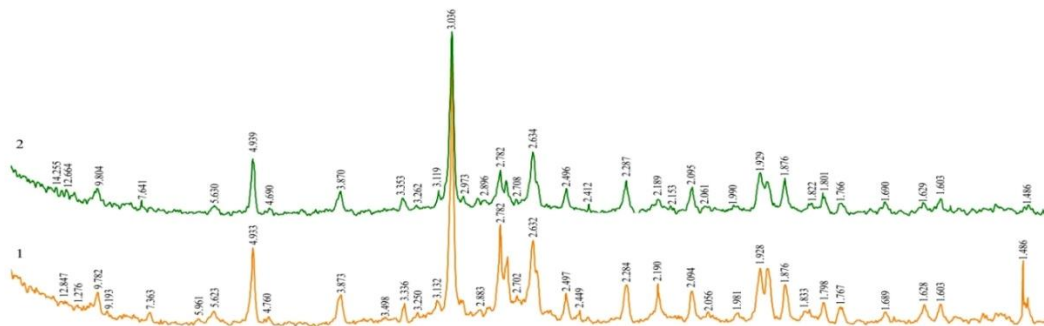
В результате проведенных испытаний было выявлено: при введении СП Muraplast FK 19 определяющее влияние на прочность затвердевшего камня оказывает его дефлокулирующее действие, что сопровождается значительным снижением (на 28–31 %) нормальной густоты теста, ускорением начала схватывания и повышением (на 21–27 %) предела прочности при сжатии

по сравнению с КВ без СП. По сравнению с без добавочным портландцементом предел прочности при сжатии затвердевшего КВ в 7 суточном возрасте увеличивается на 38 %, в 28 суточном возрасте на 26 %, пропаренных образцов на 29 % Достигнутый уровень физико-механических показателей КВ соответствует требованиям к вяжу-

щим, применяемым для производства строительных материалов, изделий и конструкций из пенобетона со значениями предела прочности при сжатии в 28 суточном возрасте 64,8–79,3 МПа.

Эксплуатационные характеристики затвердевших КВ характеризуются микроструктурой и

составом новообразований. В работе были проведены комплексные исследования фазового состава, процессов гидратации и структурообразования затвердевших вяжущих методами РФА и электронной микроскопии. Анализ дифрактограмм гидратированного цемента и КВ с ОМ в возрасте 28 суток, представлен на рис. 4.



1 – ПЦ 3; 2 – ПЦ+ ОМ;

Рис. 4. РФА затвердевших вяжущих: ПЦ (1) и КВ с ОМ (2)

Было выявлено, что основными их составляющими являются: негидратированные клинкерные минералы C_3S – ($d=2,76; 2,19 \dots \text{\AA}$) и C_2S – ($d=2,78; 2,74; 2,19 \dots \text{\AA}$); $Ca(OH)_2$ – ($d=4,93; 3,11; 2,63; 1,93; 1,79; 1,69 \dots \text{\AA}$); $CaCO_3$ – ($d=3,85; 3,35; 3,04; 2,78; 2,49; 2,28; 2,09; 1,93 \dots \text{\AA}$); эттрингит – ($d=9,7; 5,6; 4,92 \dots \text{\AA}$); частично закристаллизованный тоберморито-подобный гидросиликат кальция $CSH(B)$ – ($d=9,8; 4,9; 3,07; 2,85; 2,80; 2,40; 2,00; 1,83 \dots \text{\AA}$); гидроалюминаты и гидроферриты кальция, твердые растворы комплексных соединений и др.

При твердении КВ карбонатные минералы могут химически взаимодействовать с C_3A и продуктами его гидратации с образованием гидрокарбоалюминатных фаз – $3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot CaCO_3 \cdot 12H_2O$ ($d=7,6; 3,80; 2,86; 1,66 \dots \text{\AA}$). Многие отражения новообразований накладываются друг на друга.

Гидратационная активность КВ обеспечивается высокой удельной поверхностью и механически активированными поверхностными слоями зерен цемента и тонких фракций ОМ, а также очень тонкими оболочками (порядка 2 мкм), возникающими в процессе гидратации вяжущих на их зернах, что обеспечивает физико-механические показатели. ОМ в составе КВ приводит к увеличению объемной концентрации гидратных новообразований за счет взаимодействия $Ca(OH)_2$ с его активными компонентами.

О количественном отношении продуктов гидратации можно косвенно судить по интенсивности дифракционных отражений: $Ca(OH)_2$ – ($d=4,93 \text{\AA}$). В образцах гидратированного КВ с ОМ интенсивность отражений и количество $Ca(OH)_2$ убывает в 1,7 раза в сравнении с цементным камнем.

В результате связывания $Ca(OH)_2$ и вывода его из сферы реакции ускоряется гидролиз клинкерных минералов C_3S и C_2S и их количество также существенно уменьшается.

Одновременно увеличивается количество низкоосновных гидросиликатов кальция типа $CSH(B)$, что положительно сказывается на прочности затвердевших КВ. При наличии низкоосновных гидроалюминатов кальция (C_2AH_8) в 2 раза меньше образуется эттрингита, чем из алюминатных фаз с основностью 3-4. При разбавлении портландцемента минеральной добавкой снижается процентное содержание C_3A .

В присутствии СП Muraplast FK 19 в составе КВ с ОМ процесс гидратации ускоряется. В результате кристаллизации различных новообразований, плотно формирующихся на поверхности зерен ОМ, как на подложке, в образцах, затвердевших КВ образуется более плотная и совершенная, без видимых дефектов, микроструктура. Происходит более густое зарастание межзернового пространства и пор, что приводит к повышению прочности затвердевших КВ по сравнению с гидратированным цементом (рис. 5).

Таким образом, приведенные в статье результаты исследований подтвердили возможность использования ОМ в качестве минеральной добавки в составе КВ. Наличие в его составе цеолита и опала, наряду с кальцитом и смешанно-слоистыми образованиями, позволяет ускорить процесс схватывания смеси в оптимальном временном параметре. При твердении КВ аморфные составляющие ОМ реагируют с выделяющимся при твердении алита $Ca(OH)_2$, формируя гидросиликаты кальция второй генерации и другие новообразования, уплотняющие микроструктуру

твердеющей матрицы и, как следствие, повышающие стабильность композиций. КВ с опоковид-

ным мергелем можно рекомендовать при производстве пенобетона для монолитного строительства.

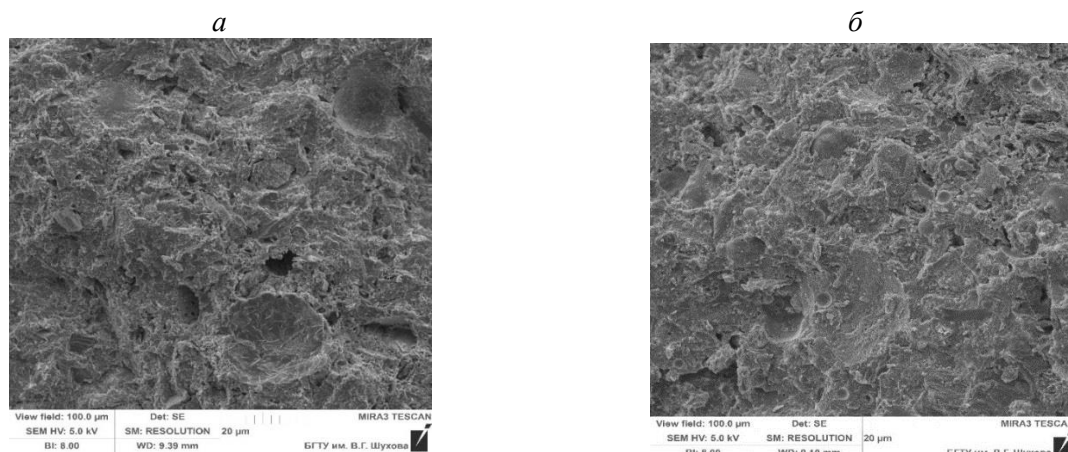


Рис. 5. Микроструктура гидратированного цемента (а) и КВ с ОМ (б)

Источники финансирования. Государственная программа Российской Федерации «Развитие науки и технологий» на 2013-2020 годы, Программа фундаментальных научных исследований государственных академий наук на 2013-2020 годы, в рамках Плана фундаментальных научных исследований Минстроя России и РААСН, тема 7.5.1.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Лесовик В.С. Повышение эффективности производства строительных материалов с учетом генезиса горных пород. М.: Изд. АСВ, 2006. 526 с.

2. Рахимов Р.З., Рахимова Н.Р. Строительство и минеральные вяжущие прошлого, настоящего, будущего // Строительные материалы. 2013.

Информация об авторах

Воронов Василий Васильевич, аспирант кафедры строительного материаловедения, изделий и конструкций. E-mail: voronoff_82@mail.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Поступила в декабре 2018 г.

© Воронов В.В., 2019

^{1,*}Voronov V.V.

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

*E-mail: voronoff_82@mail.ru

COMPOSITE BINDERS WITH THE USE OF MARL FOR THE PRODUCTION OF FOAM CONCRETE

Abstract. Currently, the foam concrete is one of the most effective building materials, due to its improved thermal and mechanical properties, high performance of construction and installation works during its utilization.

The main disadvantages that limit the use of foam concrete as a structural and thermal insulation material are low strength characteristics and high shrinkage deformation. This is due to the nature of formation the foam concrete structure. To solve this important problem, it is necessary to develop special composite binders.

The use of special composite binders of new generation, the design of which is based on the following principles: the use of active mineral additives, the development of optimal compositions, the use of chemical modifiers, the use of mechanochemical activation of components, as well as the optimization of matrix formation process due to the intensification of curing process and hardening will significantly improve the physical, mechanical and operational characteristics of the foam concrete.

Keyword: foam concrete, composite binders, marl, processes of structure formation, physical and mechanical properties.

REFERENCES

1. Lesovik V.S. Improving the efficiency of production of building materials, taking into account the genesis of rocks. M.: Izd. ACV. 2006, 526 p.
2. Rakhimov R.Z., Rakhimov N.R. Construction and mineral binders of the past, present, future. Construction materials, 2013, no. 5, pp. 57–59.
3. Sakharov G.P., Skorikov E.P. Non-autoclaved energy-efficient porous concrete of natural hardening. News of universities. Building, 2005, no. 7, pp. 49–54.
4. Shakhova L.D. Foam concrete technology. Theory and practice: monograph. M.: Publishing house Association of construction universities, 2010, 248 p.
5. Lesovik V.S., Shakhova L.D., Kucherov D.E. Classification of active mineral additives for composite binders, taking into account their genesis. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov, 2012, no. 3, pp. 10–14.
6. Mchedlov-Petrosyan O.P. Chemistry of non-organic building materials. M.: Stroiizdat, 1989, 304 p.
7. Deryagin B.V., Churaev N.V., Muller V.M. Surface forces. M: Science. 1985, 398 p.

Information about the authors

Voronov, Vasilii V. Postgraduate student. E-mail: voronoff_82@mail.ru. Belgorod State Technological University. V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, ul. Kostyukova Str. 46.

Received in Desember 2018

Для цитирования:

Воронов В.В. Композиционные вяжущие с применением опоковидного мергеля для производства пенобетона // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2019. №1. С. 21–27. DOI: 10.12737/article_5c506202c385c3.43864616

For citation:

Voronov V.V. Composite binders with the use of marl for the production of foam concrete. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov, 2019, no. 1, pp. 21–27. DOI: 10.12737/article_5c506202c385c3.43864616

DOI: 10.12737/article_5c5062035ff268.92870890

^{1,*}Дроков А.В.¹Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова
Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46

*E-mail: a.drack@yandex.ru

РАЦИОНАЛЬНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОТХОДОВ АВТОМОБИЛЬНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ СОСТАВОВ ФИБРОБЕТОНОВ

Аннотация. В работе рассмотрено применение отходов автомобильной промышленности в качестве вторичного сырья для производства фибры. В качестве отходов рассмотрено применение отработанных радиальных автомобильных покрышек диаметром от 14 до 24 дюймов. Использование именно радиальных покрышек целесообразно в связи с тем, что внутренний каркас, используемый в качестве основания будущей фибры, расположен радиально, относительно самой покрышке. Бортонная часть не используется в производстве фибры ввиду отсутствия металлического каркаса. Использование диагональных покрышек, применяя данную технологию, невозможно в связи с диагональным расположением каркаса покрышки. Получение дисперсно-армируемого материала из утилизированных радиальных автомобильных покрышек осуществляется по запатентованной технологии автора статьи. Конечным продуктом является стальная прорезиненная фибра. Использование описанного выше вторичного сырья позволит сделать фибробетон более доступным, не снижая его прочностных характеристик. А наличие резиновой оболочки, окутывающей стальную центральную часть, позволяет снизить воздействие агрессивных сред на сталь, не позволяя ей корродировать. Применение именно этих отходов будет способствовать, помимо снижения себестоимости фибробетона, замедлению роста территорий свалок, растущих ежегодно, по данным Greenpeace, на площадь равную Москве и Санкт-Петербургу, взятым вместе.

Ключевые слова: фибробетон, фиброобразующий шинорасщипляющий агрегат, фибра, автомобильная покрышка.

Введение. В связи с растущими темпами возведения зданий и сооружений, ростом городов возникает потребность в использовании строительных материалов, обеспечивающих требуемые прочностные характеристики. Одним из таких материалов является фибробетон [1].

Впервые в России фибробетон был применён в 1976 году, когда его впервые использовали для строительства взлетно-посадочной полосы. Но в то время этот материал не получил широкого применения в нашей стране, в связи с тем, что технология производства фибробетона и сама фибра на тот момент были недоработаны [2].

Фибра представляет собой волокна, применяемые для дисперсного армирования бетона, газо- и пенобетона, полистиролбетона, также добавляется в строительный раствор, сухие строительные смеси и т.п. [3].

Волокна производятся из следующих материалов: из полиакрилонитрила (ПАН) и карбонизированного ПАН (углеродного волокна), а также других часто применяемых материалов (стали, стекла, базальта, полимеров, полиэфиров и пр.).

Дисперсное армирование повышает физико-механические характеристики материалов по всему их объёму, обладает повышенной адгезией к цементу и прочно встраивается в матрицу бетонов. Микроармирующий элемент для фибробе-

тона является эффективной усиливающей добавкой, используется во всех типах бетонов, когда необходимо исключить появление деформационных трещин, возникающих из-за механического воздействия или усадки (например, при заливке полов) [4]. Использование фибры дает возможность избежать трудоемких операций армирования [5].

У фибробетона множество достоинств, но есть и один значительный недостаток – высокая стоимость [6]. Это связано с относительно высокой стоимостью дисперсно-армирующих элементов или, как их ещё называют, фиброй [7, 8]. Также стоит заметить, что не во всех городах нашей страны имеются заводы, выпускающие фибру [9], что в свою очередь повышает её стоимость с учётом транспортировки к месту проведения строительных работ. Поэтому рационально использовать в качестве армирующего материала фибру, являющуюся вторичным сырьём, например, получаемую из отработанных автомобильных радиальных покрышек.

Основная часть. Одной из глобальных проблем в нашей стране является увеличение размеров территорий свалок, как видно на рис. 1. Каждый год в России территория под свалки увеличивается на площадь, равную Москве и Санкт-Петербургу, взятым вместе. Это при том, что мусорные свалки в России уже занимают пространство, вдвое большее, чем Швейцария. Стоки с

этих свалок попадают в подземные воды, а люди, живущие рядом с ними, чувствуют удушливый запах. К тому же отходы периодически горят и отравляют воздух. Сжигание мусора на специальных заводах приводит к росту онкологических заболеваний [10]. По данным статистики, в РФ на каждую тысячу жителей приходится 284 автомобиля [11]. Срок службы автомобильных покрышек варьируется от 2 до 4 сезонов, потом эти самые покрышки попадают на вышеуказанные территории свалок. Период разложения материала, из которого состоят шины, составляет около 100 лет.



Рис. 1. Обширная территория свалки автомобильных покрышек

На сегодняшний день запатентованы некоторые способы утилизации автомобильных покрышек. Один из способов позволяет утилизировать изношенные автомобильные шины и отходы резинотехнических изделий. Утилизация изношенных автомобильных шин заключается в термической обработке шин в экстракторе, заполненном нефтяным мазутом или гудроном, циркулирующим снизу-вверх, при температуре 260–290 °С до полного растворения резины в специальной установке, показанной на рис. 2.

При этом процесс растворения резины сопровождается процессом вращения перерабатываемых покрышек в разные стороны относительно друг друга. Силы трения, возникающие в точках соприкосновения покрышек, способствуют ускорению процесса растворения, а, следовательно, и сокращению времени на переработку. Технический результат состоит в сокращении времени утилизации автомобильных шин и повышении производительности процесса. Получаемые резинобитумные композиции используют как материал для гидроизоляции, кровельных работ, для приготовления асфальтобетона. [12]. Также существуют способы утилизации автомобильных шин (изношенных, бракованных и пр.), содержащих металлокордный брекер и каркас из металлического или текстильного корда

[13], без последующего применения в качестве вторичного сырья для строительной индустрии или других сфер промышленности.

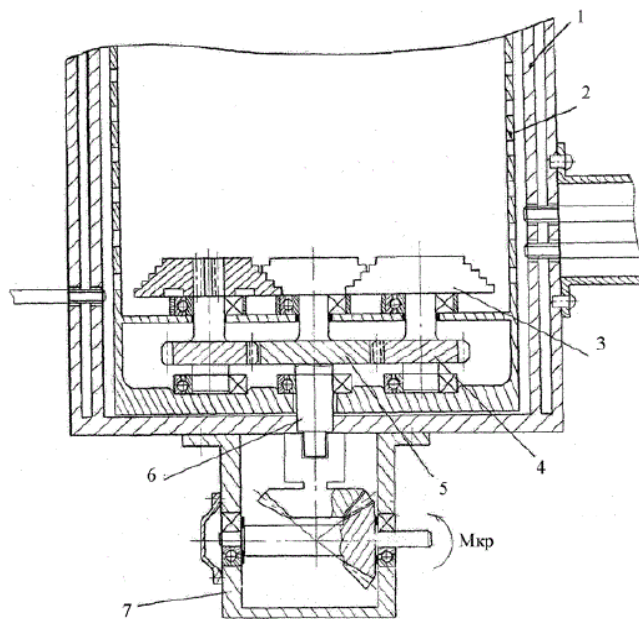


Рис. 2. Установка для утилизации автомобильных шин 1 – экстрактор; 2 – перфорированная корзина; 3 – дисковые опоры; 4 – ведомые шестерни; 5 – ведущая шестерня; 6 – вал привода; 7 – конический редуктор

В связи с возросшей популярностью фибробетона и изделий из него, более рационально использовать отработанные автомобильные покрышки в качестве сырья для него, а именно как дисперсно-армирующий материал. Это позволит снизить себестоимость фибробетона, не влияя на его прочностные характеристики.

По данному способу утилизации автомобильных шин был проведен патентный поиск, и было выявлено, что данная идея обладает научной новизной и актуальна на территории Российской Федерации. Процесс получения фибры, осуществляемый посредством фиброобразующего шинорасшипляющего агрегата (далее ФОШРА) показан на рисунке 3.

Отработанная автомобильная покрышка диаметром от 14 до 24 дюймов загружается в фиксирующий барабан 1, который с помощью гидравлических поршней 2 изменяет свой диаметр, подстраиваясь под диаметр покрышки. С помощью режущего диска 3, установленного на выдвижном штоке 4, осуществляется горизонтальный пропил покрышки, с целью последующей фиксации армированной резиновой ленты на конвейере 11 фиксатором 10. После горизонтального пропила, фиксирующий барабан 1 приводится в движение вокруг оси 2.1, с отделением боковых частей покрышки двумя режущими лезвиями 5, установленными на выдвижных штоках 6.

После закрепления армированной резиновой ленты фиксатором 10, полученной из автомобильной покрышки, конвейер 11 приводится в движение, с одновременным опусканием комплекса режущих дисков 7, установленных на расстоянии, равном требуемой ширине фибры. В процессе движения конвейера 11 относительно металлического стенда 12, закрепленного на стойках 13, комплекс режущих дисков 7 разрезает армированную резиновую ленту на полосы, шириной, равной требуемой ширине фибры, а

именно 1 мм. При приближении к комплексу режущих дисков 14, установленных на оси 16 на расстоянии, равном требуемой длине фибры, которая варьируется от 40 до 60 мм., посредством опускного механизма 15, вращаясь вокруг оси 15, комплекс режущих дисков 16 нарезает фибру требуемой длины. Далее конвейерная лента 11 доставляет готовую фибру в фиброприемную воронку 17, по которой фибра через рукав 18 попадает в ящик для фибры 19, с последующей упаковкой и доставкой к месту применения [14–16].

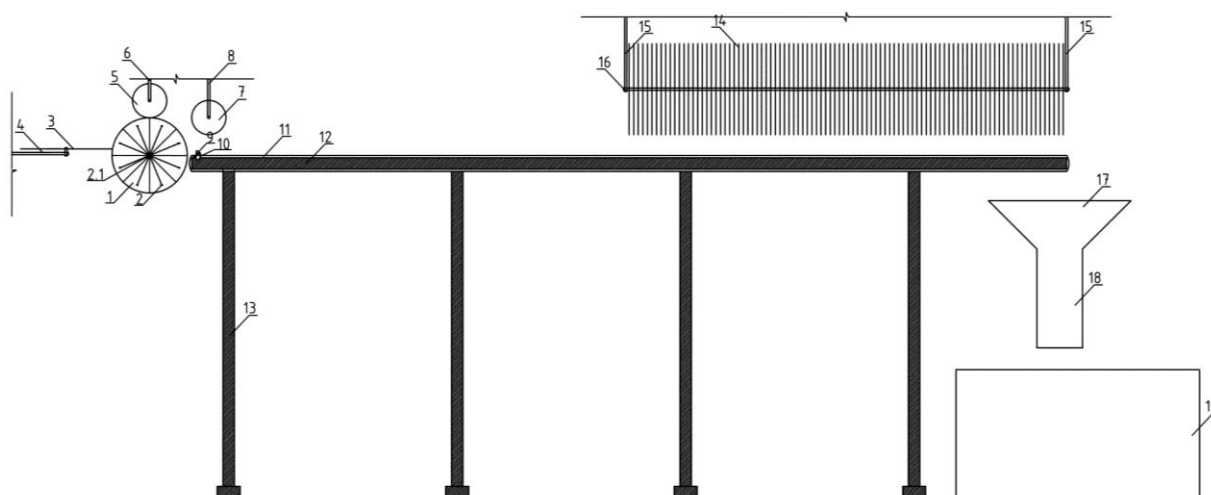


Рис. 3. ФОШРА, фронтальный вид

Описанная запатентованная технология позволяет получать дисперсно-армирующий материал отличный от наиболее распространенного – стальной фибры тем, что слой резины, представляющий собой оболочку данной фибры, обеспечивает антикоррозийное покрытие, тем самым повышая долговечность фибробетона.

Выводы. Таким образом, можно сделать вывод, что использование отходов автомобильной промышленности в виде отработанных радиальных покрышек позволяет снизить себестоимость фибробетона без снижения прочностных характеристик. Также использование этой разновидности армирующего материала позволит утилизировать отработанные автомобильные покрышки, снижая тем территории свалок, увеличивающиеся ежегодно.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Рабинович Ф.Н. Композиты на основе дисперсно-армированных бетонов. Вопросы теории и проектирования, технологии, конструкции. Москва, 2004. 560 с.
2. Курбатов В.Л., Дроков А.В. История фибробетона и его современное применение в России и за рубежом. Актуальные вопросы современной науки // Сборник научных докладов № 21 XXI-ой

Международной научно-практической конференции Минеральные Воды: Копир. множ. бюро СКФ БГТУ им. В.Г. Шухова. 2015. С. 48–52.

3. Баженов Ю.М. Модифицированные высококачественные бетоны. М.: Изд. АСВ, 2006. 368 с.

4. Фибробетон. Свойства и характеристики [Электронный ресурс] / URL: <http://fibro-beton.ru/q1.html>. (18.07.2018)

5. Землянухин А. Д. Фибробетон, устойчивый к воздействию высоких температур // Молодой ученый. 2016. №28. С. 88–90.

6. Перепечко С. А. Фибробетон и его использование в северных регионах России // Молодой ученый. 2017. №2. С. 185–187.

7. Комарова Н.Д. Аспекты модифицирования цементно-бетонных систем. Научные итоги: достижения, проекты, гипотезы // Сборник научных докладов №19 XIX-ой Международной научно-практической конференции. Минеральные Воды: Копир. множ. бюро СКФ БГТУ им. В.Г.Шухова. 2014. С. 20–24.

8. Крылов Б.Н. Фибробетон и его свойства // Обзор. Вып.4 ЦИНИС. Москва. 1979. С. 8–11.

9. Ахмеднабиев Р.М., Калиман А.М., Кравчук Н.Ю. Влияние различных волокон на свойства фибробетонов // Технические науки - от теории к практике: сб. ст. по матер. XXII междунар.

науч.-практ. конф. Новосибирск: СибАК. 2013. С. 34–36.

10. GREENPEACE. Проблема отходов [Электронный ресурс]. URL: <http://www.greenpeace.org/russia/ru/campaigns/waste> (дата обращения 18.07.2018).

11. РБК. AUTONEWS [Электронный ресурс]. URL: <https://www.autonews.ru/news> (дата обращения 25.03.2017).

12. Пат. 2377274 Российская Федерация, МПК51 В29В 17/00(2006.01). Способ утилизации изношенных автомобильных шин / А.И. Горностаев, Я.А. Нечипорук; заявитель и патентообладатель ГОУ ВПО "Рязанский военный автомобильный институт имени генерала армии В.П. Дубынина". № 2008118635/04, заявл. 12.05.2008; опубл. 27.12.2009, Бюл. № 36. 3 с.

13. Пат. 2473422 Российская Федерация, МПК51 В29В 17/00(2006.01). Способ разрезания покрышек / А.А. Вещев, А.Е. Соколов; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВПО "Ярославский

государственный технический университет". № 2011131115/05, заявл. 25.07.2011; опубл. 27.01.2013, Бюл. № 3. 8 с.

14. Курбатов В.Л., Дроков А.В.. Фибробетон на отходах автомобильной промышленности. / Университетская наука «Научные основы современного прогресса»: журнал по материалам XXV-ой международной научно-практической конференции // Северо-Кавказский филиал Белгор. гос. технол. ун-та. (Минеральные Воды 23 марта 2017 г.). Минеральные Воды: Копир. множ. бюро СКФ БГТУ им. В.Г. Шухова. №3. 2017. С. 7–10.

15. Курбатов В.Л., Римшин В.И. Проектирование и капитальное строительство. Том 1. Минеральные Воды: Копир. множ. бюро СКФ БГТУ им. В.Г. Шухова, 2014. С.454–467.

16. Ковалева А.Ю. Формирование макроструктуры сталефибробетонов (на примере токарной фибры): Автореф. дис. канд. техн. наук. СПб, 2001. 22 с.

Информация об авторах

Дроков Алексей Викторович, аспирант кафедры строительства и городского хозяйства. E-mail: a.drack@yandex.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Поступила в декабре 2018 г.

© Дроков А.В., 2019

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

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

*E-mail: a.drack@yandex.ru

RATIONAL WASTE MANAGEMENT IN THE AUTOMOTIVE INDUSTRY AT DESIGN OF FIBROBETON COMPOSITION

Abstract. The use of waste in the automotive industry as a secondary raw material for the production of fiber is considered. Used radial tires of 14 to 24 inches diameter are reviewed as a waste. The utilization of radial tires is advisable, as the inner frame is used for future fiber. The side part is not suitable for fiber production due to the lack of a metal frame. In this technology, the use of diagonal tires is impossible due to the diagonal arrangement of the tire carcass. The preparation of dispersed-reinforced material from recycled radial tires is carried out according to the patented technology of the article's author. The final product is steel rubberized fiber. The use of above-mentioned secondary raw materials makes fiber-reinforced concrete more accessible, keeping its strength characteristics. The rubber covering avoids the corrosion of steel central part. The use of discussed waste will reduce the cost of fiber-reinforced concrete and the landfills growth, which increase annually to an area equal to Moscow and St. Petersburg according to Greenpeace.

Keywords: fiber-reinforced concrete, fibro-forming splintering aggregate, fiber, automobile tire.

REFERENCES

1. Rabinovich F.N. Composites based on dispersed-reinforced concrete. Questions of theory and design, technology, design. Moscow. 2004, 560 с.

2. Kurbatov V.L., Drokov A.V. The history of fiber-reinforced concrete and its modern application in Russia and abroad. Collection of scientific reports

No. 21 of the XXI International Scientific and Practical Conference "Actual problems of modern science". Mineralnye Vody: NCB of BSTU named after V.G. Shukhov. 2015, pp. 48–52.

3. Bajenov Y.M. Modified high-quality concrete. Moscow: ACB. 2006, 368 p.

4. Fibroconcrete. Properties and characteristics. Available at: <http://fibro-beton.ru/q1.html> (accessed 18.07.2018)
5. Zemlianykhin A.D. High-temperature resistant fibrous concrete. Young scientist, 2016, no.28, pp. 88–90.
6. Perepechko S.A. Fiber-concrete and its use in the northern regions of Russia. Young scientist, 2017, no.2, pp. 185–187.
7. Komarova N.D. Aspects of modifying cement-concrete systems. Collection of scientific reports № 19 of the XIX International Scientific and Practical Conference “Scientific results: achievements, projects, hypotheses”. Mineralnye Vody: NCB of BSTU named after V.G. Shukhov. 2014, pp. 20–24.
8. Krilov B.N. Fiber-reinforced concrete and its properties. Survey Release No. 4 CINIS. Moscow, 1979, pp. 8–11.
9. Ahmednabiev R.M., Kaliman A.M., Kravchuk N.U. Effect of different fibers on the properties of fiber-reinforced concrete. Technical sciences - from theory to practice: a collection of articles on the materials of the 22nd International Scientific and Practical Conference. Novosibirsk, SibAK. 2013, pp. 34–36.
10. GREENPEACE. The problem of waste. Available at: <http://www.greenpeace.org/russia/ru/campaigns/waste> (accessed 18.07.2018).
11. RBK. AUTONEWS. Available at: <https://www.autonews.ru/news> (accessed 18.07.2018).
12. Gornostaev A.I., Nechiporyk Y.A. The way of recycling worn automobile tires. Patent RF, no. 2377274, 2009.
13. Veschev A.A., Sokolov A.E. Method of cutting tires. Patent RF, no. 2473422, 2013.
14. Kurbatov V.L., Drovkov A.V. Fibroconcrete for automotive waste. University science "Scientific foundations of modern progress": a journal on the materials of the 25th International Scientific and Practical Conference, 2017, no.3, pp. 7–10.
15. Kurbatov V.L., Rimshin V.I. Designing and capital construction. Volume 1. Mineralnye Vody: NCB of BSTU named after V.G. Shukhov, 2014, pp. 454–467.
16. Kovaleva A.Y. Formation of the macrostructure of steel-fiber concrete (on the example of turning fiber): Abstract of the thesis of Cand.Tech.Sci. St. Petersburg, 2001, 22 p.

Information about the authors

Drovkov, Alexey V. Postgraduate student. E-mail: a.drack@yandex.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Received in August 2018

Для цитирования:

Дроков А.В. Рациональное использование отходов автомобильной промышленности при проектировании составов фибробетонов // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2018. №12. С. 28–32. DOI: 10.12737/article_5c5062035ff268.92870890

For citation:

Drovkov A.V. Rational waste management in the automotive industry at design of fibrobeton composition. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov, 2019, no. 1, pp. 28–32. DOI: 10.12737/article_5c5062035ff268.92870890

DOI: 10.12737/article_5c506204083240.44433541

¹Соков В.Н., ¹Баженова С.И., ^{1,*}Петров М.А., ¹Пепеляева А.Ю.¹Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет
Россия, 129337, г. Москва, Ярославское ш., д. 26

*E-mail: bk_msk@mail.ru

ФАСАДНАЯ НЕГОРЮЧАЯ КРАСКА НА ОСНОВЕ КАЛИЕВОГО ЖИДКОГО СТЕКЛА: ОСОБЕННОСТИ СОСТАВА

Аннотация. Силикатная краска, благодаря своим качествам, таким как атмосферостойкость, способность к диффузии углекислого газа и водяного пара, хорошая адгезия, занимает особое место в отделке фасадов зданий, в частности при ее использовании на минеральных подложках. Главной задачей данной работы является модернизация фасадной силикатной краски на основе жидкого калиевого стекла с целью повышения эффективности показателей, а именно, придание ей свойств и характеристик краски, относящейся к группе горючести материалов – негорючие. В статье предложен новый оптимальный компонентный состав, отвечающий основным российским стандартам и зарубежной нормативно-технической документации. Выделены и проанализированы основные технические характеристики материала и входящего сырья, также уделено внимание применяемым методикам исследования. Определены основные физико-механические свойства полученного продукта: условная вязкость, плотность, массовая доля нелетучих веществ, адгезия покрытия, период силикатизации, степень перетира, смываемость пленки, стойкость к статическому воздействию воды, сопротивление паропроонианию, условная светостойкость покрытия, группа горючести, атмосферостойкость, прогнозируемый срок службы в различных условиях. В результате испытаний была получена фасадная краска с улучшенными техническими характеристиками, которая может применяться для всех типов зданий и сооружений.

Ключевые слова: фасад, лакокрасочные материалы, пожаробезопасность, силикатная краска, негорючесть, фасадная краска, отделочный материал, краска.

Фасады зданий в наибольшей степени подвержены влиянию неблагоприятных факторов, таких как атмосферные осадки, перепады температур и влажности, ультрафиолетовое облучение, действие термических нагрузок. Из-за этого они разрушаются, теряют свою выразительность и несущую способность. Таким образом при проектировании здания или сооружения следует учитывать, что кроме архитектурной выразительности, они должны соответствовать эксплуатационным характеристикам требованиям нормативно-технической документации, таким как, пожарная безопасность, износостойкость, цветовустойчивость, прочность фасада.

При возникновении пожара, фасад может способствовать распространению пламени, создавая угрозу жизни и здоровью находящихся в здании людей, чтобы избежать воздействия пожаров или хотя бы снизить их активность в РФ был разработан и введен в действие ГОСТ 30244-94.

При возгорании – неприятных последствий уже не избежать. Можно лишь сделать всё возможное, чтобы свести к минимуму существующие риски. Противопожарная защита имеет множество форм и вариантов решения, одна из возможностей – огнезащитная краска. Эти отделочные материалы отличаются от тех, которые применяются для внутренних работ своей макси-

мальной сопротивляемостью внешнему воздействию окружающей среды. Кроме того, краски для облицовки внешней поверхности стен должны сочетать в себе все качественные показатели и быть долговечными.

Путем сбора статистических данных, было установлено, что не так много российских производителей лакокрасочной продукции производят негорючие ЛКМ. Представленные продукты на рынке, в основном, предназначены для внутренних работ и, выпускаясь в премиум-сегменте, имеют достаточно высокие цены. Поэтому нами было принято решение разработать новую рецептуру негорючей силикатной краски среднего ценового уровня.

Силикатные краски являются весьма долговечным и надежным отделочным материалом. Они изготавливаются на основе полимерных дисперсий и жидкого калиевого стекла. Главной отличительной особенностью силикатных красок от других видов является повышенный показатель влагостойкости, максимальное паро- и воздухопроницание, а за счет высокой щелочности (значение водородного показателя pH допускается от 10 до 11) не допускает появления на фасадной части стены плесени и грибка. Краска обладает хорошей адгезией благодаря окремнению к минеральным подложкам, а также может использоваться для реставрационных работ, т.к. обладает устойчивой пигментацией.

Любые силикатные составы для фасада должны соответствовать определенным требованиям, характеризующим качество материала. Так как мы разрабатываем силикатную негорючую краску, основные технические характеристики должны соответствовать ГОСТ 18958-73, ГОСТ 30244-94, а также техническим параметрам по DINEN 1062:

Сухая пигментная часть красок должна удовлетворять требованиям [1], [2], [3]:

- Содержание влаги – не более 1,5 %,
- Тонкость помола, по ГОСТ 3584-73, остаток на сетке после мокрого просеивания – не более 3,0 % [4].

Жидкое калийное стекло должно удовлетворять требованиям:

- Внешний вид – жидкость желтоватого или зеленоватого оттенка

- Содержание оксида калия – от 10,2 до 12,5 %

- Содержание двуоксида кремния – от 20,0 до 26,0 %

- Кремнеземистый модуль – от 2,5 до 4,0

Краска, готовая к применению, должна удовлетворять требованиям:

- Цвет – должен соответствовать утвержденному эталону в пределах вилки цветов
- Укрывистость – не более 650,0 г/м²
- Период силикатизации – не более 8,0 ч.
- Вязкость по воронке ВЗ-4 – 14–16 с.

Помимо данных показателей готовый продукт должен характеризоваться как: для наружных работ, термостойкий лакокрасочный материал, влагостойкий, огнезащитный.

Согласно заданным параметрам, разрабатываемая краска должна соответствовать группе горючести НГ (табл. 1).

Таблица 1

Характеристики группы горючести НГ строительных материалов [1]

Группа горючести материалов	Параметры горючести		
	Прирост температуры в печи не более, °С	Потеря массы образца не более, %	Продолжительность устойчивого пламенного горения не более, с
НГ	50	50	10

Благодаря соответствию данным стандартам, разрабатываемая краска обеспечит не только прочность, долговечность покрытия, но и сохранение микроклимата внутри помещения.

Проведя все необходимые исследования и сделав порядка 30 пробных замесов в лабораторных условиях нами была разработана следующая оптимальная рецептура силикатной негорючей краски, компоненты которой сведены в табл. 2.

Таблица 2

Рецептура силикатной негорючей краски

Компоненты	Процентное соотношение, %
Вода	10,00–30,00
Диспергатор	0,20–0,60
Пеногаситель	0,10–0,50
Наполнитель (мрамор молотый)	25,00–40,00
Наполнитель (каолины)	5,00–10,00
Наполнитель (волокнистый)	0,20–0,60
Диоксид титана	4,00–7,00
Жидкое калиевое стекло	30,00–45,00
Растворитель	0,30–0,60
Силиконовая добавка (гидрофобизатор)	0,50–1,00

*Для сохранения уникальности данной рецептуры процентное соотношение указано с некой дельтой, из чего следует множество вариантов возможных исполнений.

Для определения технических показателей существует ряд методов испытаний, с помощью которых определяется соответствие краски заданным требованиям. Большинство тестов производится в лабораторных условиях на специализированном оборудовании.

Отбор проб производился по ГОСТ 9980.2

Для подготовки средней пробы к исследованиям по ГОСТ 28196 п. 4.2 и по ГОСТ 8832 с поверхности материала была удалена пленка, далее испытуемый материал был тщательно перемешан до однородного состояния [5].

Допускается определять цвет и внешний вид пленки на образцах после испытаний по показателю «Укрывистость высушенной плёнки» по ГОСТ 28196 п.4.3. Укрывистость высушенной пленки возможно определить двумя методами, а именно:

1. Метод нанесения материала на лабораторную карту

2. Метод нанесения на стеклянную пластинку по ГОСТ 8784 раздел 1

Для определения укрывистости высушенной пленки в данной работе был использован метод 1. Для этого на лабораторную карту с левой стороны была нанесена, с помощью ракля, исследуемая проба в 1 слой, толщиной 250 мкм, с правой – контрольный образец. После сушки 1 час, в помещении при температуре воздуха $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$, было произведено визуальное сравнение исследуемой пробы с контрольным образцом при естественном дневном свете. [6]

Так как силикатные краски относятся к высоковязким продуктам, следовательно, измерить вязкость с помощью вискозиметра ВЗ-246, даже с наибольшим размером сопла, не представляется возможным, поэтому вязкость была измерена с помощью воронки ВЗ – 4 по ГОСТ 8420.

Для определения рН-диапазона использовали рН-метр со стеклянным электродом, погрешность измерения не более 0,1, пластмассовый стаканчик (объемом 240 мл, высотой 8 см, верхним диаметром 6,7 см, нижним диаметром 5,2 см.), дистиллированная вода по ГОСТ 6709. Все испытания проводились в соответствии ГОСТ 52020 п. 9.4. [7]

Так же нами проводились исследования по определению массовой доли нелетучих веществ по ГОСТ 31939.

Для обработки результатов массовую долю нелетучих веществ (X), в процентах, рассчитывали по следующей формуле:

$$X = m_2 / m_1 \cdot 100 \quad (1),$$

где m_1 – масса пробы, взятая для испытания, г; m_2 – масса сухого остатка, г.

За результат анализа приняли среднее арифметическое результатов двух параллельных определений. Окончательный результат округлили до десятых долей [8].

Плотность была определена по ГОСТ Р 53654.1.

Период силикатизации по ГОСТ 18958 п. 4.14.

Степень перетира по ГОСТ Р 52753.

Стойкость к статическому воздействию воды по ГОСТ 9.403. метод А.

Сопротивление паропроницаемости по ГОСТ 25898.

Условную светостойкость покрытия по ГОСТ 21903.

Атмосферостойкость по ГОСТ Р 52020 п.9.7.

Прогнозируемый срок службы по ГОСТ 9.401 приложение 10.

Негорючесть согласно ГОСТ 30244-94.

Контроль концентрации вредных веществ в воздухе рабочей зоны определялся по ГОСТ 12.1.014 и ГОСТ 12.1.016.

Лабораторный контроль на соответствие показателей безопасности материалов (миграция химических веществ в атмосферный воздух из высушенных покрытий, обработанных материалами) при изготовлении лабораторных замесов требованиям «Единых санитарно – эпидемиологических и гигиенических требований к товарам, подлежащим санитарно – эпидемиологическому надзору (контролю)» осуществляла Испытательная лаборатория, аккредитованная в установленном порядке, по методикам, утвержденным МЗ РФ.

Учитывая процентное соотношение сырья, способ применения, при использовании краски вредные вещества в воздух рабочей зоны не выделяются.

При использовании краски она не создает в атмосферном воздухе специфического запаха, превышающего допустимую норму – 2 балла. Краска не содержит сиккативы, в т.ч. свинецсодержащие пигменты и не выделяет в модельные среды (воздух) химические вещества 1 класса опасности, а содержание остальных веществ не превышает ПДК с.с, ОБУВ для атмосферного воздуха в соответствии с требованиями Единых СанЭ и Г требований, утвержденных решением № 299 от 28.05.2010 года. При выделении из формирующегося покрытия, обработанного краской нескольких химических веществ, обладающих суммацией действия, сумма отношений концентраций к их ПДК не превышает 1. Из высушенного покрытия, обработанного краской, химические вещества в атмосферный воздух не выделяются. [9]

Полученная нами негорючая силикатная краска, соответствующая группе А2 по DIN 4102 [10], не является пожаровзрывоопасным материалом. При производстве, испытании и применении краски, нами соблюдались требования пожарной безопасности по Техническому регламенту о требованиях пожарной безопасности № 123-ФЗ и ГОСТ 12.1.004.

Данные испытаний были сведены в таблицу 3.

Таблица 3

Физико-механические показатели силикатной негорючей краски

Наименование показателей	Значение	Методы испытаний
1. Внешний вид плёнки	После высыхания материалы должны образовывать плёнку с ровной однородной матовой поверхностью	по ГОСТ 29319
2. Цвет плёнки и краски	белый	
3. Укрывистость высушенной плёнки: 3.1 Метод нанесения на лабораторную карту 3.2 Метод нанесения на стеклянную пластинку, г/м ² , не более	Должна находиться в пределах допустимых отклонений, установленных контрольными образцами 200	по ГОСТ 8784
4. Условная вязкость с помощью воронки ВЗ - 4, с, при температуре (20+2) °С, не менее	14	По ГОСТ 8420
5. Плотность, г/см ³ , не менее	1,53	По ГОСТ 28513
6. pH, при температуре (20+2) °С, не менее	10,00	По ГОСТ 52020 п.9.4
7. Массовая доля нелетучих веществ, % не менее	67,50	По ГОСТ 31939
8. Адгезия покрытия, баллы, не более: -к штукатурке	1	По ГОСТ 31149
9. Период силикатизации, ч, не более	8	По ГОСТ 18958 п.4.14
10. Степень перетира, мкм, не более	70	По ГОСТ Р 52753
11. Смываемость пленки, г/м ² , не более	2	По ГОСТ Р 52020 п.9.5
12. Стойкость к статическому воздействию воды при температуре (20+2) °С, ч, не менее	24	По ГОСТ 9.403, метод А
13. Сопротивление паропроницанию, м ² ·ч·Па/мг	0,14	По ГОСТ 25898
14. Условная светостойкость покрытия, ч, не менее	24	По ГОСТ 21903
15. Группа горючести	НГ	По ГОСТ 30244
15. Атмосферостойкость, срок службы, год, в условиях эксплуатации: У1, ХЛ1УХЛ1 У2,У3, ХЛ2,УХЛ2,ХЛ3, УХЛ3	Атмосферостойкое 2	По ГОСТ Р 52020 п. 9.7
15. Прогнозируемый срок службы в условиях эксплуатации У1, ХЛ1, УХЛ1, г, не менее	10	По ГОСТ 9.401, приложение 10

В результате проведенной работы нами был получен готовый к применению негорючий, атмосферостойкий, обладающий высокой паропроницаемостью материал на силикатной основе для покрытий минеральных фасадных подложек и содержащий в качестве связующего вещества жидкое калиевое стекло с органическими стабилизаторами. Данный продукт может использоваться для наружных работ во всех типах зданий и сооружений. Полученная краска образует пожаробезопасное покрытие и носит рекомендательный характер для детских дошкольных и образовательных учреждений, для реставрационных работ, культурно-массовых и жилых типов зданий. Согласно полученным данным испытаний краска полностью соответствует как Российским нормативным документам, а именно ГОСТ 18958-73 и ГОСТ 30244-94, а также техническим параметрам зарубежных стран (DINEN 1062). Несмотря на важность данного продукта, в

ходе работы нам не удалось выявить прямых конкурентов данной краски (представленные на рынке аналоги, а именно негорючие краски, предназначены для внутренних работ, в том числе для окрашивания путей эвакуации) а, следовательно, можно сделать вывод о незанятости данной ниши.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. ГОСТ 30244-94 Материалы строительные. Методы испытания на горючесть.
2. ГОСТ 18958-73 Краски силикатные.
3. DINEN 1062 Краски и лаки. Лакокрасочные материалы и лакокрасочные системы для наружной окраски минеральных поверхностей и бетона. Часть 1. Классификация.
4. ГОСТ 6613-86 Сетки проволоочные тканые с квадратными ячейками. Технические условия.

5. ГОСТ 9980.2-2014 Материалы лакокрасочные и сырье для них. Отбор проб, контроль и подготовка образцов для испытаний.

6. ГОСТ 8784-75 (СТ СЭВ 5904-75) Материалы лакокрасочные. Методы определения укрывистости.

7. ГОСТ Р 52020-2003 Материалы лакокрасочные водно-дисперсионные. Общие технические условия.

8. ГОСТ 31939-2012 (ISO 3251:2008) Материалы лакокрасочные. Определение массовой доли нелетучих веществ

9. ГОСТ 12.1.004-91 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Пожарная безопасность. Общетребования.

10. DIN 4102 Огнестойкость строительных материалов и конструкций. Часть 1. Строительные материалы, термины и определения, требования и испытания.

Информация об авторах

Соков Виктор Николаевич, доктор технических наук, профессор кафедры технологии вяжущих веществ и бетонов. E-mail: sersok_07@mail.ru. Московский государственный строительный университет. Россия, 129337, г. Москва, Ярославское ш., д. 26.

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

Петров Максим Андреевич, студент кафедры технологии вяжущих веществ и бетонов. E-mail: bk_msk@mail.ru. Московский государственный строительный университет. Россия, 129337, Москва, Ярославское ш., д. 26.

Пепеляева Ангелина Юрьевна, студент кафедры технологии вяжущих веществ и бетонов. E-mail: pepelyaevaanyu@gmail.com. Московский государственный строительный университет. Россия, 129337, Москва, Ярославское ш., д. 26.

Поступила в декабре 2018 г.

© Соков В.Н., Баженова С.И., Петров М. А., Пепеляева А.Ю., 2018

¹Sokov N., ¹Bazhenova S.I., ^{1,*}Petrov M.A., ¹Pepelyaeva A.Yu.

¹Moscow State University of Civil Engineering
Russia, 129337, Moscow, Yaroslavskoe sh. 26

*E-mail: bk_msk@mail.ru

THE NONFLAMMABLE FACADE SILICATE PAINT ON THE BASIS OF THE LIQUID POTASSIUM GLASS: FEATURE OF THE COMPOSITION

Abstract. The silicate paint occupies a special place in facade finish, in particular when using it on mineral substrates, due to its weather resistance, diffusive capacity of carbon dioxide, water vapour and good adhesion. The main objective of this work is the modernization of the facade silicate paint based on liquid potassium glass in order to improve its efficiency, to provide it with the properties of a non-flammable paints.

The article presents new optimal composition that meets the main Russian standards and foreign regulatory and technical documentations. Basic technical specifications of paint and raw materials are analyzed. The attention is also paid to research methodologies. The main physicomaterial properties of the resulting product are determined: conditional viscosity, density, non-volatile matter content, adhesion of coatings, period of silicification, milling degree, membrane washability, resistance of water static effect, water vapor permeability resistance, nominal light-resistance of coating, flammability class, weather resistance, durability in different conditions. In result, the facade paint with better technical characteristics for any constructions is obtained.

Keywords: facade, coating materials, fire safety, silicate paints, incombustibility, facade paint, facing material, paint.

REFERENCE

1. GOST 30244-94 Building materials. Methods for combustibility test.
2. GOST 18958-73 Silicate paints.

3. DINEN 1062 Paints and varnishes - Coating materials and coating systems for exterior masonry and concrete - Part 1: Classification.
4. GOST 6613-86 Square meshed woven wire cloths. Specifications.

5. GOST 9980.2-2014 Paint materials and raw materials for them. Sampling, examination and preparation of test sample.

6. GOST 8784-75 Paint materials. Methods for determination of hiding power.

7. GOSTP 52020-2003 Waterdispersible paint materials. General specifications.

8. GOST 31939-2012 (ISO 3251:2008) Paint materials. Determination of non-volatile-matter mass fraction.

9. GOST 12.1.004-91 Occupational safety standards system. Firesafety. General requirements.

10. DIN 4102 Fire behaviour of building materials and elements. Part 1: Classification of building materials Requirements and testing.

Information about the authors

Sokov, Viktor N. DSc, Professor. E-mail: sersok_07@mail.ru. Moscow State University of Civil Engineering, Russia, 129337, Moscow, Yaroslavskoe sh. 26.

Bazhenova, Sofya I. PhD, Assistant professor. E-mail: sofia.bazhenova@gmail.com. Moscow State University of Civil Engineering, Russia, 129337, Moscow, Yaroslavskoe sh. 26.

Petrov, Maksim A. Bachelor student. E-mail: bk_msk@mail.ru. Moscow State University of Civil Engineering, Russia, 129337, Moscow, Yaroslavskoe sh. 26.

Pepelyaeva, Angelina Yu. Bachelor student. E-mail: pepelyaevaanyu@gmail.com. Moscow State University of Civil Engineering, Russia, 129337, Moscow, Yaroslavskoe sh. 26.

Received in December 2018

Для цитирования:

Соков В.Н., Баженова С.И., Петров М. А., Пепеляева А.Ю. Фасадная негорючая краска на основе калиевого жидкого стекла: особенности состава // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2019. №1. С. 33–38. DOI: 10.12737/article_5c506204083240.44433541

For citation:

Sokov V.N., Bazhenova S.I., Petrov M.A., Pepelyaeva A.Yu. The nonflammable facade silicate paint on the basis of the liquid potassium glass: feature of the composition. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov, 2019, no. 1, pp. 33–38. DOI: 10.12737/article_5c506204083240.44433541

DOI: 10.12737/article_5c506204cd5049.44944476

^{1,*}Боцман Л.Н., ²Соболев К.Г., ¹Полякова Р.О., ¹Марков А.Ю.¹Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

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

²Университет Висконсин-Милуоки

США, WI 53201, штат Висконсин Милуоки, Р.О. Вок 413

*E-mail: lora80@list.ru

АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВНЕДРЕНИЯ ТЕХНОЛОГИИ ХОЛОДНОГО РЕСАЙКЛИНГА С ПРИМЕНЕНИЕМ МОДИФИКАТОРА «ДОРЦЕМ ДС-1»

Аннотация. Рассмотрена проблема ограничения типоразмерного ряда механизмов привода грави-тационных в настоящее время в большинстве регионах России при капитальном ремонте автомобильных дорог часто используют технологию холодной регенерации существующего асфальтобетонного покрытия. Технология холодной регенерации заключается в измельчении материала существующего асфальтобетонного покрытия в частности с захватом части щебеночного слоя основания преимущественно холодным фрезерованием, перемешивании смеси на дороге или в специальных установках (с добавлением органических и неорганических вяжущих, нового скелетного материала и других добавок), распределении полученной смеси в виде слоя и его уплотнении. Смешение на месте производится звеном специализированных машин. Для выполнения работ по холодной регенерации, чаще всего использовали типовой подбор с добавлением цемента и битумной эмульсии. Однако в связи с повышением стоимости материалов и строительства в целом, заказчики ищут альтернативные способы снижения стоимости строительства, не ухудшающие качество производства работ. Одним из методов является добавление цемента и модифицирующей добавки «Дорцем ДС-1». В статье рассмотрена целесообразность ее использования.

Ключевые слова: холодный ресайклинг, метод холодного фрезерования, основание дорожной одежды, модифицирующие добавки, дорожная конструкция, модификатор «ДорЦем ДС-1», конструкция дорожной одежды.

Введение. Постоянно возрастающая интенсивность движения по автомобильным дорогам общего пользования, а также значительное увеличение нагрузок на ось требует увеличения несущей способности дорожной одежды существующих дорог.

Одним из методов увеличения несущей способности для ремонтируемых и реконструируемых дорог является метод холодной регенерации (ресайклинг) [1]. Он является современным, хорошо зарекомендовавшим себя у дорожных организаций способом и единственным в своем роде, поскольку обеспечивает восстановление основания дорожной одежды, позволяющим повторное использование материала старого покрытия [2, 3].

Холодный ресайклинг позволяет сократить сроки реконструкции, ремонта, существенно снизить затраты. Производство работ методом холодной регенерации осуществляется без остановки движения, что позволяет не предусматривать дополнительные затраты на строительство временных объездных дорог [4].

В данной статье произведен анализ и сравнение типовых подборов асфальтогранулобетонных смесей (АГБ), а также рассмотрена эффективность использования модифицирующей добавки «ДорЦем ДС-1» [5].

Методология. Отбор смесей осуществлялся при производстве работ по капитальному ремонту дороги III технической категории в Красногвардейском районе Белгородской области.

На первом участке, протяженностью двенадцать километров использовали типовой подбор асфальтогранулобетонных смесей (табл. 1) с укреплением цементом и битумной эмульсией. Было отобрано 6 образцов смеси для последующего испытания на соответствие ГОСТ 30491-2012, на 14 суток после отбора образцов.

На втором участке, протяженностью девятнадцать километров использовали типовой подбор асфальтогранулобетонных смесей (табл. 1) с укреплением цементом и модифицирующей добавкой «ДорЦем ДС-1». Было отобрано 6 образцов смеси для последующего испытания на соответствие требованиям методических рекомендаций по восстановлению асфальтобетонных покрытий и оснований автодорог способами холодной регенерации, на 7 суток после отбора образцов.

Испытания проводились на базе производственной лаборатории подрядной организации, выполняющей работы на участке капитального ремонта автомобильной дороги. Сравнение и выявление эффективности подборов составов проводилось на основании лабораторных испытаний и

сметной документации, разработанной заказчиком.

Основная часть. На территории Белгородской области метод холодной регенерации существующего асфальтобетонного покрытия (ресайклинг) используют более трех лет. Он представляет собой укрепление (стабилизацию) грунтов [6–8], каменных материалов и асфальтогранулята [9] вяжущими материалами путем предварительного фрезерования и смешения на дороге специализированным звеном машин (рис. 1). Строительные организации региона оснащаются техникой для производства данного вида работ [10, 11], что подтверждает востребованность и целесообразность метода холодной регенерации.

К преимуществам данного метода можно отнести значительную экономию инертного материала, что сокращает сроки производства работ, уменьшает пробег и износ грузовых автомобилей. Кроме того, разрушение старого покрытия позволяет ликвидировать источник возникновения новых отраженных трещин, при этом не требуется утилизация старого покрытия [12, 13].



Рис. 1. Специализированное звено машин при выполнении работ по холодной регенерации существующего асфальтобетонного покрытия смешением на дороге

Модификатор «ДорЦем ДС-1» представляет собой порошкообразное вещество светло – серого (серого) цвета, в основе которого щелочно-земельные металлы и синтетические цеолиты, дополненные активатором и предназначен для применения совместно с цементным вяжущим в качестве добавки в дорожном, аэродромном, промышленном и гражданском строительстве.

С помощью модификатора «ДорЦем ДС-1» возможно регулирование сроков схватывания цемента, а также ускорение набора прочности цементогрунта. Однако, положительного влияния на морозостойкость укрепленного цементом грунта модификатор «ДорЦем ДС-1» не показывает [14, 15].

Таблица 1
Типовые подборы составов асфальтогранулобетонных смесей

Наименование компонентов	Дозировка в кг на 1 м ³ материала в уплотненном состоянии		Характеристика материала
	1	2	
Асфальтогранулят	2210,86	2216,2	Существующая автодорога
Цемент	29,54	50,85	ЦЕМ I 42,5 Н
Битумная эмульсия	59,6	–	ЭБДК-М (ЭБК-3)
Стабилизатор (модификатор)	–	2,95	По проекту

Примечание.

1. Расход стабилизатора (модификатора) составляет 6 % от массы цемента.

2. Количество воды уточняется в каждом конкретном случае в зависимости от естественной влажности.

Модификатор «ДорЦем ДС-1» намного превосходит по своим характеристикам импортные аналоги, при этом стоит в несколько раз дешевле. Технико - экономические расчеты, проведенные с учетом фактических затрат, показывают, что применение дорожного основания из укрепленных модификатором «ДорЦем ДС-1» материалов приводит к значительному снижению стоимости дорожного строительства. Полученный материал прошёл сертификацию, все необходимые испытания, а также получено экспертное заключение о безопасности его применения.

На первом участке капитального ремонта метод холодного ресайклинга производился в соответствии с I типовым подбором (табл. 1), до-

бавление цемента осуществлялось цементораспределителем, подача битумной эмульсии и воды производилась непосредственно ресайклером. После холодной регенерации выполняется последующая планировка укрепленного материала автогрейдером с последующим уплотнением катками. В соответствии с проектно-сметной документацией стоимость такого основания дорожной одежды составляет 373 руб/м².

На втором участке капитального ремонта метод холодного ресайклинга производился в соответствии со II типовым подбором (таблица 1), добавление цемента осуществлялось цементораспределителем, подача модификатора «Дор-Цем ДС-1» производилась комбинированной дорожной машиной со специальным дозатором, вода поступала непосредственно в ресайклер. После выполнения работ ресайклером также производится планировка и уплотнение. В соответствии с проектно-сметной документацией стоимость данного основания дорожной одежды составляет 325 руб/м², что на 15 % ниже I типового подбора. Снижение цены обусловлено меньшей дозировкой модификатора.

В ходе лабораторных испытаний были получены физико-механические характеристики разработанных составов (табл. 2)

Таблица 2

Результаты испытаний

№ пробы	Наименование смеси	Вид вяжущего (марка)	Расход вяжущего, %	Наименование добавки, %	Средняя плотность смеси, г/см ³	Водонасыщение, % по объему	Набухание, % по объему	Предел прочности при сжатии, МПа	
								R ₂₀	R ₅₀
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	АГБ К	ЦемI 42,5Н	2,0	Эмульсия ЭБДКМ	2,31	6,24	0,06	5,9	2,1
2	АГБ К	ЦемI 42,5Н	2,0	Эмульсия ЭБДКМ	2,29	6,79	0,04	5,8	2,0
3	АГБ К	ЦемI 42,5Н	2,0	Эмульсия ЭБДКМ	2,31	6,41	0,02	5,9	2,2
4	АГБ К	ЦемI 42,5Н	2,0	Эмульсия ЭБДКМ	2,23	4,61	0,10	4,0	1,8
5	АГБ К	ЦемI 42,5Н	2,0	Эмульсия ЭБДКМ	2,24	4,21	0,11	3,8	1,9
6	АГБ К	ЦемI 42,5Н	2,0	Эмульсия ЭБДКМ	2,24	4,48	0,13	3,9	1,9
Средние показатели						5,46	0,08	4,9	2,0
Требования ГОСТ 30491-2012						Не> 10,0	Не> 2,0	Не< 1,4	Не< 1,6
7	АГБ М	ЦемI 42,5	2,3	ДорЦем ДС-1	2,24	6,17	0,02	4,3	2,0
8	АГБ М	ЦемI 42,5	2,3	ДорЦем ДС-1	2,24	6,01	0,01	4,5	1,9
9	АГБ М	Цем I 42,5	2,3	ДорЦем ДС-1	2,23	6,11	0,01	4,3	1,9
10	АГБ М	ЦемI 42,5	2,3	ДорЦем ДС-1	2,25	6,01	0,05	4,5	1,9
11	АГБ М	ЦемI 42,5	2,3	ДорЦем ДС-1	2,25	5,86	0,04	4,5	1,9
12	АГБ М	ЦемI 42,5	2,3	ДорЦем ДС-1	2,25	5,97	0,05	4,5	1,8
Средние показатели						6,02	0,03	4,4	1,9
Требования методических рекомендаций по восстановлению покрытий и оснований автодорог способами холодной регенерации						Не> 10,0		Не< 2,0	Не< 0,8

Предел прочности при сжатии образцов №1-№6 составляет R_{20cp}=4,9 МПа, R_{50cp}=2,0 МПа. Предел прочности при сжатии образцов №7-№12 составляет R_{20cp}=4,4 МПа, R_{50cp}=1,9 МПа, что не значительно ниже чем у образцов №1-№6. Учитывая

наименьшую стоимость типового подбора II по сравнению со стоимостью типового подбора I практически при одинаковых прочностных характеристиках, что доказывает экономическую целесообразность ее применения.

В ходе лабораторных испытаний выявлено, что органоминеральная смесь, укрепленная органическими вяжущими совместно с минеральными (подбор I) полностью соответствует требованиям ГОСТ 30491-2012.

Асфальтогранулобетонная смесь, укрепленная минеральными вяжущими (подбор II), соответствует нормативным требованиям, а именно требованиям методических рекомендаций по восстановлению асфальтобетонных покрытий и оснований автодорог способами холодной регенерации.

Выводы. Эффективность применения материала подтверждена испытаниями, проведенными независимыми лабораториями, длительной безремонтной эксплуатацией объектов, а также положительными отзывами государственных заказчиков. На сегодняшний день все большее число проектов с применением модификатора «ДорЦем ДС-1» получили положительное заключение государственной экспертизы, как регионального, так и федерального уровня. Практика подтверждает технологическую и экономическую целесообразность использования модификатора при ресайклинге.

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

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Есипова Ю.Ю., Сачкова А.В., Духовный Г.С. Современные методы регенерации асфальтобетонов // Сборник статей международной научно-практической конференции «Современная наука: Теоретический и практический взгляд» (15 апреля 2016 г.). Тюмень: сборник статей Международной научно-практической конференции: в 4-х частях, 2016. С. 33–37.
2. Лупанов А.П., Силкин В.В., Рудакова В.В., Гладышев Н.В., Силкин А.В. Повторное использование асфальтобетона // СТТ: Строительная техника и технологии. 2016. № 4 (120). С. 76–79.
3. Свириденко М.В., Федорова В.С. Способы регенерации дорожных одежд // Материалы 57-й студенческой научно-технической конференции инженерно-строительного института ТОГУ (17 - 27 апреля 2017 г.). Хабаровск: Тихоокеанский государственный университет, 2017. С. 256–260.
4. Мануковский А.Ю., Курдюков Р.П. Регенерация асфальтобетонного покрытия // Актуальные направления научных исследований XXI века: Теория и практика. 2016. №5-2 (25-2). С. 63–68.
5. Фурсов С.Г., Кондратюк Д.В., Федоров П.Л., Бубнов Д.Н. Эффект модификатора «ДорЦем ДС-1» // Автомобильные дороги. 2012. №5. С. 136–139.
6. Дмитриева Т.В., Куцына Н.П., Кондрашов Д.С., Безродных А.А. Некоторые свойства грунтов с модификатором ДорЦем // Ресурсоэнергоэффективные технологии в строительном комплексе региона. 2018. № 9. С. 132–135.
7. Кулижников А.М. Требования к грунтам земляного полотна и подстилающего основания // Автомобильные дороги. 2015. №5. С. 82–83.
8. Безродных А.А., Дмитриева Т.В., Беляев А.В., Строкова В.В. Опыт укрепления грунтов для дорожного строительства // Сборник научных трудов международной научно-практической конференции «Современные проблемы строительной науки» (8-10 ноября 2017 г.). Липецкий государственный технический университет, 2017. С. 210–215.
9. Курдюков Р.П., Курдюков Д.П., Мануковский А.Ю. Регенерация асфальтобетонного покрытия // Сборник научных трудов по итогам международной научно-технической интернет-конференции «Леса России в XXI веке» (26 ноября 2015 г.). Санкт-Петербург, 2015. С. 130–135.
10. Селиверстов Н.Д. Создание технологического комплекса для строительства, ремонта и восстановления покрытий автомобильных дорог (ресайклера) // Ремонт. Восстановление. Модернизация. 2016. № 2. С. 42–47.
11. Асанов А.А., Алымкулов К.А. Современные технологии и комплекты машин для ремонта дорожного покрытия // Вестник КГУСТА. 2016. № 1 (51). С. 291–295.
12. Маданбеков Н.Ж., Омурбек Уулу Р., Мурзакматов Д.К., Турдубай Уулу С. Регенерация дорожных одежд // Вестник КГУСТА. 2015. № 2. С. 11–15.
13. Лыштван К.В., Цупикова Л.С. Регенерация асфальтобетона // Материалы 57-й студенческой научно-технической конференции инженерно-строительного института ТОГУ (17 - 27 апреля 2017 г.). Хабаровск: Тихоокеанский государственный университет, 2017. С. 179–182.
14. Подольский Вл.П., Матвиенко Ф.В., Строкин А.С., Борисов А.Е. Исследование влияния модификатора «ДорЦем ДС-1» на свойства цемента и физико-механические характеристики цементогрунта // Научный журнал строительства и архитектуры. 2017. №1(45). С. 84–92.
15. Вострикова Г.Ю., Хорохордин А.М., Востриков А.Г., Тимошинов О.В., Галактионов А.И. Влияние модификатора на физико-механические показатели цементных систем // Научный вестник Воронежского

государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Физико-химические

проблемы и высокие технологии строительного материаловедения. 2016. № 1 (12). С. 30–33.

Информация об авторах

Боцман Лариса Николаевна, кандидат технических наук, доцент кафедры материаловедения и технологии материалов. E-mail: lora80@list.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Соболев Константин Геннадиевич, PhD, профессор, зав. кафедрой гражданского строительства и охраны окружающей среды, Школа инжиниринга и прикладных наук. E-mail: k.sobolev@gmail.com. Университет Висконсин-Милуоки. США, WI 53201, штат Висконсин Милуоки, Р.О. Box 413.

Полякова Руфина Олеговна, магистр кафедры материаловедения и технологии материалов. E-mail: rufinaantonova@mail.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Марков Андрей Юрьевич, аспирант кафедры материаловедения и технологии материалов. E-mail: rufinaantonova@mail.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Поступила в ноябре 2018 г.

© Боцман Л.Н., Соболев К.Г., Полякова Р.О., Марков А.Ю., 2019

^{1,*}**Botsman L.N., ²Sobolev K.G., ¹Polyakova R.O., ¹Markov A.U.**

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

Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46

²University of Wisconsin-Milwaukee

P.O. Box 413, Milwaukee, WI 53201, USA.

*E-mail: lora80@list.ru

EFFICIENCY ANALYSIS OF IMPLEMENTATION THE COLD RECYCLING TECHNOLOGY USING THE MODIFIER «DORCEM DS-1»

Abstract. Currently, the technology of cold regeneration of the existing asphalt concrete pavement is used during the highways overhaul in most regions of Russia. The technology of cold regeneration includes grinding the material of asphalt concrete pavement with the capture of crushed stone layer of the base mainly by cold milling; preparing the mixture on the road or in special installations (with the addition of organic and inorganic binders, new skeletal material and other additives); the distribution of the mixture for the layer and its compaction. Mnixing is done by specialized machines. Typical selection with the addition of cement and bitumen emulsion is often used to perform cold regeneration. However, due to the increased price of materials, customers are looking for alternative ways to reduce the cost of construction, while maintaining the quality of performed work. The addition of cement and modifying additive “Dorcem DS-1” is one of such methods. Its expediency is discussed in the article.

Keywords: cold recycling, cold milling method, pavement base, modifying additives, road construction, modifier “Dorcem DS-1”, road pavement design.

REFERENCES

1. Esipova Yu.Yu., Sachkova A.V., Dukhovny G.S. Modern methods of asphalt concrete regeneration. Collection of articles of the international scientific-practical conference "Modern science: Theoretical and practical view" (April 15, 2016). Tyumen: a collection of articles of the International Scientific and Practical Conference: in 4 parts, 2016, pp. 33–37.

2. Lupanov A.P., Silkin V.V., Rudakova V.V., Gladyshev N.V., Silkin A.V. Recycling of asphalt

concrete. STT: Construction equipment and technology, 2016, no. 4 (120), pp. 76–79.

3. Sviridenko M.V., Fedorova V.S. Ways of pavement regeneration. Proceedings of the 57th student scientific and technical conference of the engineering and construction institute of PNU (April 17 - 27, 2017). Khabarovsk: Pacific State University, 2017, pp. 256–260.

4. 4. Manukovsky A.Yu., Kurdyukov R.P. Regeneration of asphalt concrete pavement. Actual directions of scientific research of the XXI century: Theory and practice, 2016, no. 5–2 (25-2), pp. 63–68.

5. Fursov S.G., Kondratyuk D.V., Fedorov P.L., Bubnov D.N. The effect of the modifier "DorTsem DS-1". Roads, 2012, no. 5, pp. 136–139.
6. Dmitrieva T.V., Kutsyna N.P., Kondrashov D.S., Bezrodnykh A.A. Some properties of soils with the modifier DorTsem. Resource-effective energy technologies in the regional building complex, 2018, no. 9, pp. 132–135.
7. Kuzhnikov A.M. Requirements for the soil of the roadbed and the underlying base. Roads, 2015, no. 5, pp. 82–83.
8. Bezrodnykh A.A., Dmitrieva T.V., Belyaev A.V., Strokova V.V. Experience in strengthening soil for road construction. Collection of scientific papers of the international scientific-practical conference "Modern problems of construction science" (November 8-10, 2017). Lipetsk State Technical University, 2017, pp. 210–215.
9. Kurdyukov R.P., Kurdyukov D.P., Manukovsky A.Yu. Regeneration of asphalt concrete pavement. Collection of scientific papers on the basis of the international scientific and technical Internet conference "Forests of Russia in the XXI century" (November 26, 2015). St. Petersburg, 2015, pp. 130–135.
10. Seliverstov N.D. Creating a technological complex for the construction, repair and restoration of road pavements (recycler). Repair. Recovery. Modernization, 2016, no. 2, pp. 42–47.
11. Asanov A.A., Alymkulov K.A. Modern technologies and sets of machines for pavement repair. Vestnik KSUTA, 2016, no. 1 (51), pp. 291–295.
12. Madanbekov N.Zh., Omurbek Uulu R., Murzakmatov DK, Turdubay Uulu S. Regeneration of pavements. Vestnik KGUSTA, 2015, no. 2, pp. 11–15.
13. Lyshtvan K.V., Tsupikova L.S. Asphalt concrete regeneration. Proceedings of the 57th Student Scientific and Technical Conference of the Engineering Building Institute of PNU (April 17 - 27, 2017). Khabarovsk: Pacific State University, 2017, pp. 179–182.
14. Podolsky V.I., Matvienko F.V., Strokin A.S., Borisov A.E. Study of the effect of the modifier "DorTsem DS-1" on the properties of cement and the physico-mechanical characteristics of the cement ground. Scientific Journal of Construction and Architecture, 2017, no. 1 (45), pp. 84–92.
15. Vostrikova G.Yu., Khorokhordin A.M., Vostrikov A.G., Timoshinov O.V., Galaktionov A.I. The effect of the modifier on the physico-mechanical properties of cement systems. Scientific Bulletin of the Voronezh State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Physical and chemical problems and high technologies of building materials science, 2016, no. 1 (12), pp. 30–33.

Information about the authors

Botsman, Larisa N. PhD, Assistant professor. E-mail: lora80@list.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Sobolev, Konstantin G. PhD, Professor. E-mail: k.sobolev@gmail.com. University of Wisconsin-Milwaukee. P.O. Box 413, Milwaukee, WI 53201, USA.

Polyakova, Rufina O. Master student. E-mail: rufinaantonova@mail.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Markov, Andrei U. Postgraduate student. E-mail: irishka-31.90@mail.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Received in November 2018

Для цитирования:

Боцман Л.Н., Соболев К.Г., Полякова Р.О., Марков А.Ю. Анализ эффективности внедрения технологии холодного ресайклинга с применением модификатора «ДорЦем ДС-1» // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2019. №1. С. 39–44. DOI: 10.12737/article_5c506204cd5049.44944476

For citation:

Botsman L.N., Sobolev K.G., Polyakova R.O., Markov A.U. Efficiency analysis of implementation the cold recycling technology using the modifier «DorCem DS-1». Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov, 2019, no. 1, pp. 39–44. DOI: 10.12737/article_5c506204cd5049.44944476

DOI: 10.12737/article_5c5062075caa04.28334912

^{1,*}Бобылева Т.Н.¹Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет
Россия, 129337, Москва, Ярославское шоссе, д. 26.

*E-mail: tatyana2211@outlook.com

УСРЕДНЕННАЯ МОДЕЛЬ СЛОИСТЫХ УПРУГО-ПОЛЗУЧИХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Аннотация. Композиционные материалы, состоящие из нескольких фаз, широко используются в современном строительстве. В статье рассмотрены механические характеристики упруго-ползучих слоистых композиционных материалов. Каждая из составляющих фаз обладает свойствами упругости, вязкости или ползучести. Многочисленные эксперименты показали, что свойства структурно неоднородных материалов могут значительно отличаться от свойств отдельных компонент, входящих в их состав. Кроме того, быстро осциллирующие коэффициенты дифференциальных уравнений, описывающих такие композиционные материалы, значительно усложняют решение краевых задач даже с помощью современных компьютерных методов. Поэтому для решения таких задач используется метод усреднения, после применения которого исходный неоднородный материал, содержащий изотропные слои, превращается в однородную трансверсально-изотропную среду. Ядра ползучести слоев задаются суммой конечного числа убывающих экспоненциальных функций с коэффициентами одного знака. В этом случае для иллюстрации можно использовать последовательное и параллельное соединения простейших, “наивных” механических моделей вязкоупругого поведения Максвелла и Фойхта. Экспериментально обосновано использование ядер ползучести этого типа. В данной работе показано, что эффективная (усредненная) модель для композиционного материала с указанными свойствами представляет однородную (гомогенизированную) среду, которая описывается ядром ползучести, также представленным конечной суммой экспоненциальных функций. Для слоистого композита, состоящего из слоев двух изотропных упруго-ползучих материалов с ядрами ползучести, соответствующих “наивной” вязкоупругости, усредненный (эффективный) модуль растяжения или сжатия в направлении, перпендикулярном слоям, также будет соответствовать “наивной” вязкоупругости. Предложен алгоритм быстрого и точного расчета усредненных ядер ползучести гомогенизированного материала.

Ключевые слова: композиционный материал, усреднение, гомогенизация, слоистый упруго-ползучий материал, спектральное ядро ползучести.

Введение. Задачи для неоднородных (гетерогенных) материалов возникают во многих областях строительства. Многие строительные материалы являются слоистыми, что является причиной их специфического поведения при деформировании. С помощью метода асимптотического усреднения такой материал преобразуется в однородный, который подчиняется усредненным уравнениям. Этот метод усреднения был разработан в [1, 2], одним из первых его применений были задачи теории упругости [3, 4]. В качестве примера, задача усреднения неоднородной упругой среды с использованием теоретических результатов была решена в [5]. Кроме того, напряженно-деформированное состояние композиционных материалов изменяется в течение длительных интервалов времени. Это следует учитывать при исследовании прочности таких материалов. Проблема изучения реологических свойств актуальна для строительной практики, поскольку ползучесть действует на перераспределение напряжений и в некоторых случаях может привести к недопустимому увеличению деформации. В [6–9] изложены основы теории

наследственной механики Больцмана-Вольтерра. Эта теория описывает процессы, в которых состояние механической системы зависит от всего периода совершаемых над ней действий. Приведены примеры решения задач линейной наследственной теории упругости и нелинейной теории ползучести. В работе [10] построена усредненная модель, описывающая совместное движение слоев, составленных из упругого и вязкоупругого материалов. Получены усредненные уравнения состояния слоистого композита, состоящего из слоев попарно чередующихся ползучих материалов [11]. В работе [12] даны эффективные упругие модули слоистой упруго-ползучей среды.

В статье предлагается метод моделирования напряженно-деформированного состояния слоистых материалов на основе сочетания методов теории усреднения и теории ползучести. В качестве основных реологических соотношений приняты соотношения теории линейной наследственности Больцмана-Вольтерра, согласно которой деформация в момент времени t имеет вид:

$$\varepsilon(t) = \frac{1}{E} \left[\sigma(t) + \int_0^t K(t-\tau) \sigma(\tau) d\tau \right], \quad (1)$$

где E – модуль Юнга, σ – напряжение, $K(t-\tau)$ – ядро ползучести, являющееся убывающей функцией [8].

Параметры реологической модели определяются на основе лабораторных испытаний. Ядра ползучести для каждого слоя являются конечными суммами экспоненциальных функций времени. Эксперименты доказывают, что эти функции хорошо описывают ползучесть материалов в течение длительного периода времени. Такие ядра называются спектральными. Кроме того, в ряде работ используются и другие типы ядер, например, ядра Абеля.

Очевидно, что модели могут быть различными для различных материалов, используемых в инженерной практике, таких, как металлы и сплавы, полимеры, волокнистые композиты (с полимерной или металлической матрицей), бетон и дерево. Тем не менее можно использовать те же

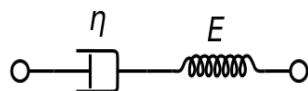


Рис. 1. Модель Максвелла

Модель Максвелла представляет собой вязкоупругую жидкость, модель Фойгта представляет вязкоупругое твердое вещество. Таким образом, модели Фойгта и Максвелла являются простейшими вязкоупругими телами. Модель Максвелла представляет экспоненциальную релаксацию напряжений и линейную ползучесть деформации; ее также называют релаксационным элементом.

Модель Фойгта демонстрирует экспоненциальную ползучесть деформации. Модель применяется при моделировании ползучести в материалах. Чтобы описать реологическое поведение сложного материала, можно комбинировать разными способами модели этих простейших идеальных тел. Существуют также обобщения механических моделей, позволяющих описать физическую нелинейность. В работе [14] модель Максвелла, состоящая из нелинейной пружины, соединенной последовательно с нелинейным демпфером, подчиняющимся степенному закону с постоянными параметрами материала, предложена для представления зависящих от времени свойств различных вязкоупругих материалов. В работе [15] описано численное моделирование напряженно-деформированного состояния в

самые принципы для установления уравнений состояния для этих материалов.

Модели вязкоупругих материалов могут быть построены путем объединения упругих и вязких элементов. Каждый упругий элемент может быть представлен пружинкой с параметром E , который является его модулем Юнга. Каждый вязкий элемент может быть представлен демпфером с параметром η , который представляет собой вязкость материала. Можно построить модель линейной вязкоупругости, рассматривая комбинации упругой пружины и демпфера. Такая модель вязкоупругого тела называется “наивной” [6].

Например, модель Максвелла может быть представлена чисто вязким демпфером и чисто упругой пружинкой, соединенных последовательно, как показано на рисунке 1. Другая двух-элементная модель, модель Фойгта, состоит из пружинки и демпфера, соединенных параллельно, как показано на рисунке 2.

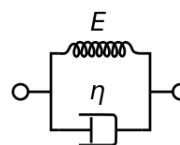


Рис. 2. Модель Фойгта

грунте, подвергнутом волновым процессам. Модели Фойгта и Максвелла используются для описания деформаций грунтового основания и контактирующей с ним бетонной конструкции. Авторы создали свой собственный компьютерный код на основе метода конечных элементов (FEM).

Хорошо известно, что при моделировании упруго-ползучих или вязкоупругих материалов с помощью комбинаций пружин и демпферов передаточная функция (множитель, связывающий преобразования Лапласа напряжений и деформаций) представляет собой сумму простейших дробей с коэффициентами одного знака [6]. Целью настоящей статьи является исследование проблемы сохранения свойства передаточной функции для усредненной модели слоистого композита. Это исследование ответит на следующий вопрос: для каких деформаций слоистого композита мы можем использовать аппроксимирующую модель, состоящую из пружин и демпферов, упомянутых выше.

Постановка задачи и решение. Рассмотрим область Ω , состоящую из попарно чередующихся слоев упруго-ползучих изотропных материалов. Пусть ε – это отношение длины двух соседних слоев к характерному размеру образца, а

толщины каждого отдельного слоя соответственно равны: $\varepsilon_1 = \varepsilon h$ и $\varepsilon_2 = \varepsilon(1-h)$, $0 \leq h \leq 1$. Выберем декартову систему координат $Ox_1x_2x_3$. Все слои рассматриваемой области Ω параллельны координатной плоскости Ox_1x_2 . Компоненты тензора напряжений σ_{ij} ($i, j = 1 \div 3$) определяются не только деформацией в данный момент, но и всей предшествующей историей деформации тела. Поэтому уравнения состояния, связывающие компоненты тензоров деформации и напряжений для каждого слоя, следующие [6, 7]:

$$\sigma_{ij}^{(s)} = b_{ijkh}^{(s)} * e_{kh}^{(s)}, \quad (2)$$

где $b_{ijkh} = c_{ijkh} \delta(t) + d_{ijkh}$, $e_{kh}^{(s)} = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial u_k^{(s)}}{\partial x_h} + \frac{\partial u_h^{(s)}}{\partial x_k} \right)$, ($k, h = 1 \div 3$), ($s = 1, 2$ - номер слоя), u_k - компоненты вектора перемещений, $c_{ijkh}^{(s)}$ - компоненты тензора напряжений, $\delta(t)$ - дельта-функция Дирака, $d_{ijkh}^{(s)}(t, \tau)$ - интегральные операторы Вольтерра, то есть

$$d_{ijkh}^{(s)} * e_{kh} = \int_0^t d_{ijkh}^{(s)}(t-\tau) e_{kh}(\tau) d\tau, \quad (3)$$

и переменная t обозначает время. (Используется соглашение Эйнштейна для повторяющихся индексов.)

Ядра релаксации $d_{ijkh}(t-\tau)$ зависят от разности $t-\tau$. Это следует из условия инвариантности величины σ_{ij} по отношению к началу отсчета времени t . В данной статье ядра релаксации представлены в виде сумм экспоненциальных функ-

$$\lambda(\xi) = \begin{cases} \lambda_1, \xi \in [0; h] \\ \lambda_2, \xi \in [1-h; 1] \end{cases} \quad \mu(\xi) = \begin{cases} \mu_1, \xi \in [0; h] \\ \mu_2, \xi \in [1-h; 1] \end{cases} \quad D(\xi, t) = \begin{cases} D_1(t), \xi \in [0; h] \\ D_2(t), \xi \in [1-h; 1] \end{cases}.$$

Выберем ядро ползучести экспоненциального типа для каждого слоя (s - номер слоя, $s = 1, 2$): $D_s(t) = \sum_{j=1}^N d_{js} \exp(-\alpha_{js} t)$, d_{js}, α_{js} - постоянные, $d_{js} < 0$, $\alpha_{js} > 0$ [6].

Применим к уравнениям (4) с учетом (2) преобразование Лапласа во временной области

$$\tilde{f}(p) = \int_0^\infty f(t) e^{-pt} dt, \quad (5)$$

В результате получим систему уравнений теории упругости с комплексным параметром p ,

ций, так как такие ядра, как показывают эксперименты, хорошо описывают длительные деформационные процессы.

На горизонтальных поверхностях слоев принимаются условия идеального контакта: компоненты перемещений и компоненты напряжений, параллельные оси x_3 , непрерывны, т.е. $[u_i] = 0, [\sigma_{i3}] = 0, (i = 1 \div 3)$.

Уравнения равновесия элемента сплошной среды имеют вид [9]:

$$\frac{\partial \sigma_{ij}}{\partial x_j} = f_i(x, t), \quad (4)$$

где $x = (x_1, x_2, x_3)$, и $f_i(x, t)$ - компоненты вектора внешних сил.

Для изотропных материалов компоненты тензора упругости и ядер релаксации в (2) имеют следующий вид [6]:

$$c_{ijkh} = \lambda \delta_{ij} \delta_{kh} + \mu (\delta_{ik} \delta_{jh} + \delta_{ih} \delta_{jk}),$$

$$d_{ijkh} = -(D_v(t) - \frac{1}{3} D_{sh}(t)) \delta_{ij} \delta_{kh} - \frac{1}{2} D_{sh}(t) (\delta_{ik} \delta_{jh} + \delta_{ih} \delta_{jk})$$

λ, μ - постоянные Ламе, D_{sh} и D_v - регулярные части сдвиговой и объемной релаксации соответственно, δ_{ij} - символ Кронекера. Предположим, что для каждого слоя амплитуда тензора объемной релаксации пропорциональна амплитуде сдвиговой с коэффициентом пропорциональности k_s , то есть: $(D_v)_s = k_s (D_{sh})_s, k_s = \text{const}, k_s > 0$ ($s = 1, 2$). Далее D_{sh} обозначим D .

В задаче все модули упругости и коэффициенты ядер релаксации являются периодическими функциями координаты $\xi = \frac{x_3}{\varepsilon}$ (ε - относительный период ячейки) и являются кусочно-постоянными функциями этой переменной, т.е. имеют следующий вид [12]:

к которой применяем метод усреднения, описанный в [1, 2]. После этого имеем однородную анизотропную среду с усредненными (эффективными) модулями [12]. Изучим некоторые качественные свойства полученных эффективных модулей. Для этого необходимы следующие два утверждения.

Утверждение 1. Пусть

$$f(z) = a_0 + \frac{a_1}{z + z_1} + \dots + \frac{a_N}{z + z_N}, \quad (6)$$

где, как известно из теории вязкоупругости [3], $a_0 > 0, a_i < 0, z_i < 0 (i = 1, \dots, N)$.

Нули y_i и полюса z_i функции $f(z)$ изображены на Рис.3. Тогда обратная функция имеет подобный вид $f^{-1}(z) = a^{-1}_0 + \frac{b_1}{z + y_1} + \dots + \frac{b_N}{z + y_N}$, где y_i

простые нули функции $f(z)$ на отрезке $[z_i, z_{i-1}]$ ($i = 2, \dots, N$), y_1 – простой нуль на отрезке $[z_1, z_0]$, как изображено на рис.4, и b_i ($i = 1, \dots, N$) – положительные постоянные.

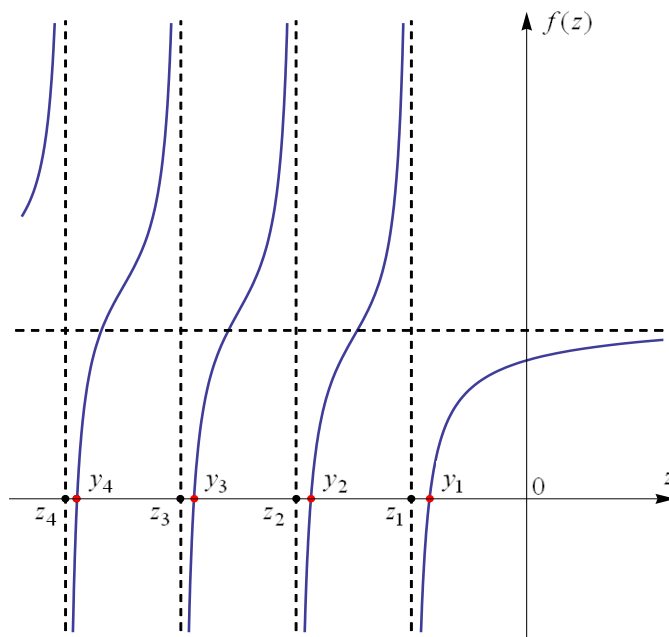


Рис. 3. Нули y_i и полюса z_i ($i = 1 \div 4$) функции $f(z)$

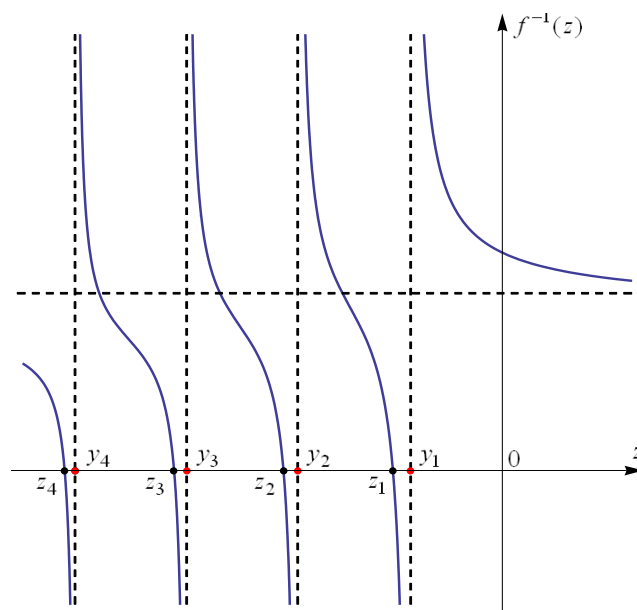


Рис. 4. Нули z_i и полюса y_i ($i = 1 \div 4$) функции $f^{-1}(z)$

Утверждение 2. Пусть $f(z), g(z)$ две функции вида (6). Рассмотрим функцию $q(z) = [hf^{-1}(z) + (1-h)g^{-1}(z)]^{-1}$, где h постоянная, $h \in (0,1)$. Эту функцию можно представить в следующем виде: $q(z) = \hat{a}_0 + \frac{c_1}{z + y_1^*} + \dots + \frac{c_{N+M}}{z + y_{N+M}^*}$,

где $c_i < 0$ ($i = 1, \dots, N+M$). y_i^* – нули функции $r(z) = hf^{-1}(z) + (1-h)g^{-1}(z)$ на отрезках, у которых концы – это точки множеств $\{y_i\}, \{v_j\}$, v_j – нули функции $g(z)$ между ее полюсами, и один из нулей находится между полюсом, ближайшем к началу координат и началом координат

($i=1, \dots, N, j=1, \dots, M$). То есть мы берем отрезки, у которых нет внутренних точек из набора $\{y_i\}, \{v_j\}$. Внутри каждого из этих отрезков имеется один корень функции

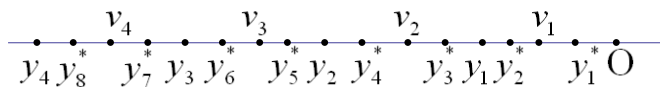


Рис. 5. Нули функций $f(z), g(z), r(z)$

Кроме того, $\hat{a}_0 = [ha_0^{-1} + (1-h)a_1^{-1}]^{-1}$, где a_1 - такая же постоянная для функции $g(z)$, как a_0 для $f(z)$.

Теперь мы используем приведенные выше утверждения для анализа качественных свойств усредненного тензора упруго-ползучей среды. После применения преобразования Лапласа система уравнений равновесия для усредненной среды принимает вид

$$\frac{\partial}{\partial x_j} (\tilde{b}_{ijkh}^{\text{hom}}(p) \cdot \tilde{e}_{ih}(p)) = \tilde{f}_i(x, p),$$

где усредненные модули $\tilde{b}_{ijkh}^{\text{hom}}(p)$ определены в [2]. В частности, если материалы двух упруго-ползучих слоев изотропны, то модуль, определяющий эффективные упруго-ползучие свойства композиционного материала для перемещений, перпендикулярных плоскости слоев, имеет вид [13]:

$$\tilde{b}_{3333}^{\text{hom}}(p) = \left\langle \frac{1}{L(p) + 2G(p)} \right\rangle^{-1},$$

где $L(p), G(p)$ – функции вида (6), принимающие постоянные значения в каждом слое, переменная z заменяется на p , $\langle f \rangle = hf_1 + (1-h)f_2$ - среднее значение функции f , которая принимает постоянные значения f_1 и f_2 на соседних слоях соответственно.

Для сравнения один из модулей сдвига имеет вид [13]:

$$\tilde{b}_{2323}^{\text{hom}}(p) = \left\langle \frac{L(p)}{L(p) + 2G(p)} \right\rangle \left\langle \frac{L(p)}{L(p) + 2G(p)} \right\rangle^{-1}, \text{ но}$$

если перемножить две функции вида (6) и разложить результат на простые дроби, то коэффициенты этих дробей могут иметь разные знаки. Это противоречит “наивной” теории вязкоупругости.

Прямое использование утверждений 1 и 2 приводит к следующим выводам.

Выводы. Для слоистого композита, состоящего из слоев двух изотропных упруго-ползучих материалов с ядрами ползучести, соответствующих “наивной” вязкоупругости, усредненный (эффективный) модуль растяжения или сжатия в направлении, перпендикулярном слоям, также будет соответствовать “наивной” вязкоупруго-

$r(z) = hf^{-1}(z) + (1-h)g^{-1}(z)$, как показано на рис. 5.

сти. Для таких эффективных модулей новые показатели экспонент можно легко найти, например, методом половинного деления, а коэффициенты экспоненциальных функций из решения систем линейных уравнений. Следует отметить, что для других усредненных модулей утверждение о неизменяемости свойства “наивности” неверно. Предлагаемый метод допускает любые напряжения внутри композитного материала. Слоистая структура с параллельными слоями используется только при построении усредненной (эффективной) модели. После того, как коэффициенты уже найдены в явном аналитическом виде, напряжения внутри рассматриваемого композита не обязаны удовлетворять никаким дополнительным требованиям, в частности перпендикулярности слоям рассматриваемого материала. Предложенная модель может быть использована в любых условиях многоосного напряженно-деформированного состояния.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Олейник О.А., Иосифьян Г.А., Шамаев А.С. Математические задачи теории сильно неоднородных сред. М. Изд-во МГУ, 1990. 311 с.
2. Бардзокас Д.И., Зобнин А.И. Математическое моделирование физических процессов в композиционных материалах периодической структуры. М. Едиторал УРСС, 2003. 376 с.
3. Победря Б.Е. Механика композиционных материалов. М. Изд-во МГУ, 1984. 336 с.
4. Christensen R.M. Mechanics of Composite Materials. New York. J. Wiley-Int.-science, 1979. 348 p.
5. Bobyleva T.N. Approximate Method of Calculating Stresses in Layered Array // Procedia Engineering. 2016. V. 153. P. 103-106. DOI: 10.1016/j.proeng.2016.08.087
6. Ильюшин А.А., Победря Б.Е. Основы математической теории термовязкоупругости. М. Наука, 1970. 281 с.
7. Christensen R.M. Theory of viscoelasticity. New York. Dover Publ, 2010. 384 p.
8. Работнов Ю.Н. Элементы наследственной механики твердых тел. М. Наука, 1977. 384 с.

9. Работнов Ю.Н. Механика деформируемого твердого тела. М. Наука, 1988. 712 с.

10. Шамаев А.С., Шумилова В.В. Асимптотическое поведение спектра одномерных колебаний в среде из слоев упругого материала и вязкоупругого материала Кельвина–Фойгта // Современные проблемы механики. Сборник статей. Тр. МИАН. М. МАИК Наука / Интерпериодика. 2016. Т. 295. С. 218–228. DOI: <https://doi.org/10.1134/S0371968516040130>

11. Шамаев А.С., Шумилова В.В. Усреднение уравнений состояния для гетерогенной среды, состоящей из слоев двух ползучих материалов // Современные проблемы механики. Сборник статей. Тр. МИАН. М. МАИК Наука/Интерпериодика. 2016. Т. 295. 229–240. DOI: <https://doi.org/10.1134/S0371968516040142>

12. Бобылева Т.Н., Шамаев А.С. Эффективный алгоритм расчета усредненных

характеристик слоистых грунтов, состоящих из упруго-ползучих материалов // Основания, фундаменты и механика грунтов. 2017. № 4. С. 7–12.

13. Bobyleva T.N. Method of Calculation of Stresses in the Layered Elastic-Creeping Arrays. MATEC Web of Conf. 2016. V. 86. P. 01024. DOI: <https://doi.org/10.1051/mateconf/20168601024>

14. Monsia M.D. A Simplified Nonlinear Generalized Maxwell Model for Predicting the Time Dependent Behavior of Viscoelastic Materials // World Journal of Mechanics. 2011. № 1. P. 158-167. DOI: 10.4236/wjm.2011.13021

15. Шешенин С.В., Закалюкина И.М., Коваль С.В. Численная реализация моделей Фойгта и Максвелла для моделирования волн в грунте // Вестник МГСУ. 2014. № 11. С. 82–89. DOI: 10.22227/1997-0935.2014.11.82-89.

Информация об авторах

Бобылева Татьяна Николаевна, кандидат физико-математических наук, доцент кафедры прикладной математики. E-mail: tatyana2211@outlook.com. Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, Россия, 129337, Москва, Ярославское шоссе, д. 26.

Поступила в июне 2018 г.

© Бобылева Т.Н., 2019

^{1,*}**Bobyleva T.N.**

¹National Research Moscow University of Civil Engineering
Russia, 129337, Moscow, Yaroslavl'skoe shosse, 26

*E-mail: tatyana2211@outlook.com

AVERAGED MODEL OF LAYERED ELASTIC-CREEPING COMPOSITE MATERIALS

Abstract. Composite materials consisting of several phases are widely used in modern construction. The mechanical characteristics of elastic-creeping layered composite materials are considered in the article. Each of the constituent phases has the properties of elasticity, viscosity or creep. Numerous experiments have shown that the properties of structurally heterogeneous materials can differ significantly from those of the individual components making up the composition. In addition, rapidly changing coefficients of differential equations describing such composite materials greatly complicate the solution of boundary value problems even with the help of computer calculation methods. Therefore, the homogenization method is used to solve such problems, after which the initial inhomogeneous material containing isotropic layers is transformed into a homogeneous transversely isotropic medium. Creep kernels are given by the sum of a finite number of decreasing exponential functions. In this case, for illustration, one can use the series and parallel connections of the simplest mechanical models of the viscoelastic behavior, such as Maxwell and Voigt models. The use of creep kernels of this type is experimentally justified. In this paper, it is shown that an effective (averaged) model for a composite material with the indicated properties is a homogenized medium that is described by a creep kernel, also represented by a sum of exponential functions. For the layered composite of two isotropic elastic-creeping materials with creep kernels corresponding to the simplest viscoelasticity, the averaged (effective) module of expansion or compression in the direction perpendicular to the layers will also correspond to the simplest viscoelasticity. An algorithm for the rapid and accurate calculation of averaged creep kernels of a homogenized material is proposed.

Keywords: composite material, averaging, homogenization, layered elastic-creeping material, spectral creep kernel.

REFERENCES

1. Oleynik O.A., Iosif'yan G.A., Shamaev A.S. Mathematical problems in elasticity and homogenization. North-Holland. Elsevier, 1992, 397 p.
2. Bardzokas D.I. Zobnin A.I. Mathematical modeling of physical processes in composite materials of periodic structure. Moscow. URSS. 2005, 376 p.
3. Pobedrya B.E. Mechanics of composite materials. Moscow. MSU. 1984, 336 p.
4. Christensen R.M. Mechanics of Composite Materials. N.Y. J. Wiley-Int.-science. 1979, 348 p.
5. Bobyleva T.N. Approximate Method of Calculating Stresses in Layered Array. Procedia Engineering, 2016, vol. 153, pp. 103–106. DOI: 10.1016/j.proeng.2016.08.087
6. Ilyushin A.A., Pobedrya B.E. Foundations of the mathematical theory of thermovisco-elasticity. Moscow. Nauka. 1970, 281 p.
7. Christensen R.M. Theory of viscoelasticity. New York. Dover Publ. 2010, 384 p.
8. Rabotnov Y.N. Elements of hereditary solid mechanics. Moscow. Nauka. 1977, 384 p.
9. Rabotnov Y.N. Mechanics of Deformable Solids. Moscow. Nauka. 1991, 712 p.
10. Shamaev A.S., Shumilova V.V. Asymptotic behavior of spectrum of one-dimensional fluctuations in the environment of the layers of elastic material and a viscoelastic material of Kelvin-Voigt, Proceedings of MIAS, 2016, vol. 295 (1), pp. 202–212. DOI: <https://doi.org/10.1134/S0371968516040130>
11. Shamaev A.S., Shumilova V.V. Averaging of the state equations for a heterogeneous medium consisting of two layers of creeping materials. Proceedings of MIAS, 2018, vol. 295 (1), pp. 213–224. DOI: <https://doi.org/10.1134/S0371968516040142>
12. Bobyleva T.N., Shamaev A.S. An Efficient Algorithm for Calculating Rheological Parameters of Layered Soil Media Composed from Elastic-Creeping Materials. Soil Mechanics and Foundation Engineering, 2017, vol. 54 (4), pp. 224–230. DOI: 10.1007/s11204-017-9462-4
13. Bobyleva T.N. Method of Calculation of Stresses in the Layered Elastic-Creeping Arrays. MATEC Web of Conf, 2016, vol. 86, pp. 01024. DOI: <https://doi.org/10.1051/mateconf/20168601024>
14. Monsia M.D. A Simplified Nonlinear Generalized Maxwell Model for Predicting the Time Dependent Behavior of Viscoelastic Materials. World Journal of Mechanics, 2011, no.1, pp. 158–167. DOI: 10.4236/wjm.2011.13021
15. Sheshenin S.V., Zakalyukina I.M., Koval' S.V. 2014 Numerical Implementation of Voigt and Maxwell Models for Simulation of Waves in the Ground. Proc. Moscow State Univ. of Civil Eng, 2014, vol. 11, pp. 82–89. DOI: 10.22227/1997-0935.2014.11.82-89.

Information about the authors

Bobyleva, Tatiana N. PhD, Assistant professor. E-mail: bobyleva-tn@yandex.ru. National Research Moscow University of Civil Engineering (NRU MGSU). Russia, 129337, Moscow, Yaroslavskoe shosse, 26.

Received in June 2018

Для цитирования:

Бобылева Т.Н. Усредненная модель слоистых упруго-ползучих композиционных материалов // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2019. №1. С. 45–51. DOI: 10.12737/article_5c5062075caa04.28334912

For citation:

Bobyleva T.N. Averaged model of layered elastic-creeping composite materials. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov, 2019, no. 1, pp. 45–51. DOI: 10.12737/article_5c5062075caa04.28334912

DOI: 10.12737/article_5c506209065dd6.02007715

¹Смоляго Г.А., ¹*Фролов Н.В., ¹Дронов А.В.¹Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова
Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

*E-mail: frolov_pgs@mail.ru

АНАЛИЗ КОРРОЗИОННЫХ ПОВРЕЖДЕНИЙ ЭКСПЛУАТИРУЕМЫХ ИЗГИБАЕМЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

Аннотация. Проблема обеспечения долговечности железобетонных конструкций является одной из приоритетных в строительстве. Отмечается, что ресурс силового сопротивления несущих конструкций может снижаться на всех этапах жизненного цикла до наступления отказа по предельным состояниям при эксплуатации. Распространенным видом повреждений изгибаемых железобетонных конструкций при агрессивных средовых воздействиях являются коррозионные повреждения. Изучение коррозионных повреждений эксплуатируемых железобетонных конструкций, а также причин их появления позволит сделать конкретные выводы для проектирования и строительства. В статье выполнен анализ наиболее характерных коррозионных повреждений бетона и арматуры изгибаемых железобетонных конструкций. В основу анализа положены отчетные материалы по обследованию технического состояния такого вида конструкций. Установлено, что на практике у различных изгибаемых железобетонных конструкций чаще всего встречаются: коррозия стальной арматуры и возникающие при ее развитии трещины в бетоне, его отслоение; выщелачивание и выветривание бетона. При этом коррозионные повреждения бетона и арматуры практически всегда проявляются совместно. Не устраненные дефекты изготовления и монтажа железобетонных конструкций способствуют более интенсивному развитию коррозионных процессов. Отмечена необходимость разработки с последующим включением в нормы проектирования единых методик расчета железобетонных конструкций и определения остаточного ресурса при эксплуатации в агрессивных средах.

Ключевые слова: коррозионное повреждение, изгибаемая железобетонная конструкция, бетон, стальная арматура, агрессивная среда, дефект, эксплуатация.

Введение. В последнее время проблема снижения долговечности эксплуатируемых конструкций зданий и сооружений представляется одной из приоритетных в научных исследованиях и практике строительства. Большое количество строительных объектов остро нуждается в незапланированном ремонте, а некоторые и вовсе выходят из строя, не отработав нормативного срока службы.

Срок службы зданий и сооружений определяется продолжительностью работоспособного состояния основных несущих конструкций, физическому износу которых способствует проявление отдельных факторов или их сочетаний: ошибки, допущенные при проектировании; применение низкокачественных конструкционных материалов; дефекты, полученные в ходе изготовления, транспортировки, складирования, монтажа, бытовой и технической эксплуатации; форс-мажорные обстоятельства; повреждения вследствие различных средовых воздействий. Снижение ресурса силового сопротивления несущих строительных конструкций может происходить на всех этапах жизненного цикла до наступления отказа по предельным состояниям при эксплуатации [1].

Распространенными видами повреждений изгибаемых железобетонных конструкций выступают коррозионные повреждения цементного

бетона и стальной арматуры в результате развития в них различных химических процессов деградации, вызванных длительным воздействием агрессивной окружающей среды [2–5]. Эти процессы могут протекать как совместно, так и независимо друг от друга.

Коррозия бетона зависит от его плотности, уровня и знака напряженного состояния, свойств цементного вяжущего и степени агрессивности среды [6]. Влияние агрессивной среды на бетон, рассматривается как фактор, изменяющий его деформативно-прочностные характеристики; количественной мерой коррозионного процесса является глубина нейтрализации композитного материала (глубинный показатель).

Коррозия арматуры вызывается недостаточным содержанием цемента или наличием в бетоне вредных примесей, чрезмерным раскрытием трещин, малой толщиной защитного слоя [7]. Обычно считается, что деформативно-прочностные характеристики ненапрягаемой стальной арматуры под влиянием агрессивной среды не изменяются, хотя такое возможно в связи с охрупчиванием и концентрацией напряжений в местах коррозионных каверн и межкристаллических трещин [8]. Количественной мерой коррозии стальной арматуры является потеря площади поперечного сечения продольных растянутых

стержней (определяется через глубину коррозионного поражения). Увеличение в объеме продуктов коррозии арматурной стали создает внутреннее давление в бетоне, что при критических значениях может привести к образованию коррозионных трещин и отслоению защитного слоя, снижению сцепления арматуры с бетоном.

В связи с вышесказанным, большое значение приобретают исследования реально имеющихся случаев повреждения и разрушения конструктивных материалов из-за коррозии. Изучение коррозионных повреждений эксплуатируемых железобетонных конструкций, а также причин их появления позволит сделать конкретные выводы для проектирования и строительства.

Основная цель данной статьи: на основании экспертных отчетов по обследованиям технического состояния изгибаемых железобетонных конструкций провести анализ наиболее характерных коррозионных повреждений бетона и арматуры данного вида конструкций.

Методика. При написании работы использовались общенаучные методы исследования, основными из которых являются анализ и обобщение результатов обследований изгибаемых железобетонных конструкций зданий и сооружений.

Основная часть. Согласно экспертным отчетам, обследования технического состояния несущих железобетонных конструкций проводились на территории Белгородской обл. в период с 1989 г. по 2014 г. под общим руководством проф. Смоляго Г.А. и доц. Дронова В.И. и затрагивали 78 строительных объектов, из которых 27 гражданских и 51 промышленных зданий и сооружений, имеющих фактический срок службы соответственно 3-107 лет и 7-66 лет. Установлено, что на практике у изгибаемых железобетонных конструкций больше всего распространены следующие коррозионные повреждения: коррозия стальной арматуры и возникающие при ее развитии трещины в бетоне, его отслоение; выщелачивание и выветривание бетона. Выявленные случаи повреждений сведены в табл. 1, где учтено, что в каждой конструкции из-за коррозии возможно проявление нескольких видов повреждений. Кроме того, в одном здании или сооружении могут встречаться несколько видов изгибаемых железобетонных конструкций.

Развитию коррозионных процессов способствует наличие у изгибаемых железобетонных конструкций дефектов, полученных в ходе изготовления и монтажа [9, 15].

Дефекты изготовления главным образом связаны с недостатками готового бетона. Применение некачественных составляющих бетона,

нарушение технологии приготовления бетонной смеси, ее укладки, нарушение технологии ухода за бетоном приводят к снижению заданной прочности и плотности композита. Также следует отметить, что при тепловых режимах пропарки в свежесформованном бетоне сборных железобетонных конструкций образуется множество сквозных капилляров. В результате всего этого бетон имеет повышенную проницаемость, что облегчает перенос агрессивных реагентов в структуру бетона, тем самым нейтрализуя его защитные свойства по отношению к стальной арматуре за более короткое время. В части технологии армирования значимым дефектом при изготовлении является нарушение проектного пространственного положения арматурных стержней, каркасов и сеток, приводящее к уменьшению величины защитного слоя бетона. Материалы обследований показывают, что на максимальную глубину арматурные стержни прокорродировали в местах конструкций, где защитный слой был меньше допускаемого строительными нормами. В таких случаях фиксаторы арматуры либо устанавливались в недостаточном количестве (арматура провисала между ними), либо вообще отсутствовали, арматурные стержни соприкасались с поверхностями опалубки.

Дефектами монтажа изгибаемых железобетонных конструкций являются различные сколы и разрушения бетона, трещины. Они появляются при нарушении технологии строительно-монтажных работ, при не бережном обращении с конструкциями. Материалы обследований показывают, что такие дефекты впоследствии практически не устраняются, арматура зачастую оголена и контактирует с агрессивной средой.

В плитах перекрытий и покрытий устройство технологических отверстий сопровождается появлением концентраторов напряжений и трещинообразованием в бетоне. В окрестностях отверстий стальная арматура подвержена коррозии более интенсивно.

В связи со сложившейся в последние годы экономической ситуацией наметилась тенденция приостановки строительства объектов из-за отсутствия у инвесторов возможности финансирования работ. Если длительное время внешний контур зданий и сооружений не закрыт, не выполнены работы по консервации объекта, то железобетонные конструкции, как правило, подвержены широкому спектру атмосферно-климатических воздействий (осадки, циклическое замораживание-оттаивание и др.), что, в свою очередь, приводит к коррозионным повреждениям бетона и арматуры.

Таблица 1

Коррозионные повреждения эксплуатируемых изгибаемых железобетонных конструкций зданий и сооружений

Вид изгибаемых железобетонных конструкций (срок эксплуатации на момент обследования)		Количество случаев					
		Всего с данным видом конструкций	В том числе с конструкциями, имеющими коррозионные повреждения				
			Коррозия рабочей и конструктивной арматуры (макс. глубина коррозии, мм)	Коррозионные трещины в бетоне (макс. ширина раскрытия, мм)	Отслоение защитного слоя бетона (мин. толщина, мм)	Следы выщелачивания бетона	Выветривание бетона
Сборные	Ребристые плиты перекрытия (3-41)	24	24 (0.2-3.0)	24 (1-5)	24 (0-25)	22	1
	Ребристые плиты покрытия (7-107)	20	18 (0.2-5.0)	18 (1-8)	18 (0-25)	18	1
	Многopустотные плиты перекрытия (17-107)	19	19 (0.1-1.5)	18 (2)	18 (0-20)	16	-
	Многopустотные плиты покрытия (16-26)	6	5 (0.1-1.0)	5	5 (0-15)	6	1
	Перекрытия (23-52)	9	9 (0.2-3.0)	9 (2)	8 (0-5)	6	1
	Балки покрытия (7-33)	5	5 (0.2-1.5)	5 (3-5)	5 (0-10)	4	1
	Ригели, прогоны (15-28)	5	5 (0.5-3.0)	5 (2-10)	5 (5)	5	1
	Карнизные плиты (27, 37)	2	2 (0.5)	2	2 (0-5)	2	1
	Стеновые панели (9, 21)	2	2 (0.1-0.2)	2	1	2	1
	Мелкогабаритные ребристые плиты перекрытия (49, 56)	2	2(0.3)	1	1	1	-
	Мелкогабаритные плиты покрытия (24)	1	1 (0.5)	1	1	1	1
	Балконные плиты (47)	1	1 (1.5)	1	1	1	1
	Безбалочные перекрытия (39)	1	1 (0.3)	1	1 (0-5)	1	-
	Фермы (21)	1	1 (2.0)	1 (1)	1 (0-5)	1	-
	Всего	98	95	93	91	86	10
Монолитные	Безбалочные перекрытия (22-96)	10	10 (0.2-3.0)	9 (3-5)	9 (0-15)	6	-
	Ребристые перекрытия (46-66)	4	3 (1.5-3.0)	2	2 (3-50)	2	-
	Балки перекрытия (45-70)	4	4 (0.1-3.0)	2 (3)	2 (5-10)	2	-
	Перекрытия по стальным балкам (50, 107)	2	2 (0.5-2.0)	2	2 (0-5)	2	-
	Безбалочные покрытия (27)	1	1 (3.0)	1	1 (2-10)	1	-
	Лестничные площадки (23)	1	1 (0.4)	1	1	1	-
	Балконные плиты (57)	1	1 (0.6)	1	1	1	-
	Всего	23	22	18	18	15	0
ИТОГО		121	117	111	109	101	10

Практически во всех случаях в местах обнаружения серьезных коррозионных повреждений стальной арматуры происходило длительное увлажнение железобетонных конструкций. Когда влага не подступала к поверхностям конструкций, даже при наличии дефектов бетона и малой толщины защитного слоя коррозия арматуры отсутствовала или была незначительной.

Выщелачивание является коррозией первого вида, возникающей в бетоне при действии жидких сред, способных растворять и выносить компоненты цементного камня из структуры бетона [10]. Особенно интенсивно эти процессы протекают при фильтрации мягкой воды через толщу бетона. В результате этого прочность бетона уменьшается, бетон становится более пористым, что способствует снижению сопротивления коррозии арматуры. Повреждения бетона при коррозии выщелачивании в рассматриваемых обследованиях устанавливались по наличию на поверхностях железобетонных конструкций разводов вынесенной из цементного камня извести.

Одним из основных факторов, негативно влияющих на исходные свойства бетона, является действие низких температур и особенно попеременное замораживание-оттаивание воды в капиллярах [11, 14]. Давление замерзшей воды передается на стенки пор, микротрещин, создавая в них высокие растягивающие напряжения. Под влиянием этих внутренних напряжений происходит постепенное разупрочнение бетона, превращение его в рыхлую массу и осыпание (выветривание бетона). Таким образом, создаются условия для коррозии арматуры.

Выводы. Характерными коррозионными повреждениями эксплуатируемых изгибаемых железобетонных конструкций являются: коррозия стальной арматуры и возникающие при ее развитии коррозионные трещины, разрушение и отслоение защитного слоя бетона; коррозия фильтрационного выщелачивания (коррозия первого вида) и выветривание бетона.

Коррозионные повреждения бетона и арматуры практически всегда проявляются совместно.

Определяющим факторами при развитии коррозионных процессов в конструкционных материалах являются степень агрессивности среды и длительность средового воздействия.

Не устраненные дефекты изгибаемых железобетонных конструкций способствуют развитию коррозионных процессов. Необходимо повышение контроля качества изготовления и операционного контроля качества монтажа конструкций.

Своевременная экспертная оценка технического состояния железобетонных конструкций

позволяет вовремя провести их ремонт и усиление и тем самым обеспечить долговечность при эксплуатации.

Учитывая все возрастающие случаи преждевременной потери несущей способности конструкций вследствие накопления коррозионных повреждений, назрела необходимость разработки с последующим включением в нормы проектирования единых методик расчета железобетонных конструкций и определения остаточного ресурса при эксплуатации в агрессивных средах [12, 13].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бондаренко В.М., Колчунов В.И. Концепция и направления развития теории конструктивной безопасности зданий и сооружений при силовых и средовых воздействиях // Промышленное и гражданское строительство. 2013. № 2. С. 28–31.
2. Доркин В.В., Ягупов Б.А. Некоторые вопросы комплексной оценки силового сопротивления железобетонных конструкций при интенсивных коррозионных воздействиях // Вестник Московского государственного открытого университета. Москва. Серия: Техника и технология. 2011. № 2. С. 36–40.
3. Меркулов С.И., Пахомова Е.Г., Гордеев А.В., Маяков А.С. Исследование работоспособности изгибаемых железобетонных конструкций с учетом коррозионных повреждений // Известия Курского государственного технического университета. 2009. № 4 (29). С. 74–78.
4. Алексеев С.Н., Иванов Ф.М., Модры Н., Шисль П.М. Долговечность железобетона в агрессивных средах. М.: Стройиздат, 1990. 320 с.
5. Селяев В.П. Расчет долговечности железобетонных конструкций // Вестник Мордовского университета. 2008. № 4. С. 140–149.
6. Ключева Н.В., Дорофеев А.А. К оценке предельной глубины повреждения нагруженного и корродирующего бетона // Строительство и реконструкция. 2011. № 2 (34). С. 25–29.
7. Берлинов М.В. Оценка напряженного состояния поврежденных коррозией железобетонных конструкций перед усилением // Научное обозрение. 2016. № 7. С. 11–14.
8. Смоляго Г.А., Дронов А.В. Исследование и анализ процессов коррозии стальной арматуры железобетонных конструкций под действием агрессивной среды // Бетон и железобетон - взгляд в будущее. Научные труды III Всероссийской (II Международной) конференции по бетону и железобетону: в 7 томах. 2014. С. 415–420.
9. Смоляго Г.А., Дронов В.И., Дронов А.В., Меркулов С.И. Изучение влияния дефектов же-

лезобетонных конструкций на развитие коррозионных процессов арматуры // Промышленное и гражданское строительство. 2014. № 12. С. 25–27.

10. Анваров Б.Р., Латыпова Т.В., Латыпов В.М., Крамар Л.Я. К вопросу о механизме повреждения железобетона при коррозии выщелачивания // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2015. № 2 (674). С. 12–26.

11. Овчинникова Т.С., Маринин А.Н., Овчинников И.Г. Коррозия и антикоррозионная защита железобетонных мостовых конструкций // Интернет-журнал Науковедение. 2014. № 5 (24). С. 11.

12. Карпенко Н.И., Карпенко С.Н., Ярмаковский В.Н., Ерофеев В.Т. О современных методах

обеспечения долговечности железобетонных конструкций // Academia. Архитектура и строительство. 2015. № 1. С. 93–102.

13. Пухонто Л.М. Долговечность железобетонных конструкций инженерных сооружений. Монография. М.: Изд-во АСВ, 2004. 424 с.

14. Folic R., Zenunovic D. Durability design of concrete structures - Part 2: modeling and structural assessment // Architecture and Civil Engineering. 2010. Vol. 8. No. 1. pp. 45–66.

15. Stewart M.G. Reliability Safety Assessment of Corroding Reinforced Concrete Structures Based on Visual Inspection Information // ACI Structural Journal. 2010. No. 107. Pp. 671–679.

Информация об авторах

Смоляго Геннадий Алексеевич, доктор технических наук, профессор кафедры строительства и городского хозяйства. E-mail: trk-psv@yandex.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Фролов Николай Викторович, аспирант кафедры строительства и городского хозяйства. E-mail: frolov_pgs@mail.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Дронов Андрей Васильевич, кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры теоретической механики и сопротивления материалов. E-mail: dronov.andrey.1989@gmail.com. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Поступила в декабре 2018 г.

© Смоляго Г.А., Фролов Н.В., Дронов А.В., 2019

¹Smolyago G.A., ^{1,*}Frolov N.V., ¹Dronov A.V.

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

*E-mail: frolov_pgs@mail.ru

ANALYSIS OF CORROSION DAMAGES OF REINFORCED CONCRETE STRUCTURES IN OPERATION

Abstract. The priority issue in construction is durability of reinforced concrete structures. Loadbearing capacity of structures can be decreased on each stage of their service life until ultimate limit state. Corrosion damages are widespread ones of bending reinforced concrete structures under aggressive environment. The study of the reasons of corrosion damages of reinforced concrete structures in operation allows to draw conclusion for the design and construction. The analysis of the most typical corrosion damages of concrete and steel is carried out in the article. It is based on the results of the technical condition assessments of such structures. It is found, that different bending reinforced concrete structures are suffered mostly from corrosion of steel reinforcement and following cracks in concrete, leaching and erosion of concrete. Corrosion damages of concrete and reinforcement always appear jointly. The defects of construction of the reinforced concrete structures accelerate corrosion processes. The necessity of methods for calculation such structures to determine remaining service life under aggressive environment is mentioned in the article.

Keywords: corrosion damage, bending reinforced concrete structure, concrete, steel reinforcement, aggressive environment, defect, exploitation.

REFERENCES

1. Bondarenko V.M., Kolchunov V.I. The Concept and Directions of Development of the Theory of Structural Safety of Buildings and Structures under

the Influence of Force and Environmental Factors. Industrial and Civil Engineering, 2013, no 2, pp. 28–31.

2. Dorkin V.V., Yagupov B.A. Some questions of a comprehensive assessment of the power of resistance of reinforced concrete structures under intense corrosive effects. *Bulletin of MGOU*, 2011, no. 2. pp. 36–40.
3. Merkulov S.I., Pahomova E.G., Gordeev A.V., Mayakov A.S. Research of working capacity of designs bent iron-concrete taking into account corrosion damages. *Bulletin of SWSU*, 2009, no 4 (29), pp. 74–78.
4. Alekseev S.N., Ivanov F.M., Modry N., SHissl' P.M. *Durability of Reinforced Concrete in aggressive environment*. M.: Strojizdat. 1990, 320 p.
5. Selyaev V.P. The Calculation of Durability of Reinforced Concrete Structures. *Bulletin of MRSU*, 2008, no 4, pp. 140–149.
6. Klyueva N.V., Dorofeev A.A. To the estimation of limiting damaging depth in loaded and corrosive concrete. *Building and Reconstruction*, 2011, no 2 (34), pp. 25–29.
7. Berlinov M.V. Evaluation of the stress state of corrosion-damaged reinforced concrete structures before strengthening. *Science Review*, 2016, no 7, pp. 11–14.
8. Smolyago G.A., Dronov A.V. Research and analysis of steel reinforcement corrosion processes in reinforced concrete structures in aggressive environment. *Concrete and Reinforced Concrete – Glance at Future*, Moscow State University of Civil Engineering (MGSU), 2014, pp. 415–420.
9. Smolyago G.A., Dronov V.I., Dronov A.V., Merkulov S.I. Investigation of influence of defects of reinforced concrete structures on corrosion processes of steel reinforcement. *Industrial and Civil Engineering*, 2014, no 12. pp. 25–27.
10. Anvarov B.R., Latypova T.V., Latypov V.M., Kramar L.Y. To the question about the mechanism of damage of reinforced concrete with corrosion of the first kind. *Bulletin of Universities. Construction*, 2015, no. 2 (674), pp. 12–26.
11. Ovchinnikova T.S., Marinin A.N., Ovchinnikov I.G. Corrosion and corrosion protection of reinforced concrete bridge structures. *Naukovedenie*, 2014, no 5 (24), p. 11.
12. Karpenko N.I., Karpenko S.N., Yarmakovskij V.N., Erofeev V.T. The Modern Methods for Ensuring of the Reinforced Concrete Structures Durability. *Academia. Architecture and Construction*. 2015, no. 1, pp. 93–102.
13. Puhonto L.M. *Durability of Reinforced Concrete Structures*. M.: ASV, 2004, 424 p.
14. Folic R., Zenunovic D. Durability design of concrete structures - Part 2: modeling and structural assessment. *Architecture and Civil Engineering*, 2010, vol. 8, no. 1, pp. 45–66.
15. Stewart M.G. Reliability Safety Assessment of Corroding Reinforced Concrete Structures Based on Visual Inspection Information. *ACI Structural Journal*, 2010, no. 107, pp. 671–679.

Information about the authors

Smolyago, Gennady A. DSc, Professor. E-mail: tpk-psv@yandex.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Frolov, Nikolay V. Postgraduate student. E-mail: frolov_pgs@mail.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Dronov, Andrey V. PhD, Senior lecturer. E-mail: dronov.andrey.1989@gmail.com. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Received in December 2018

Для цитирования:

Смоляго Г.А., Фролов Н.В., Дронов А.В. Анализ коррозионных повреждений эксплуатируемых изгибаемых железобетонных конструкций зданий и сооружений // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2019. №1. С. 52–57. DOI: [10.12737/article_5c506209065dd6.02007715](https://doi.org/10.12737/article_5c506209065dd6.02007715)

For citation:

Smolyago G.A., Frolov N.V., Dronov A.V. Analysis of corrosion damages of reinforced concrete structures in operation. *Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov*, 2019, no. 1, pp. 52–57. DOI: [10.12737/article_5c506209065dd6.02007715](https://doi.org/10.12737/article_5c506209065dd6.02007715)

DOI: 10.12737/article_5c5062099aebc6.33938587

¹Горбунов И.А., ^{1,2,*}Капустин Д.Е.¹Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет
Россия, 129337, Москва, Ярославское шоссе, д. 26.²АО «Институт «Оргэнергострой» (АО ОЭС)
Россия, 115114, Москва, Дербеневская набережная, д.7, стр.10

*E-mail: kde90@bk.ru

РАСЧЕТНОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ БЕТОНА И СТАЛЕФИБРОБЕТОНА В ВЕРОЯТНОСТНОЙ ТРАКТОВКЕ

Аннотация. В настоящее время вопросу актуализации нормативных документов уделено особое внимание. В статье представлены результаты анализа статистического обоснования принятых в нормативных документах коэффициентов надежности по прочности бетона. Выполнен анализ реализации вероятностной схемы определения расчетной прочности бетона в железобетонных конструкциях. Приведен пример использования предложенной схемы для определения несущей способности изгибаемого железобетонного элемента, работающего совместно с несъемной сталефибробетонной опалубкой. При этом расчетные значения сталефибробетона назначены с учетом статистических данных для конкретного состава и технологии его изготовления. В результате полученный коэффициент безопасности соответствует нормативным требованиям. Приведенная расчетная модель изгибаемого железобетонного элемента с несъемной сталефибробетонной опалубкой получена в результате численного моделирования и натурных испытаний. В процессе испытаний контролировали напряженно деформированное состояние с использованием тензорезисторов, а контроль целостности и однородности конструкции определяли с использованием ультразвукового контроля. Полученные данные положены в основу отраслевого нормативного документа по расчету железобетонных конструкций, возводимых в несъемной опалубке из сталефибробетона на высокопрочной мелкозернистой матрице с содержанием 3 % по объему стальных волокон.

Ключевые слова: расчетное сопротивление бетона, сталефибробетон, прочность на осевое растяжение, несъемная опалубка.

Введение. Современный уровень технологии производства бетонных конструкций, в том числе сборного и монолитного железобетона, позволяет качественно повысить уровень выпускаемой продукции. В тоже время применение новых видов бетонов (самоуплотняющиеся, высокопрочные, сталефибробетоны и т.п.) требует пересмотра и обновления существующих, разработанных в прошлом столетии, нормативных документов РФ.

Примером может послужить назначение расчетных параметров бетона при расчете железобетонных конструкций, где без учета однородности, типа и прочности бетона назначен единый коэффициент надежности. Более пятидесяти лет назад А.Р. Ржаницыным и другими советскими учеными [1, 2, 3] была разработана логически обоснованная методика определения резерва прочности в расчетах строительных конструкций. Предполагалось проектировать несущую конструкцию с учетом вероятности случайных отклонений всех факторов от средних значений, а вероятность безотказной работы конструкции рассматривать как вероятность положительного значения разности между случайными величинами прочности и нагрузки. Высокопрочные бетоны, а также сталефибробетоны при их применении отличаются повышенной стоимостью по

сравнению с обычными бетонами, поэтому перерасход материала может привести к заметному удорожанию конструкции. Следовательно, любые коэффициенты запаса рекомендовано назначать исходя из статистических данных конкретного используемого материала и технологии его производства.

В настоящее время, в ряде энергетических объектов, реализуют применение сборно-монолитной технологии строительства с использованием несъемной сталефибробетонной опалубки [4, 5, 6]. В результате получают традиционный железобетон с наружной поверхностью из высокопрочного композита, толщиной около 30 мм. Не смотря на то, что проектировщики учитывают несъемную опалубку только на восприятие давления свежесуспензированной бетонной смеси, при наборе прочности монолитного бетона образуется конструкция с комбинированным армированием в виде традиционных стальных стержней и слоя сталефибробетона, способного воспринимать сжимающие и растягивающие усилия [4]. Разработка нормативного документа, включающего методику расчета с учетом статистически обоснованного подхода к назначению расчетных параметров, является в настоящее время актуальной задачей. Данный нормативный документ должен включать не только опыт и рекомендации

российских ученых [7, 8, 9], но и зарубежных [8, 10].

Методология. Испытание строительных материалов и фрагментов конструкций производили в аккредитованных строительных лабораториях НИУ МГСУ и АО «Институт «Оргэнергострой» с использованием поверенных испытательных машин и средств измерения. Обработка результатов испытания осуществляли в соответствии с общеизвестными статистическими методиками.

Основная часть. В соответствии с нормативными документами, определение расчетного сопротивления бетона по двум предельным состояниям базируется на вводной характеристике – классе бетона. Решение задачи нахождения класса бетона по результатам испытания кубов имеет вероятностное обоснование, а также связано с наиболее простой методикой проведения испытаний. Но напряженное состояние при испытании стандартного кубика не реализуется в конструкции. То, что происходит с бетоном в сжатой зоне железобетонного элемента в предельном состоянии в большей или меньшей степени соответствует условиям разрушения призмы.

В отечественных нормативных документах переход от прочности куба к призмочной прочности осуществляется с использованием эмпирического коэффициента α , который может изменяться в широких пределах [11]. Однако считать, что призмочная прочность бетона (R_{bn}) соответствует обеспеченности 95% можно только при условии, что случайная величина – прочность призмы ($R_{п}$) и случайная величина – прочность куба ($R_{к}$) связаны зависимостью:

$$R_{п} = \alpha \cdot R_{к} \quad (1)$$

где α – постоянный коэффициент;

Если формула справедлива, то имеет место соотношение для средних значений призмочной и кубиковой прочности и среднеквадратичных отклонений ($S_{Rп}$ и $S_{Rк}$):

$$\bar{R}_{п} = \alpha \cdot \bar{R}_{к} \quad (2)$$

$$S_{Rп} = \alpha \cdot S_{Rк} \quad (3)$$

В этом случае получим:

$$R_{bn(0.95)} = \alpha \cdot B \quad (4)$$

где $R_{bn(0.95)}$ – призмочная прочность с обеспеченностью 95 %; B – класс бетона.

Отличаемые различия в коэффициентах вариации прочности кубов и призм свидетельствуют о неоднозначности определения призмочной прочности по результатам испытания стандартных кубов, с ребром 150 мм.

В соответствии с положениями СП 63.13330.2012 (далее СП), значение нормативного сопротивления (R_{bn}) является исходным для получения расчетного сопротивления бетона на сжатие (R_b) по предельному состоянию первой группы. Переход от нормативного сопротивления к расчетному осуществляется путем введения единого понижающего коэффициента γ_{bc} (для тяжелого бетона при сжатии $\gamma_{bc} = 1,3$). Назначение этого коэффициента – коэффициента надежности по бетону – требует вероятностного обоснования, которого не может быть, если этот коэффициент постоянная величина для бетонов всех классов, при любой неоднородности по прочности и различной технологии изготовления. Правильная формулировка – детерминированная составляющая коэффициента запаса – n , как произведение вероятностной и детерминированной составляющей, определяется для тяжелого бетона в соответствии с СП по формуле:

$$n = \frac{1}{1 - 1.645 \cdot \nu_R} \cdot 1.3 \quad (5)$$

Коэффициент запаса прочности бетона на сжатие n по первому предельному состоянию может быть полностью определен на вероятностной основе, например, используя правило «трех сигм», согласно которому вероятность того, что случайная величина прочности R окажется за границами ($\bar{R} \pm 3 \cdot S_R$) практически равна нулю:

$$n' = \frac{1}{1 - 3 \cdot \nu_{Rп}} \quad (6)$$

где 3 – значение аргумента нормальной функции распределения, соответствующее вероятности 0,9986 превышения прочности бетона в конструкции расчетного сопротивления бетона по первой группе предельных состояний; $\nu_{Rп}$ – коэффициент вариации прочности бетона по результатам испытания призм.

При этом коэффициент надежности по бетону при сжатии γ_{bc} из рассмотрения исключается. Представляет интерес анализ изменения переменного понижающего коэффициента γ'_{bc} перехода от нормативного сопротивления R_{bn} к расчетному R_b , соответствующего по смыслу:

$$\gamma'_{bc} = \frac{1 - 1.645 \cdot \nu_{Rп}}{1 - 3 \cdot \nu_{Rп}} \quad (7)$$

Значения n' и γ'_{bc} по формулам (6) и (7) при различных коэффициентах вариации приведены в таблице 1.

При коэффициенте вариации прочности бетона $\nu_R = 13\%$ значение переменной величины γ'_{bc} (табл. 1) практически совпадает с постоянным по СП коэффициентом надежности по материалу $\gamma_{bc} = 1,3$ для тяжелого бетона.

Таблица 1

Зависимость n' и γ'_{bc} от коэффициента вариации

ν_{Rn}	n'	γ'_{bc}	γ_{bc}
0,05	1,18	1,08	1,3
0,10	1,43	1,19	
0,13	1,64	1,29	
0,20	2,50	1,68	

В рамках существующих норм расчетное сопротивление бетона на сжатие по первому предельному состоянию с использованием вероятностного коэффициента запаса n' (6), определяется по формуле:

$$R_b = \frac{\bar{R}_k \cdot \alpha}{n'} \quad (8)$$

где $\bar{R}_k$ – прочность бетона по результатам испытания кубов.

Отдельного рассмотрения заслуживает случай оценки вероятностных параметров бетона с дисперсным армированием, в особенности, когда прочность на растяжение определяет несущую способность железобетонного элемента. Именно таким образом работает совместно с бетоном несъемная сталефибробетонная опалубка изгибаемого элемента.

В результате, при разработке методики расчета прочности железобетонных элементов с несъемной сталефибробетонной опалубкой предложен алгоритм, согласно которому расчетные значения прочностных характеристик материала определяют с учетом формулы (6). Его состоятельность рассмотрена на примере железобетонной балки с несъемной сталефибробетонной опалубкой, расположенной в растянутой зоне. При этом сталефибробетон воспринимает растягивающие усилия, заменяя стержневую арматуру. Аналогичные работы, в том числе с использованием программных комплексов, проведены за рубежом [12, 13].

Объектом испытания является железобетонная балка сечением 150×200(h) мм и рабочим пролетом 900 мм при величине зоны чистого изгиба 600 мм. Толщина сталефибробетонной опалубки 20 мм. В процессе испытания контролировали напряженно-деформированное состояние в

зоне действия чистого изгиба и поперечных сил с использованием тензорезисторов. Однородность зоны контакта сталефибробетона и монолитного бетона при испытании оценивали ультразвуковым, сквозным методом. Также в процессе испытания определяли величину прогиба в середине пролета. Всего было испытано три образца близнеца.

В качестве монолитного бетона приняли бетон со средней кубиковой прочностью 24,9 МПа при коэффициенте вариации 7,2 %. Прочность на растяжении при раскалывании равна 1,85 МПа, что соответствует 1,54 МПа прочности при осевом растяжении в соответствии с ГОСТ 10180, при этом коэффициент вариации 2,9 %.

Схема образца и общий вид в процессе испытания представлены на рисунке 1. Подробно результаты испытания представлены в [4].

Листы несъемной сталефибробетонной опалубки изготавливали с использованием стальной волнистой фибры диаметром 0,3 мм и длиной 15 мм с пределом прочности 2400 МПа, выбранной на основании результатов ранее проведенных исследований [4, 5, 6]. Объемное содержание фибры в цементно-песчаной матрице сталефибробетона было равно 3 %. Такой расход фибры позволяет получить однородную структуру сталефибробетона и обеспечить высокие показатели прочности.

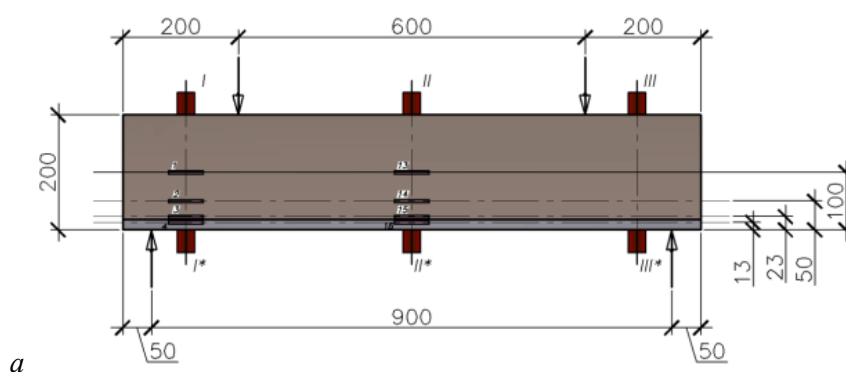
Для оценки вероятностных параметров прочности сталефибробетона были выбраны стандартные образцы – кубы 100×100 и призмы 40×40×160, а также нестандартные образцы – пластины 340×60×20 для испытания на изгиб и галтели 340×60×20 для испытания на осевое растяжение. Выбранный размер образцов был обусловлен толщиной несъемной опалубкой, находящейся в диапазоне 20–30 мм. При таких толщинах ориентация стальных волокон происходит параллельно слоям укладки. Подробная методика испытаний и результаты описаны в предыдущих публикациях [5, 6].

Основные результаты определения прочностных характеристик сталефибробетона с объемным содержанием фибры 3 % сведены в таблице 2.

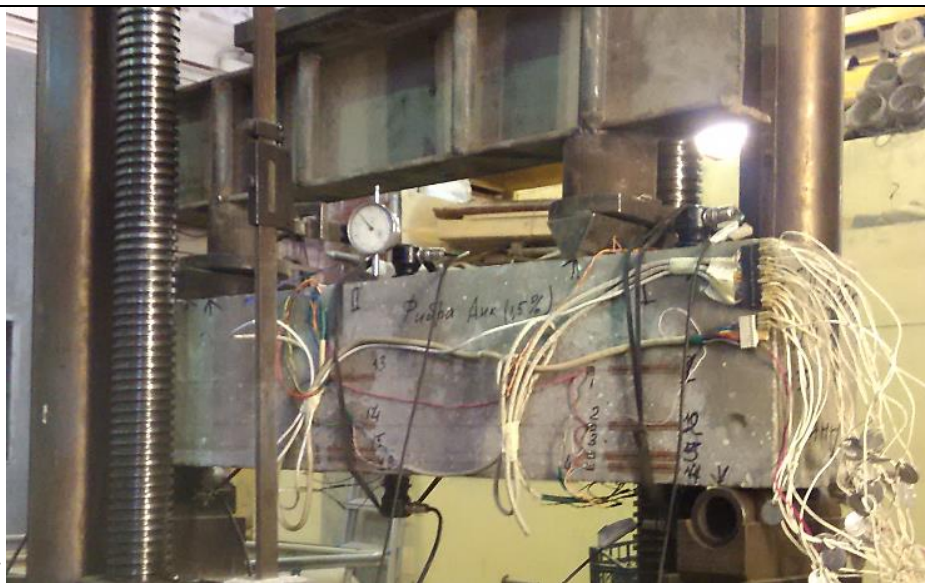
Таблица 2

Прочностные и статистические характеристики матрицы и сталефибробетона

Испытание кубов на сжатие		Испытание призм на сжатие		Испытание пластин на изгиб		Испытание пластин на осевое растяжение	
$\bar{R}_k$, МПа	ν_{Rk}	$\bar{R}_n$, МПа	ν_{Rn}	$\bar{R}_{tt}$, МПа	ν_{Rtt}	$\bar{R}_t$, МПа	ν_{Rt}
103,8	1,2	64,1	2,9	22,6	5,7	7,0	11,6



а



б

Рис. 1. Балка для проведения испытаний: а – схема испытания б – общий вид образца

Сравнительный анализ статистических характеристик призмной прочности и прочности на осевое растяжение сталефибробетона показывает, что определение расчетного сопротивления на осевое растяжение невозможно на базе данных результатов испытаний на сжатие.

По вероятностной схеме «трех сигм» расчетное сопротивление на растяжение сталефибробетонной несъемной опалубки определяют по результатам испытания на осевое растяжение образцов пластин толщиной практически равной

толщине листа опалубки. Опыт проведения испытаний показывает, что данные по 7 образцам можно считать представительной выборкой.

Предполагая подобие в схеме НДС в расчетном сечении можно определить вероятностный коэффициент запаса n' по несущей способности, коэффициенту вариации и обеспеченности 99,86 % по формуле (6). Значения коэффициентов запаса для различных НДС сведены в табл. 3.

Таблица 3

Значения коэффициентов запаса на основе проведенных испытаний

По кубиковой прочности	По призмной прочности	По прочности на растяжение при изгибе	По прочности на осевое растяжение	По кубиковой/осевой при растяжении прочности монолитного бетона
1,04	1,1	1,21	1,53	1,28/1,1

На основании значительного количества испытанных подобных конструкций, а также испытания сталефибробетона на осевое растяжение, установлено, что в монолитном бетоне на всем протяжении испытаний не наблюдается появление видимых трещин, за счет чего значительно повышается жесткость конструкции. Кроме того,

разрушение железобетонного элемента происходит при достижении деформаций сталефибробетона в растянутой зоне около $23-26 \times 10^{-5}$, что соответствует предельным деформациям предела сопротивления при испытании сталефибробетона на осевое растяжение.

Анализ результатов испытания позволил сделать вывод, что в сечении реализуется упруго-пластическая модель распределения напряжений (рис. 2). При этом усилие в сталефибробетонной несъемной опалубке, расположенной в растянутой зоне, определяется пределом прочности сталефибробетона при осевом растяжении (R_{fbt}) и площадью поперечного сечения листа опалубки

(A_{fbt}). Усилие в растянутой зоне бетона определяется его пределом прочности на осевое растяжение (R_{bt}) по прямоугольной эпюре распределения напряжений по высоте поперечного сечения, а в сжатой зоне – напряжением в наиболее растянутом волокне, соответствующим пределу прочности бетона на осевое сжатие, по треугольной эпюре напряжений.

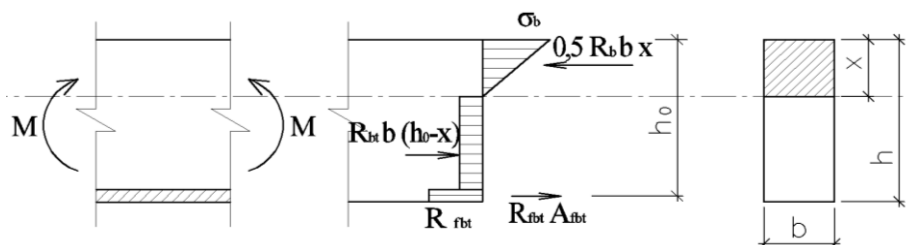


Рис. 2. Схема распределения деформаций и напряжений в железобетонном сечении со сталефибробетонной опалубкой

В этом случае высоту сжатой зоны и максимальный изгибающий момент определяют по формулам:

$$x = \frac{R_{bt} \cdot b \cdot h_0 + R_{fbt} \cdot A_{fbt}}{b \cdot \left(\frac{1}{2} R_b + R_{bt} \right)} \quad (9)$$

$$M_{ep} = R_{fbt} \cdot A_{fbt} \cdot \left(h_0 - \frac{1}{3} \cdot x \right) + R_{bt} \cdot b \cdot (h_0 - x) \cdot \left(\frac{h_0 - x}{2} + \frac{2}{3} \cdot x \right) \quad (10)$$

Подставив полученные значения расчетных параметров сталефибробетона и бетона и монолитного бетона в формулы (9) и (10) получаем $x = 4,3$ см и $M_{ep} = 5,57$ кН × м.

Среднее фактическое разрушение образцов произошло при достижении момента внешней пары сил 6,96 кН × м, т.е. фактический коэффициент запаса 1,27, что соответствует требованиям к коэффициенту безопасности для изгибаемых железобетонных конструкций.

Выводы. Приведенный статистический подход к назначению расчетных параметров материала позволяет снизить коэффициент запаса, принятый по действующим нормативным документам, в то же время обеспечивает достаточный запас прочности конструкции.

Приведенный подход применим только для назначения расчетных параметров при расчете несущей способности конструкций и рекомендован при использовании сталефибробетона и высокопрочного бетона.

Следует продолжать работы по накоплению и анализу статистических данных для повышения достоверности применяемых расчетных методов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ржаницын А.Р. Расчет сооружений с учетом пластических свойств материалов. М.: Стройиздат, 1954. 288 с.
2. Ржаницын А.Р. Теория расчета строительных конструкций на надежность. М.:

Стройиздат, 1978. 239 с.

3. Райзер В.Д. Теория надежности в строительном проектировании. М.: Изд-во АСВ, 1998. 304 с.

4. Капустин Д.Е. Прочностные и деформационные характеристики несъемной сталефибробетонной опалубки как несущего конструктивного элемента железобетонных конструкций: дис. канд. техн. наук. М., 2015. 211 с.

5. Дорф В.А., Красновский Р.О., Капустин Д.Е., Горбунов Е.А. Влияние характеристик фибры на кубиковую и призменную прочность сталефибробетона с цементно-песчаной матрицей // Бетон и железобетон. 2013. №6. С. 6–12

6. Дорф В.А., Красновский Р.О., Капустин Д.Е., Горбунов Е.А. Прочность сталефибробетонных с цементно-песчаной на растяжение при изгибе // Бетон и железобетон. 2014. №3. С. 5–8.

7. Сморгков А.А., Кереб С.А., Орлов Д.А., Барановская К.О. Влияние коэффициента вариации на надёжность строительных конструкций // Известия Юго-Западного государственного университета. 2013. № 5 (50). С. 164–167.

8. Осипов С.Н. Об оценке надежности результатов испытания физических свойств строительных материалов // Наука и техника. 2014. №5. С. 18–24.

9. Попов В.М., Плюснин М.Г. Оценка обеспеченности расчетных сопротивлений

бетона. Междунар. науч.-практ. конф. «Строительство, дизайн, архитектура: проектные решения XXI века». 2015. С. 9–15.

10. Тур В.В., Дереченник С.С. Критерии оценки соответствия прочности бетона в подходах европейских и американских стандартов // Вестник Брестского государственного технического университета. 2012. №1. С. 177–182.

11. Краснощек Ю.В. Системная модель коэффициента призмочной прочности бетона. //

Вестник СибАДИ. 2016. № 3. С. 63–67.

12. Doo-Yeol Yoo, Hyun-Oh Shin, Jun-Mo Yang, Young-Soo Yoon. Material and bond properties of ultra high performance fiber reinforced concrete with micro steel fibers // Composites: Part B. V. 58. 2014. pp. 122–133.

13. Barros JAO, Taheri M., Salehian H. A model to simulate the moment–rotation and crack width of FRC members reinforced with longitudinal bars // Eng Struct. V. 100. 2015. pp. 43–56.

Информация об авторах

Горбунов Игорь Андреевич, кандидат технических наук, доцент, доцент научно-образовательного центра Испытания сооружений. E-mail: gorbunov1905@gmail.com. Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ), Россия, 129337, Москва, Ярославское шоссе, д. 26.

Капустин Дмитрий Егорович, кандидат технических наук, доцент научно-образовательного центра Испытания сооружений. E-mail: kde90@bk.ru. Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ). Россия, 129337, Москва, Ярославское шоссе, д. 26. АО «Институт «Оргэнергострой» (АО ОЭС). Россия, 115114, Москва, Дербеневская набережная, д. 7, стр. 10.

Поступила в сентябре 2018 г.

© Горбунов И.А., Капустин Д.Е., 2019

¹Gorbunov I.A., ^{1,2*}Kapustin D.E.

¹National Research Moscow University of Civil Engineering
Russia, 129337, Moscow, Yaroslavl'skoe shosse, 26

²JSC «Institut «Orgenergostroy»
Russia, 129337, Moscow, Derbenevskaya Naberezhnaya, 7

*E-mail: kde90@bk.ru

STATISTICAL SUBSTANTIATION OF CONCRETE AND STEEL FIBER REINFORCED CONCRETE STRENGTH

Abstract. At present, the actualization of regulatory documents is an important issue. The article presents results of statistical justification analysis of the strength concrete reliability coefficients adopted in regulatory documents. The analysis of the implementation of a probabilistic scheme to determine the design strength of concrete in reinforced concrete structures is made. An example of utilization the scheme for determining the bearing strength of the bent reinforce-concrete element that works in conjunction with fixed formwork of steel fiber concrete is given. In this case, the calculated values of the steel fiber concrete are assigned based on statistical data for a particular composition and its production technology. In result, obtained factor of safety meets regulatory requirements.

Keywords: design strength of concrete, steel fiber reinforced concrete, tensile strength, fixed formwork.

REFERENCES

1. Rzhantsyn A.R. Calculation of structure with considering the plastic properties of materials. Moscow: Stroyizdat. 1954, 288 p.

2. Rzhantsyn A.R. The theory of calculating building structures for reliability. Moscow: Stroyizdat. 1978, 239 p.

3. Raiser V.D. The theory of reliability in building design. Moscow: ACB. 1998, 304 p.

4. Kapustin D.E. Strength and deformation characteristics of non-removable steel-fiber concrete

formwork of the bearing structural element of reinforced concrete structures: thesis of candidate of technical Sciences. Moscow, 2015, 211 p.

5. Dorf V.A., Krasnovsky R.O., Kapustin D.E., Gorbunov E.A. The influence of fiber characteristics on the cubic and prismatic strength of steel-fiber concrete with cement-sand matrix. Concrete and reinforced concrete, 2013, no. 6, pp. 6–12.

6. Dorf V.A., Krasnovsky R.O., Kapustin D.E., Gorbunov E.A. Strength of steel-fiber concrete with cement-sand tensile bending. Concrete and reinforced concrete, 2014, no. 3, pp. 5–8.

7. Smorchkov A.A., Kereb S.A., Orlov D.A., Baranovskaya K.O. Influence of coefficient of variation on the reliability of building structures. Proceedings of the Southwest state University, 2013, no. 5 (50), pp. 164–167.

8. Osipov S.N. On evaluation of reliability of results of testing of physical properties of building materials. Science and technology, 2014, no. 5, pp. 18–24.

9. Popov V.M., Plyusnin M.G. Estimation of security of design resistances of concrete. International scientific and practical conference "Construction, design, architecture: design solutions of the XXI century", 2015, pp. 9–15.

10. Tur V.V., Directnic S.S. Criteria for conformity assessment of concrete strength in approach

of European and American standards. Vestnik of Brest state technical University, 2012, no. 1, pp. 177–182.

11. Krasnoshchekov Yu.V. System model of the coefficient of the prismatic strength of concrete. Bulletin SibADI. Edition 3, 2013, pp. 63–67.

12. Doo-Yeol Yoo, Hyun-Oh Shin, Jun-Mo Yang, Young-Soo Yoon. Material and bond properties of ultra high performance fiber reinforced concrete with micro steel fibers. Composites: Part B, vol.58, 2014, pp. 122–133.

13. Barros JAO, Taheri M., Salehian H. A model to simulate the moment–rotation and crack width of FRC members reinforced with longitudinal bars. Eng Struct, vol.100, 2015, pp.43–56.

Information about the authors

Gorbunov, Igor A. PhD, Assistant professor. E-mail: gorbunov1905@gmail.com. Moscow State (National Research) University of Civil Engineering (NRU MGSU). Russia, 129337, Moscow, Yaroslavskoye Shosse, 26.

Kapustin, Dmitrii E. PhD, Assistant professor. E-mail: kde90@bk.ru. Moscow State (National Research) University of Civil Engineering (NRU MGSU). Russia, 129337, Moscow, Yaroslavskoye Shosse, 26. JSC «Institut «Orgenergostroy» 2, Russia, 129337, Moscow, Derbenevskay Naberezhnaya, 7.

Received in September 2018

Для цитирования:

Горбунов И.А., Капустин Д.Е. Расчетное сопротивление бетона и сталефибробетона в вероятностной трактовке // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2019. №1. С. 58–64. DOI: 10.12737/article_5c5062099aebc6.33938587

For citation:

Gorbunov I.A., Kapustin D.E. Statistical substantiation of concrete and steel fiber reinforced concrete strength. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov, 2019, no. 11, pp. 58–64. DOI: 10.12737/article_5c5062099aebc6.33938587

DOI: 10.12737/article_5c50620ee70624.66669200

^{1,*}Абдразаков Ф.К., ¹Панкова Т.А., ¹Орлова С.С.¹Саратовский государственный аграрный университет им. Н. И. Вавилова

Россия, 410012, Саратов, Театральная пл., 1

*E-mail: abdrazakov.fk@mail.ru

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ВЕРОЯТНОСТИ И ВОЗМОЖНЫХ ПОСЛЕДСТВИЙ АВАРИЙ НА ПЛОТИНЕ

Аннотация. При наступлении гидродинамической аварии на любом гидротехническом сооружении, создается угроза возникновения чрезвычайной ситуации, которая создает угрозу жизни и здоровью людей, приводит к разрушению зданий, сооружений, оборудования и транспортных средств, а также наносит ущерб окружающей природной среде. Поэтому актуальным является прогнозирование вероятности возникновения аварий гидротехнических сооружений и расчет возможных последствий, который приведен в данной статье на примере гидротехнических сооружений на пруду Казенный Дергачевского района Саратовской области. Оценка качественных и количественных характеристик аварии на ГТС плотины на пруду «Казенный» с. Верхазовка Дергачевского района Саратовской области, чрезвычайных ситуаций и их последствий, выполнялась в соответствии с постановлением Правительства РФ от 21.05.07 № 304 «О классификации чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера» (с изменениями и дополнениями от 17 мая 2011 года) [1]. Прогнозирование волны прорыва и характеристик затопления местности при разрушении сооружений гидроузла проводилось с помощью расчетной программы «Волна 2.0», которая позволяет определить основные параметры поражающего действия волны прорыва, ее скорость, высоту, глубину и время существования. На основании проведенных расчетов была определена зона возможного затопления местности.

Ключевые слова: гидродинамическая авария, гидротехнические сооружения, риск, уязвимость, опасность, вероятность, надежность.

Введение. Аварии гидроузлов приводят к образованию очагов поражения наводнения, эти очагом является территория, в пределах которой произошло затопление местности, повреждение, разрушение зданий, сооружений и других объектов, сопровождающееся поражением и гибелью людей, животных и затоплением сельскохозяйственных полей, порчей и уничтожением сырья, топлива, продуктов питания. Анализируя это можно отметить, что гидродинамическая авария может привести к большому социально-экономическому ущербу [2–3].

Согласно мировой статистике крупные аварии с разрушением плотины происходят нечасто: 1928 г. рухнула плотина Сент-Френсис высотой 59 метров, прорванная водой, в Калифорнии, в 1959 году на реке Рейран рухнула бетонная арочная плотина Мальпасе длиной по гребню 222 метра, построенная примерно в 7 километрах к северу от города Фрежюс на юге Франции для ирригации и водоснабжения, в 1963 году катастрофа на Вайонт – одной из высочайших в мире плотин (262 метра) в итальянских Альпах, в 1975 году произошло разрушение плотины ГЭС Байньцяо в Китае, в 2010 году произошел прорыв дамбы на реке Фухэ в провинции Цзянси на востоке Китая из-за проливных дождей и прорыв плотины на реке Инд в южном Пакистане, в 2011 году прорыв плотины на реке Цяньтан неподалеку от города Ханчжоу в провинции Чжэцзян на

востоке Китая [4–6]. Последствия во всех случаях очень тяжелые, поэтому прогнозирование вероятности возникновения гидродинамической аварии на плотине и оценка последствий аварии является необходимым.

Методология. Определение показателей, характеризующих степень риска аварий на гидроузле была проведена согласно Методики определения размера вреда [7], и в соответствии с Методическими рекомендациями [8].

Основная часть. Основное разрушение объектов, находящихся на пойме реки, происходит при воздействии фронта прорывной волны, образовавшейся при гидродинамической аварии, и поэтому расчет сводится к определению параметров динамического взаимодействия волны прорыва с сооружениями, и определению параметров её распространения в областях поймы реки.

Начальной фазой гидродинамической аварии является прорыв плотины, который представляет собой процесс образования прорана и неуправляемого потока воды водохранилища из верхнего бьефа через проран в нижний бьеф [8]. Во фронте устремляющегося в проран потока воды образуется волна прорыва. Следовательно, поражающее действие волны прорыва при наступлении гидродинамической аварии связано с распространением с большой скоростью водного потока, который создает угрозу возникновения чрезвычайной ситуации с глобальными по-

следствиями. К параметрам поражающего действия волны прорыва относится скорость, высота и глубина прорыва, температура воды и время или продолжительность существования волны прорыва. Поэтому необходимо определить данные показатели до каждого выбранного расчетного створа, расположенного на исследуемой реке ниже гидроузла, а также длительность прохождения волны через указанные створы и время её спада. Несмотря на это прорыв плотины приведет к затоплению местности, что объясняется следующим: вслед за фронтом волны прорыва высота её начинает интенсивно увеличиваться, достигая через некоторое время максимума, превышающего бровки берегов реки, в результате чего начинается затопление пойм. После прекращения подъема уровня по всей ширине потока наступит более или менее длительный период движения, близкий к установившемуся. Последней фазой образования зоны затопления является спад уровней [9]. После прохождения волны прорыва остается переувлажнённая пойма и сильно деформированное русло реки.

Для того чтобы предположить наступление данной чрезвычайной ситуации необходимо проводить прогнозирование вероятности наступления такой ситуации и оценивать последствия [10–17].

Прогнозирование вероятности наступления гидродинамической аварии и оценку ее последствий проведем на примере гидротехнических сооружений пруда Казенный села Верхазовка Дергачевского района Саратовской области.

Гидротехнические сооружения плотины на пруду «Казенный» с. Верхазовка по своему функциональному назначению являются водоподпорными, в связи, с чем на них возможно возникновение гидродинамической аварии с образованием волны прорыва и зоны затопления.

К числу возможных источников опасности для ГТС, относятся:

- проявления дефектов конструкций гидротехнических сооружений при долговременной эксплуатации вследствие старения материалов и изменения их свойств под действием внешних факторов;
- эксплуатация ГТС не соответствующая требованиям действующих норм и правил по обеспечению их надежности и безопасности;
- отсутствие своевременных работ по ремонту сооружений;
- отсутствие или недостаточный объем мероприятий по обеспечению готовности объекта к локализации и ликвидации аварийных ситуаций.
- боевые действия, террористические акты;
- стихийные бедствия (землетрясения, ураганы, наводнения, ливни и др.

В соответствии с конструктивными особенностями ГТС пруда «Казенный» Дергачевского района Саратовской области при условии его эксплуатации в проектном режиме были спрогнозированы несколько сценариев развития аварий [18–19].

Анализ перечня прогнозируемых пяти сценариев развития аварий ГТС на пруду «Казенный» показывает:

С учетом наибольшей глубины (напора) воды в верхнем бьефе плотины при развитии гидродинамической аварии по сценарию №1, данный сценарий может повлечь наиболее тяжёлые последствия, вследствие невозможности предположительной сработки (опорожнения) ёмкости пруда при ожидаемом высоком весеннем половодье и неготовности службы эксплуатации к устранению вышеперечисленных причин возможной аварии ГТС.

Маловероятен сценарий № 2, обусловленный потерей устойчивости низового откоса земляной плотины, что подтверждается отсутствием каких-либо обрушений низового откоса за многолетний период эксплуатации плотины.

Наиболее вероятным представляется сценарий №3, когда повреждения отдельных элементов водосбросного сооружения или отказ гидромеханического оборудования приводят к переполнению пруда, переливу воды через гребень плотины, размыву части гребня и откосов с образованием прорана и зоны затопления.

Менее вероятен сценарий № 4, связанный с фильтрацией воды через тело плотины, в сопряжениях элементов ГТС и по контакту с основанием плотины. Многолетний опыт эксплуатации и визуальные наблюдения подтверждают отсутствие фильтрации и выноса грунта.

Вероятность реализации сценария № 5 оценить сложно, так как наступление террористического акта маловероятно из-за отсутствия каких-либо серьёзных причин для его совершения и высокого риска для исполнителей акта. Техногенные и природные катастрофы также маловероятны ввиду отсутствия в непосредственной близости от пруда источников, которые способны их вызвать.

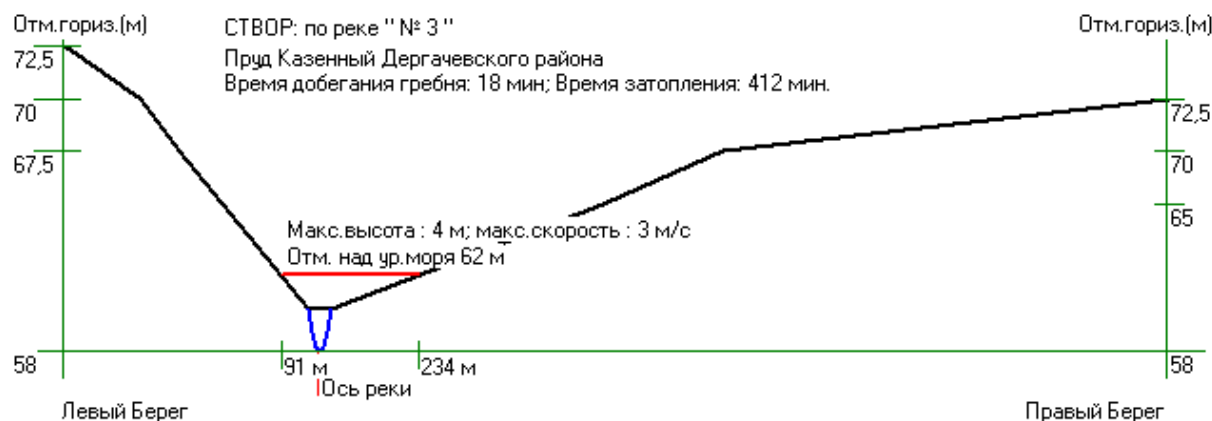
В результате проведенного анализа сценариев было выявлено следующее:

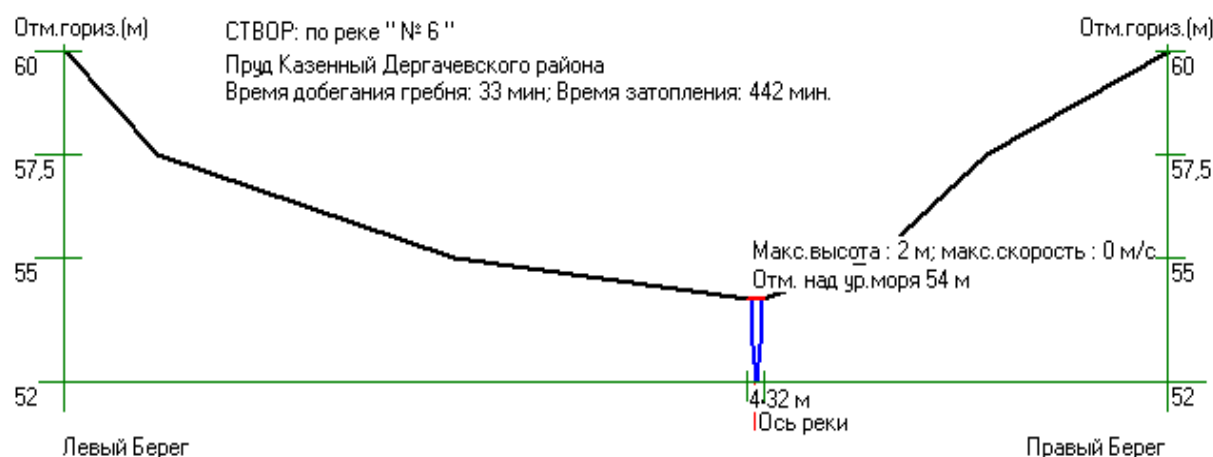
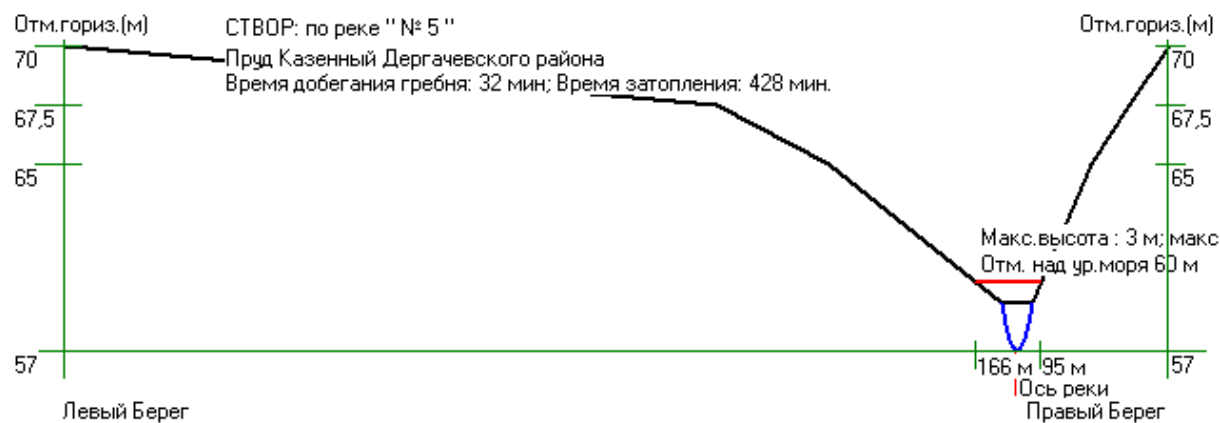
В связи с тем, что расчетные ГТС спроектированы с учетом невозможности пропуска паводка редкой повторяемости без перелива через гребень плотины, условия наибольшей глубины (напора) воды в верхнем бьефе возникнут и при наиболее вероятном сценарии № 3. Таким образом, при сценарии № 1 и сценарии № 3 возникают наиболее опасные явления перелива воды через гребень плотины.

Поэтому дальнейшие расчеты были проведены по наиболее тяжелому сценарию с образованием волны прорыва, практически полном опорожнении пруда и временном затоплении территорий, расположенных ниже ГТС.

Для прогнозирования волны прорыва и характеристик затопления местности при разрушении сооружений гидроузла используется программа «Волна 2.0», которая позволяет оценить последствия гидродинамической аварии. Данная

программа рассчитывает параметры затопления местности: максимальную глубину затопления, ширину затопления и скорость течения, время прихода фронта, гребня и хвоста волны прорыва, максимальный расход воды в створе, высоту волны (превышение уровня воды над уровнем бытового потока), максимальную отметку затопления и строит расчетные створы. По результатам расчета параметров волны прорыва были построены расчетные створы:





На основе результатов, полученных по программе «Волна 2.0», был проведен расчет зоны затопления местности с учетом следующих условий:

- условия эксплуатации и геометрические параметры сооружений на момент проведения обследования;

- эксплуатационные характеристики створа гидроузла (объем, глубина, площадь водного зеркала водохранилища);
- характеристики нижнего бьефа плотины (глубина, ширина и скорость течения);
- степень разрушения гидроузла и высота порога бреша;
- топографические данные створов, расположенных ниже по течению воды (7 створов, не считая створа плотины «0»).

По результатам расчета максимальная ширина затопления при аварии ГТС плотины на

пруду «Казенный» с.Верхазовка Дергачевского района Саратовской области составила 240,35 м. Рассчитанная зона затопления при развитии наиболее тяжелого сценария аварии представлена на рис. 1.

Анализ карты с нанесением зоны затопления показывает, в зону затопления не попадают населенные пункты, промышленные предприятия, дороги с асфальтовым покрытием, мосты, сельскохозяйственные угодья и леса.

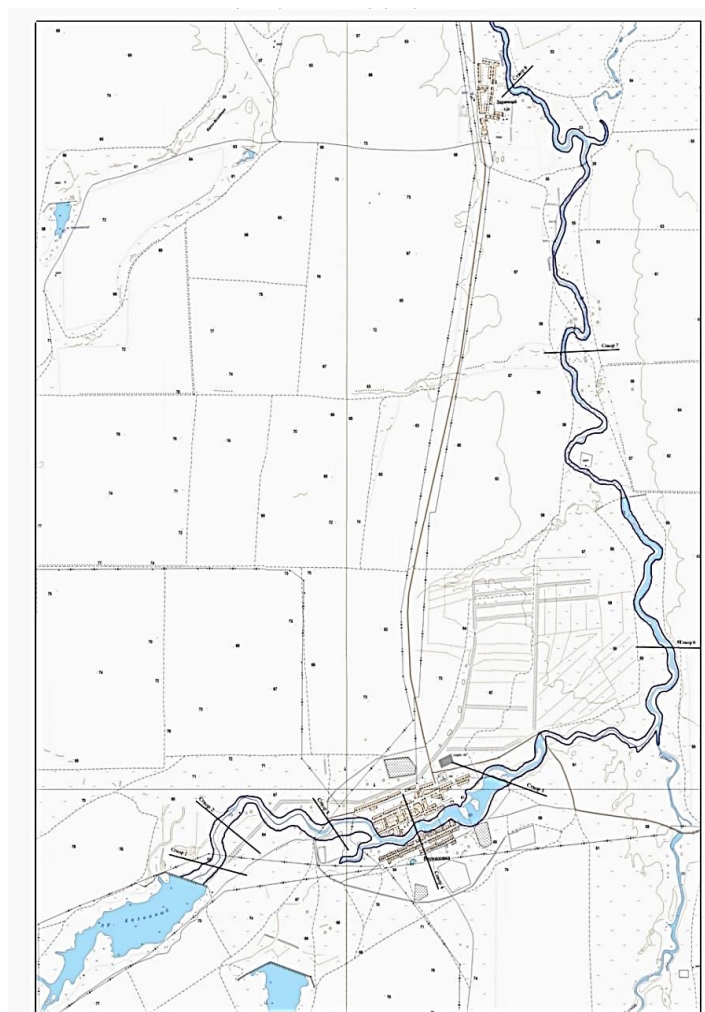


Рис. 1. Карта зоны затопления местности при аварии ГТС пруда Казенный Дергачевского района Саратовской области

Выводы. Согласно постановления Правительства РФ [1] и методике определения размера вреда [7] авария на ГТС плотины на пруду «Казенный» с. Верхазовка относится к чрезвычайной ситуации локального характера, так как при прорыве плотины зона чрезвычайной ситуации не выходит за пределы территории объекта, в случае гидродинамической аварии не будет нанесен ущерб жизни и здоровью людей, имуществу физических, юридических лиц и окружающей среде, и общий размер материального ущерба составляет не более

100 тыс. рублей.

Согласно методике по оценке риска аварий [8] безопасности ГТС исследуемый объект не является потенциально опасным и уровень безопасности ГТС плотины на пруду «Казенный» с. Верхазовка Дергачевского района Саратовской области нормальный.

Проведение такого вида прогнозирования вероятности наступления гидродинамической аварии на плотине и оценка ее последствий, основанная на анализе возможных сценариев ава-

рии, определения величин негативных воздействий и построения зоны затопления местности позволяет оценить чрезвычайную ситуацию возможных потерь для действующих или проектируемых гидротехнических сооружений [20–23].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Постановление Правительства РФ от 21.05.2007 № 304 «О классификации чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера» (с изменениями и дополнениями от 17 мая 2011 года).
2. Ивлентиев В. С., Козина Л. Н. Математическое моделирование гидродинамики Волжского каскада гидросооружений // Вестник НГИЭИ. 2015. № 6(49). С. 44–48.
3. Hoeg K. New dam safety legislation and the use of risk analysis // Int. Journal on Hydro-power and Dams. 1998. №5. Pp. 85–88.
4. Foster M., Fell R., Spannagle M. The statistics of embankment dam failures and accidents // Canadian Geotechnical Journal. 2000. № 5(37). Pp. 1000–1024.
5. Brown A.J., Gosden J.D. Defra Interim Guide to Quantitative Risk Assessment for UK Reservoirs. London, 2004. 161 p.
6. He X.Y., Wang Z.Y., Huang J.C. Temporal and spatial distribution of dam failure events in China // International Journal of Sediment Research. 2008. № 4(23). Pp. 398–405.
7. Методика определения размера вреда, который может быть причинен жизни, здоровью физических лиц, имуществу физических и юридических лиц в результате аварии гидротехнического сооружения (за исключением судоходных и портовых гидротехнических сооружений), утвержденная приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 29 марта 2016 г. № 120.
8. Методические рекомендации по оценке риска аварий на гидротехнических сооружениях водного хозяйства и промышленности. 2-е издание переработанное и дополненное, М. «ДАР/ВОДГЕО», 2009.
9. Abdrazakov F.K., Orlova S.S., Pankova T.A., Mirkina E.N., Mikheeva O.V. Risk assessment and the prediction of breakthrough wave during a dam accident. // AD ALTA: Journal of Interdisciplinary Research. 2018. Т. 8. № 1. С. 154–161.
10. Титова Т. С., Логобарди А., Аяхметов Р. Г., Насырова Э.Н. Срок эксплуатации грунтовых плотин // Инженерно-строительный журнал. 2017. №1(69). С. 34–43.
11. Zhanga L.M., Xua Y., Jiab J.S. Analysis of earth dam failures: a database approach // Georisk: Assessment and Management of Risk for Engineered Systems and Geohazards. 2009. № 3(3). Pp. 184–189.
12. Mafioleti T. R., Neto A. C., Luiz J. P., Júnior A. T. A proposal for probabilistic analysis of stability of earth dams based on first order reliability method // International Journal of Engineering and Applied Sciences. 2016. № 1(8). Pp. 1–8.
13. Pimenta L., Caldeira L., Maranha das Neves E. A new qualitative method for the condition assessment of earth and rockfill dams // Structure and Infrastructure Engineering: Maintenance, Management, Life-cycle Design and Performance. 2013. № 9(11). Pp. 1103–1117.
14. Lin H.C., Hong Y.M., Kan Y.C., Sung W.P. An efficient risk assessment model for structure safety of aged dam // Disaster Advances. 2012. № 4(5). Pp. 410–416.
15. Peyras L., Royet P., Boissier D. Dam ageing diagnosis and risk analysis: development of methods to support expert judgment // Canadian Geotechnical Journal. 2006. № 2(43). Pp. 169–186.
16. Cloete G.C., Retief J.V., Viljoen C. A rational quantitative optimal approach to dam safety risk reduction // Civil Engineering and Environmental Systems. 2016. № 2(33). Pp. 85–105.
17. Meijerink A.M.J., de Brower H.A.M., Mannaerts C.M., Valenzuela C. Introduction to the use of Geographic Information Systems for practical hydrology, UNESCO-ITC publication, N 23, 273 p.
18. Абдразаков Ф. К., Панкова Т.А., Орлова С.С. Оценка степени риска аварии на гидроузле // Вестник БГТУ им. В. Г. Шухова. 2018. № 7. С. 34–41.
19. Абдразаков Ф. К., Панкова Т.А., Щербakov В.А. Факторы, влияющие на эксплуатационное состояние гидротехнических сооружений // Аграрный научный журнал. 2016. №10. С. 56–61.
20. The use of risk analysis to support dam safety decisions and management // Trans. of the 20-th Int. Congress on Large Dams. Beijing, China. 19–22 September. 2000. Vol. 1. Q. 76, 896 p.
21. Kumamoto H., Henley E. J. Probabilistic Risk Assessment and Management for Engineers and Scientists. New York. IEEE Press, 1996. 597 p.
22. Su H., Wen Z., Hu J., Wu Z. Evaluation model for service life of dam based on time-varying risk probability // Science in China, Series E: Technological Sciences. 2009. № 7(52). Pp. 1966–1973.
23. Sun Y., Chang H., Miao Z., Zhong D. Solution method of overtopping risk model for earth dams // Safety Science. 2012. № 9(50). Pp. 1906–1912.

Информация об авторах

Абдразаков Фярид Кинжаевич, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой строительства, теплогазоснабжения и энергообеспечения. E-mail: abdrzakov.fk@mail.ru. Саратовский государственный аграрный университет им. Н.И. Вавилова, Россия, 410012, Саратов, Театральная пл., 1.

Панкова Татьяна Анатольевна, кандидат технических наук, доцент кафедры строительства, теплогазоснабжения и энергообеспечения. E-mail: vtanja@mail.ru. Саратовский государственный аграрный университет им. Н.И. Вавилова, Россия, 410012, Саратов, Театральная пл., 1.

Орлова Светлана Сергеевна, кандидат технических наук, доцент кафедры строительства, теплогазоснабжения и энергообеспечения. E-mail: orlovass77@mail.ru. Саратовский государственный аграрный университет им. Н.И. Вавилова, Россия, 410012, Саратов, Театральная пл., 1.

Поступила в октябре 2018 г.

© Абдразаков Ф.К., Панкова Т.А., Орлова С.С., 2019

^{1,*}**Abdrzakov F.K., ¹Pankova T.A., ¹Orlova S.S.**

¹Saratov State Agricultural University N.I. Vavilova,
Russia, 410012, Saratov, Teatralnaya Square, 1

*E-mail: abdrzakov.fk@mail.ru

PREDICTION OF PROBABILITY AND CONSEQUENCES OF ACCIDENTS ON THE DAM

Abstract. Upon the occurrence of a hydrodynamic accident at any hydraulic structure, there is a threat of an emergency, which harms people's health and life, leads to the destruction of buildings, structures, equipment and vehicles, as well as creates a damage to the environment. Therefore, it is important to predict the probability of accidents at hydraulic structures and the calculation of the possible consequences. This article provides an example of hydraulic structures on the pond Kazenny of Dergachevsky district in Saratov region. Assessment of qualitative and quantitative characteristics of an accident on the pond Kazenny, village Verzhazovka of Dergachevsky district in Saratov region, emergencies and their consequences, are carried out in accordance with the decree of the Government of Russia of 21.05.07 № 304 "on the classification of natural and human-made emergency situations" (with changes and additions of May 17, 2011) [1]. Prediction of a breakthrough wave and flooding characteristics of the area during destruction of hydroelectric facilities is carried out by the Volna 2.0 design program. It allows determining the main parameters of the damaging effect of the breakthrough wave, its speed, height, depth and lifetime. The zone of possible flooding of the area is determined by the calculations.

Keywords: hydrodynamic accident, hydraulic structures, risk, vulnerability, danger, probability, reliability.

REFERENCES

1. Resolution of the Government of the Russian Federation of 21.05.2007 № 304 "On the classification of emergency situations of natural and technogenic character" (with amendments and additions of May 17, 2011).
2. Ivltiev V.S., Kozina L.N. Mathematical modeling of hydrodynamics of the Volga cascade of hydraulic structures. Vestnik NGIER, 2015, no. 6 (49), pp. 44–48.
3. Hoeg K. New dam safety legislation and the use of risk analysis. Int. Journal on Hydro-power and Dams, 1998, no. 5, pp. 85–88.
4. Foster M., Fell R., Spannagle M. The statistics of embankment dam failures and accidents. Canadian Geotechnical Journal, 2000, no. 5(37), pp. 1000–1024.
5. Brown A.J., Gosden J.D. Defra Interim Guide to Quantitative Risk Assessment for UK

Reservoirs. London, 2004, 161 p.

6. He X.Y., Wang Z.Y., Huang J.C. Temporal and spatial distribution of dam failure events in China. International Journal of Sediment Research, 2008, no. 4(23), pp. 398–405.

7. The technique of determination of the size of harm which can be caused to life, health of physical persons, property of physical persons and legal entities as a result of accident of a hydraulic engineering construction (except for navigable and port hydraulic engineering constructions). Approved by the order of the Federal service for environmental, technological and nuclear supervision on March 29, 2016, no. 120.

8. Methodical recommendations on risk assessment of accidents at hydraulic structures of water management and industry. 2nd edition revised and expanded, M. "DAR / VODGEO", 2009.

9. Abdrzakov F.K., Orlova S.S., Pankova

T.A., Mirkina E.N., Mikhheeva O.V. Risk assessment and the prediction of breakthrough wave during a dam accident. AD ALTA: Journal of Interdisciplinary Research, 2018, vol. 8, no. 1, pp. 154–161.

10. Titova TS, Logobardi A., Aaymetov RG, Nasyrova E.N. The service life of the earth dams. Engineering and construction magazine. 2017, no. 1 (69), pp. 34–43.

11. Zhanga L.M., Xua Y., Jiab J.S. Analysis of earth dam failures: a database approach. Georisk: Assessment and Management of Risk for Engineered Systems and Geohazards, 2009, no 3(3), pp. 184–189.

12. Mafioletti T. R., Neto A. C., Luiz J. P., Júnior A. T. A proposal for probabilistic analysis of stability of earth dams based on first order reliability method. International Journal of Engineering and Applied Sciences. 2016, no. 1(8), pp. 1–8.

13. Pimenta L., Caldeira L., Maranha das Neves E. A new qualitative method for the condition assessment of earth and rockfill dams. Structure and Infrastructure Engineering: Maintenance, Management, Life-cycle Design and Performance. 2013, no. 9(11), pp. 1103–1117.

14. Lin H.C., Hong Y.M., Kan Y.C., Sung W.P. An efficient risk assessment model for structure safety of aged dam. Disaster Advances, 2012, no. 4(5), pp. 410–416.

15. Peyras L., Royet P., Boissier D. Dam ageing diagnosis and risk analysis: development of methods to support expert judgment. Canadian Geotechnical Journal, 2006, no. 2(43), pp. 169–186.

16. Cloete G.C., Retief J.V., Viljoen C. A rational quantitative optimal approach to dam safety risk reduction. Civil Engineering and Environmental Systems, 2016, no. 2(33), Pp. 85–105.

17. Meijerink A.M.J., de Brower H.A.M., Mannaerts C.M., Valenzuela C. Introduction to the use of Geographic Information Systems for practical hydrology, UNESCO-ITC publication, N 23, 273 p.

18. Abdrazakov FK, Pankova TA, Orlova SS Estimation of the degree of the risk of an accident at the hydrosystem. Bulletin of the BSTU named after V. G. Shukhova. 2018, no. 7, pp. 34–41.

19. Abdrazakov F.K., Pankova T.A., Scherbakov V.A. Factors affecting the operational state of hydraulic structures. Agrarian scientific journal, 2016, no. 10, pp. 56–61.

20. The use of risk analysis to support dam safety decisions and management. Trans. of the 20-th Int. Congress on Large Dams. Beijing, China. 19–22 September. 2000, vol. 1, Q. 76, 896 p.

21. Kumamoto H., Henley E. J. Probabilistic Risk Assessment and Management for Engineers and Scientists. New York. IEEE Press. 1996, 597 p.

22. Su H., Wen Z., Hu J., Wu Z. Evaluation model for service life of dam based on time-varying risk probability. Science in China, Series E: Technological Sciences, 2009, no. 7(52), pp. 1966–1973.

23. Sun Y., Chang H., Miao Z., Zhong D. Solution method of overtopping risk model for earth dams. Safety Science, 2012, no. 9(50), pp. 1906–1912.

Information about the authors

Abdrazakov, Fyazid K. DSc, Professor, Head of the Department of Construction, Heat and Gas Supply and Energy Supply. E-mail: abdrazakov.fk@mail.ru. Saratov State Agricultural University N.I. Vavilova. Russia, 410012, Saratov, Teatralnaya Square, 1.

Pankova, Tatiana A. PhD, Associate Professor of the Department of Construction, Heat and Gas Supply and Energy Supply. E-mail: vtanja@mail.ru. Saratov State Agricultural University. N.I. Vavilova. Russia, 410012, Saratov, Teatralnaya Square, 1.

Orlova, Svetlana S. PhD, Associate Professor of the Department of Construction, Heat and Gas Supply and Energy Supply. E-mail: orlovass77@mail.ru. Saratov State Agricultural University. N.I. Vavilova. Russia, 410012, Saratov, Teatralnaya Square, 1.

Received in October 2018

Для цитирования:

Абдразаков Ф.К., Панкова Т.А., Орлова С.С. Прогнозирование вероятности и возможных последствий аварий на плотине // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2019. №1. С. 65–72. DOI: 10.12737/article_5c50620ee70624.66669200

For citation:

Abdrazakov F.K., Pankova T.A., Orlova S.S. Prediction of probability and consequences of accidents on the dam. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov, 2019, no. 11, pp. 65–72. DOI: 10.12737/article_5c50620ee70624.66669200

DOI: 10.12737/article_5c50621316e4b5.61522261

^{1,*}Карпов Д.Ф., ¹Синицын А.А.¹Вологодский государственный университет
Россия, 160000, Вологда, ул. Ленина, д. 15, каб. 111

*E-mail: karpov_denis_85@mail.ru

**ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ
ЛУЧИСТОГО ОТОПЛЕНИЯ В ТЕПЛИЦАХ**

Аннотация. Рассмотрен вопрос технико-экономической и энергетической эффективности применения лучистого отопления в агроклиматических системах закрытого типа на примере производственной теплицы. Выполнено сравнение системы лучистого отопления с традиционными системами обогрева помещений. Представлен технико-экономический расчет целесообразности перевода производственной теплицы с конвективного воздушно-водяного отопления на лучистое отопление для условий города Вологды. Техничко-экономический расчет выполнен в три этапа: расчет капитальных затрат (по укрупненным показателям) для осуществления мероприятия по внедрению системы лучистого отопления; нахождение экономического эффекта от реализации предложенного мероприятия; определение срока окупаемости. Выполнена оценка потенциала энергосбережения предлагаемого мероприятия и определен годовой перерасход невозобновляемых топливных ресурсов при существующем способе теплофикации рассматриваемого объекта. Представленные расчеты базируются на действующих нормативных документах страны.

Ключевые слова: технико-экономическая оценка, лучистое отопление, инфракрасный излучатель, агроклиматическая система, теплица, капитальные затраты, экономический эффект.

Введение. Лучистое отопление представляет собой один из наиболее совершенных способов обогрева помещений зданий различного назначения. В последнее время этот вид отопления вновь привлек к себе пристальное внимание в связи с проблемой эффективного использования теплоты и экономии энергии. С новыми технологиями обогрева вносятся дополнения и поправки в существующие строительные нормы и правила [1] или создаются новые стандарты [2], регламентирующие проектирование и эксплуатацию лучистого отопления, ремонт и обслуживание сопутствующего ему оборудования.

Термин «лучистое отопление» относится к системам потолочного отопления, в которых теплоотдача происходит в большей мере путем излучения [3]. Лучистая передача энергии при прочих равных условиях более эффективна, чем конвективная, поскольку при инфракрасном обогреве энергия беспрепятственно переносится на большие расстояния в объеме помещения [4]. Поэтому отопительные приборы можно располагать под потолком, в конструкциях ограждений. Возникает возможность в широких пределах варьировать температуру поверхности нагревателей: от очень низкой 25–30 °С до очень высокой – 1000 °С и более. Кроме того, при лучистом отоплении [2]: создается возможность без ухудшения условий теплового комфорта снизить температуру воздуха по сравнению с нормируемой для традиционных систем отопления; обеспечивается равномерность распределения температуры воздуха в объеме обслуживаемого помещения; сокращается перенос пыли и вредных выделений

в помещение за счет более низкой подвижности воздуха.

Сравнение системы лучистого отопления с другими системами обогрева. Если сравнивать лучистое отопление с другими системами обогрева, то здесь можно выделить отдельно водяное, газовое и воздушное отопление. Рассмотрим и сопоставим их с точки зрения эффективности применения в агроклиматических системах закрытого типа на примере производственной теплицы (рис. 1).

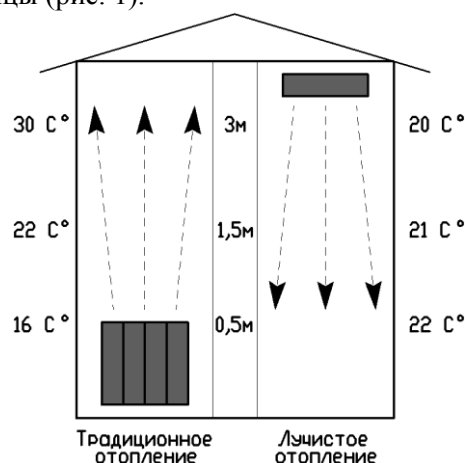


Рис. 1. Графическое представление тепловых режимов конвективного и лучистого отопления в закрытом помещении на примере производственной теплицы

Водяная отопительная система отопления включает в себя водогрейный котел с отводом продуктов сгорания в атмосферу. Теплоноситель циркулирует по трубам, отдавая теплоту отопи-

тельными приборам, которые в свою очередь отдают его теплице. Как правило, в такой системе используются несколько контуров: для нагрева воздуха; для нагрева бойлерной установки; для обогрева почвы. Недостатком такой системы является принцип работы, так как нагретый теплый воздух устремляется вверх, что приводит к охлаждению почвы. Это является неэффективным расходом средств как на посев растений, который может не дополучить теплоту, так и для использования самого котла, который будет нерационально потреблять топливные ресурсы. Систему газового отопления, включающую в себя воздухопроводы, регуливающую арматуру, автоматические контрольно-измерительные приборы безопасности пользования газом, использовать с точки зрения экологии небезопасно, так как в случае утечки газа может возникнуть аварийная ситуация или вся продукция пропадет вредоносным для человека веществом. Воздушное отопление вызывает сухость воздуха в помещении, что является губительным для некоторых видов растений.

Инфракрасные излучатели работают по принципу солнечного обогрева, т. е. посылают инфракрасные тепловые лучи, которые накапливаются окружающими предметами (в том числе почвой), а последние отдают накопленную (аккумулированную) теплоту в окружающую среду. Таким образом, теплоотдача происходит посредством излучения. По своей природе инфракрасные лучи имеют такую же природу, что и видимый солнечный свет. Они абсолютно безвредны для человека и растений и в естественной среде могут выделяться всеми нагретыми телами – как твердыми, так и жидкими. Лучи инфракрасного излучения свободно проходят через воздух (рассеивание в воздушной среде пренебрежимо мало). В результате теплота, производимая инфракрасным обогревателем, достигает расположенных в зоне его действия предметов и поглощается ими с последующим нагревом. Эти особенности делают инфракрасное (лучистое) отопление удобным и выгодным видом поддержания теплового режима. При работе инфракрасный излучатель тратит на обогрев воздуха не более 7–10 % от производимой энергии, в то время как у конвекторного прибора этот показатель может составлять 50–60 %. Нагрев помещений происходит гораздо быстрее, нежели при использовании иных видов отопительных приборов. Отдельно следует сказать и о том, что инфракрасные лучи способны благотворно воздействовать на растения. Поглощение растениями инфракрасных лучей и выделение их в пространство являются формой полезного теплового воздействия на растение, как на живой организм. Обогреватели

сами по себе не выжигают кислород и не сушат воздух, при использовании их в теплицах следует учитывать повышенную влажность, необходимую для нормального роста и развития растений. Инфракрасные обогреватели – это наиболее перспективный вид отопительных приборов, который является оптимальным выбором для отопления теплиц в холодный период года.

На основании выше изложенного перечислим преимущества применения инфракрасных излучателей в сельском хозяйстве:

1) перевод традиционной централизованной системы водяного отопления на местное газовое отопление, по мнению многих специалистов, дает снижение затрат на теплоснабжение в 2–4 раза;

2) в помещениях с высокими потолками при традиционных способах отопления нагретый воздух скапливается в верхней зоне, аккумулируя поступающую теплоту. При лучистом отоплении вся теплота с помощью отражателя передается в рабочую зону, т. е. туда, где оно непосредственно необходимо, прогревая почву, стены и оборудование. В свою очередь эти поверхности отдают полученную теплоту воздуху в помещении, при этом исключается образование воздушной «тепловой подушки» под потолком и перегрев кровли;

3) современные системы электрического отопления работают в автоматическом режиме, практически не требуют внимания со стороны эксплуатационного персонала. После установки и наладки системы в течение 15 лет можно ограничиться периодическими осмотрами – сервисным обслуживанием;

4) при работе в режиме автоматического управления, при очень малой инерционности управления, характерной для системы электрического отопления, можно точно выдерживать заданный температурный режим в отапливаемом помещении;

5) при отоплении инфракрасными излучателями используется существующий в природе принцип солнечного излучения. Инфракрасное излучение полностью соответствует тепловому излучению солнца, которое необходимо растениям;

6) обеспечивают возможность зонального отопления и отопления по сменам;

7) относительно высокий коэффициент полезного действия (до 94 %), надежность и безопасность.

Одним из способов лучистого отопления производственных и сельскохозяйственных объектов является применение газовых и электрических излучателей различной мощности и типовых размеров (рис. 2). К основным техническим ха-

рактическим характеристикам инфракрасных обогревателей относятся: мощность (Вт), напряжение (В) и сила тока (А). Как правило, в паспорте устройства

приводятся его габариты, максимальная и минимальная высота подвеса (м), отапливаемая площадь помещения при различных вариантах отопления (м^2).



Рис. 2. Газовые (слева) и электрические (справа) инфракрасные излучатели

Несмотря на преимущества лучистого отопления в сравнении с традиционными системами отопления, для каждого отдельного случая необходимо проводить оценку применения или перевода с того или иного вида обогрева по критериям экономической и энергосберегающей целесообразности.

Основная часть. В работе представлено технико-экономическое обоснование по укрупненным показателям перевода сельскохозяйственного объекта на примере производственной теплицы (рис. 3) с традиционного конвективного воздушно-водяного отопления на лучистое отопление для условий города Вологды.



Рис. 3. Фотографии теплицы в городе Вологде

Производственная теплица (объект теплопотребления) (рис. 3) подключена к системе централизованного теплоснабжения от районной отопительной котельной, которая является также собственностью организации (ОАО «Совхоз «Заречье», г. Вологда). В качестве теплоносителя в системе используется вода из городского водопровода. Отопление теплиц осуществляется за счет системы теплоснабжения с дополнительным водообеспечением из баков тепличного комбината. Котельная установка подключена к магистральному газопроводу среднего давления. Водяная тепловая сеть двухтрубная, по типу прокладки

трубопроводов (теплопроводов) – подземная в непроходных каналах марки КЛ. Регулирование подачи теплоты в системе – качественное, водогрейные котлы работают по режимной карте. График работы котельной – 130/70 при температуре наружного воздуха $t_{н.о} = -32\text{ }^{\circ}\text{C}$ [5].

Общая площадь теплицы составляет $F = 980\text{ м}^2$, суммарный строительный объем по наружному обмеру $V = 3200\text{ м}^3$. Габариты $14 \times 70 \times 1,4$ (5 м – у конька теплицы) теплицы установлены с помощью инфракрасного дальномера Fluke 421D.

Технико-экономический расчет выполнен в три этапа: расчет капитальных затрат для осуществления технического решения (по укрупненным показателям); нахождение экономического эффекта от реализации предложенного проекта; определение срока окупаемости.

Капитальные затраты. В качестве источников инфракрасного излучения в теплицах, оранжереях, «зимних садах» большую популярность получили электрические обогреватели компании «Эколайн». Оптимальным вариантом для локального отопления агроклиматической системы (теплицы) служит промышленный обогреватель марки ЭЛ 30R с удельной отапливаемой площадью помещения $f = 30 \text{ м}^2$. Согласно прайс-листу компании (на IV квартал 2018 года), цена единицы продукции с учетом НДС составляет $\Pi_{об} = 8480 \text{ руб.}$ Денежные затраты на приобретение оборудования можно оценить по формуле, руб:

$$C_{т.об} = \Pi_{об} \frac{F}{f}. \quad (1)$$

Стоимость инфракрасных излучателей, согласно (1), составит $C_{т.об} = 8480 \cdot (980/30) = 277013 \text{ руб.}$ (количество приборов округлено до целого значения в большую сторону). Денежные затраты на транспортные перевозки минимальны (компания имеет филиал внутри города) и поэтому в расчете не учитываются.

Стоимость проектных работ $C_{т.п.р}$ – до 10 % от стоимости строительно-монтажных работ. Стоимость строительно-монтажных работ $C_{с-м.р}$ – 25–30 % от стоимости оборудования. Стоимость пуско-наладочных работ $C_{п-н.р}$ – 3–5 % от стоимости оборудования. В итоге суммарные капиталовложения (по максимальной стоимости видов работ) равны, руб:

$$K = C_{т.об} + C_{т.п.р} + C_{с-м.р} + C_{п-н.р} = 1,38 C_{т.об}. \quad (2)$$

Тогда по (2) суммарные инвестиции на реализацию энергосберегающего мероприятия по внедрению источников инфракрасного излучения в теплицах составят $K = 1,38 \cdot 277013 = 382278 \text{ руб.}$

Экономический эффект. Экономический эффект от применения инфракрасных излучателей достигается за счет следующих факторов:

1) снижение потребления топлива благодаря локализации зоны отопления помещения теплицы;

2) уменьшение потребления топлива из-за равномерного распределения теплоты в воздушном объеме помещения теплицы;

3) устранение тепловых потерь по тепло-трассе;

4) сокращение потребления электрической энергии на циркуляцию теплоносителя в системе теплоснабжения.

Максимальный расчетный расход тепловой энергии на отопление строительного объекта (здания) по укрупненным показателям Q_o , Гкал/ч, определяется по формуле [6]:

$$Q_o = (1 + \beta) a_t q_o V (t_{вн} - t_{н.о}) \cdot 10^{-6}, \quad (3)$$

где β – коэффициент, учитывающий затраты теплоты на инфильтрацию в производственные здания, ориентировочно принимается 0,1–0,3; a_t – поправочный коэффициент к отопительной характеристике, зависит от температуры наружного воздуха; q_o – удельная отопительная характеристика здания, ккал/(м³·ч·°C); V – объем теплицы по наружному обмеру, 3200 м³; $t_{вн}$ – средняя температура воздуха в отапливаемом помещении, °C; $t_{н.о}$ – расчетная температура наружного воздуха, °C.

Поправочный коэффициент a_t дает поправку на отопительную нагрузку здания с учетом расчетной наружной температуры региона. По данным [5], расчетная температура наиболее холодной пятидневки для условий города Вологды, составляет $t_{н.о} = -32 \text{ °C}$. Тогда, согласно [7], поправочный коэффициент для города Вологды, будет равен $a_t = 0,94$.

Температура воздуха, поддерживаемая внутри теплицы для выращивания растений, в среднем за отопительный период имеет величину $t_{вн} = 23 \text{ °C}$ с целью обеспечения температуры почвы 21 °C.

Фактическая удельная тепловая характеристика здания любого назначения определяется по формуле Н. С. Ермолаева [8], ккал/(м³·ч·°C):

$$q_o = \frac{1,163p}{A} \left[k_{ст} + \eta(k_{ок} - k_{ст}) + \frac{1}{H}(0,9k_{пт} + 0,6k_{пл}) \right], \quad (4)$$

где p – периметр здания, равный 168 м; A – площадь поверхности здания, равная 2367,4 м²; η – коэффициент, учитывающий остекление объекта (отношение площади остекления к площади ограждения), по расчетам составил 4,9; $k_{ст}$, $k_{ок}$, $k_{пт}$, $k_{пл}$ – коэффициенты теплопередачи ограждающих конструкций в виде стен, окон, потолка, пола соответственно, Вт/(м²·°C); H – высота здания (среднее значение по ширине), равная 3,2 м.

Коэффициенты теплопередачи k_i , Вт/(м²·°C), ограждающих конструкций теплицы для (4) по данным [9] представлены в табл. 1.

Тогда с учетом табл. 1 фактическая удельная отопительная характеристика теплицы по формуле (4) равна $q_o = 1,81 \text{ ккал/(м}^3 \cdot \text{ч} \cdot \text{°C)}$. Максимальная расчетная тепловая нагрузка на здание, согласно формулы (3) составит $Q_o = 0,360 \text{ Гкал/ч}$.

Таблица 1
Значения коэффициентов теплопередачи
ограждающих конструкций теплицы

Тип ограждающей конструкции теплицы	k_i , Вт/(м ² ·°С)
1. Наружная стена	2,92
2. Оконные светопрозрачные ограждения	6,40
3. Кровля	6,40
4. Пол	0,50

Для определения годовых затрат теплоты на отопление производственного объекта [10] можно воспользоваться формулой, Гкал:

$$\Delta Q_o^r = Q_o \frac{t_{вн} - t_{о.п}}{t_{вн} - t_{н.о}} z_{о.п}, \quad (5)$$

где $t_{о.п}$ – средняя температура наружного воздуха за отопительный период, по данным [5] для города Вологды $-4,1$ °С; $z_{о.п}$ – продолжительность отопительного периода, для города Вологды 5540 ч.

Годовые затраты энергии на нужды отопления теплицы по формуле (5) равны $\Delta Q_o^r = 982,7$ Гкал.

Среднегодовое количество теплоты, Гкал, теряемое в тепловой сети при транспортировке теплоносителя от источника теплоснабжения до теплицы при существующей системе отопления, определим по выражению:

$$\Delta Q_{т.с}^r = (q_{т.с}^n + q_{т.с}^o) l_{yч} z_{о.п} \cdot 10^{-6}, \quad (6)$$

где $q_{т.с}^n$ и $q_{т.с}^o$ – плотность теплового потока через подающий и обратный теплопроводы, ккал/(м·ч); $l_{yч}$ – общая протяженность теплопровода от котельной установки до теплицы, м.

Теплица подключена к отдельной распределительной магистрали тепловой сети, которая имеет один участок между котельной и теплицей. Диаметр теплопровода $d_y = 100$ мм, длина участка теплопровода $l_{yч} = 58$ м. Теплопроводы проложены в непроходных каналах марки КЛ, снаружи теплоизолированы пенополиуретаном. Согласно [11], линейные тепловые потери через подающий и обратный теплопроводы будут равны $q_{т.с}^n = 55,8$ ккал/(м·ч) и $q_{т.с}^o = 17,5$ ккал/(м·ч).

Тогда годовые тепловые потери от теплопроводов в окружающую среду, согласно формуле (6), равны $\Delta Q_{т.с}^r = 23,55$ Гкал.

В котельной работают четыре сетевых насоса марки НК 90/85 и 1Д200/90. Основной функцией сетевых насосов является бесперебойная циркуляция теплоносителя в системе. Давление на выходе из котельной 6 кгс/см², на входе – 2 кгс/см² (избыточное давление в сети $\Delta p = 392,4$ кПа). Объемный расход теплоносителя на нужды

отопления теплицы составляет $V = 65,3$ м³/ч. Коэффициент полезного действия сетевых насосов $\eta_n = 80$ %. Тогда годовые затраты электрической энергии на циркуляцию теплоносителя рассчитываются по формуле, кВт·ч:

$$\Delta Q_n^r = \frac{0,278 \Delta p V}{\eta_n} z_{о.п} \cdot 10^{-3}. \quad (7)$$

По уравнению (7) получаем затраты электроэнергии $\Delta Q_n^r = 49330$ кВт·ч.

Годовые денежные затраты при существующей отопительной системе определим по формуле, руб./год:

$$З_1 = \left(\frac{\Delta Q_o^r + \Delta Q_{т.с}^r}{Q_p^H \eta_{ка}} \right) T_r + \Delta Q_n^r T_э, \quad (8)$$

где Q_p^H – низшая теплота сгорания природного газа, $7,2 \cdot 10^3$ Гкал/м³; $\eta_{ка}$ – коэффициент полезного действия, 91 % для КВГ-4.65-150; T_r – тариф на природный газ, руб./м³; $T_э$ – тариф на электрическую энергию, руб./(кВт·ч).

Для города Вологды на IV квартал 2018 года тариф на природный газ составляет 5422 руб. за 1000 м³, на электрическую энергию – 4,44 руб./(кВт·ч). Таким образом, годовые денежные затраты на отопление теплицы при существующей системе отопления по (8) будут равны $З_1 = 1051731$ руб./год.

Годовые денежные затраты при реализации лучистой системы отопления, работающей на полную мощность, можно вычислить по формуле, руб./год:

$$З_2 = N_n \cdot n \cdot z_{о.п} \cdot T_э, \quad (9)$$

где N_n – потребляемая электрическая мощность одним инфракрасным прибором, 3 кВт; n – количество установленных единиц, по результатам расчета 33.

Годовые денежные затраты на лучистый обогрев теплицы по (9) составят $З_2 = 1199871$ руб./год.

Экономический эффект от внедрения энергоэффективных технологий в виде системы лучистого отопления в теплице находится через выражение, руб./год:

$$\mathcal{E} = З_1 - З_2. \quad (10)$$

Срок окупаемости. Согласно (10) мероприятие по внедрению электрических инфракрасных излучателей является нецелесообразным, так как дополнительные денежные затраты на их обслуживание составят 148140 руб./год. Это связано с доминированием стоимости единицы теплоты, производимой электрическим обогревателем 5170 руб./Гкал, над денежными затратами при использовании газообразного вида топлива

985 руб./Гкал с учетом снижения расхода условного топлива до $\Delta B = 132,9$ т.у.т/год (88,7 % от первоначального значения). Как следствие, электрическое лучистое отопление при производстве 1 Гкал обойдется дороже конвективного воздушно-водяного более чем в 5 раза. Поэтому сейчас локальное лучистое отопление, как правило, используют в качестве дополнительного обогрева при пиковых отопительных нагрузках [12].

Выводы. По результатам расчетов применение инфракрасных излучателей для отопления агроклиматических систем закрытого типа (теплиц, оранжерей, «зимних садов») может приносить доход при определенных количественно-качественных условиях [13]. Экономического эффекта можно добиться либо путем снижения потребляемой мощности инфракрасного излучателя (это возможно реализовать при установке регулятора температуры, например, излучателя марки Эколайн ЭЛТР16) с 3 кВт до 1 кВт, либо благодаря сокращению количества инфракрасных излучателей с 33 до 10 единиц. Первая альтернатива номинальной работы излучателей является предпочтительней. Кроме того, возможен комбинированный вариант. Однако, в любом случае лучистое отопление с указанными выше параметрами функционирования невозможно в качестве единственного источника теплоты, так как это негативно отразится на тепловом режиме сельскохозяйственного объекта и на эффективности его работы.

Подводя итог, отметим, что лучистое отопление с использованием газовых инфракрасных излучателей является максимально выгодным с экономической точки зрения способом обогрева теплицы. Годовые удельные денежные затраты на энергообеспечение теплицы в 4 раза меньше, чем при традиционном (воздушно-водяном) отоплении. Электрическое инфракрасное отопление теплицы инфракрасными излучателями является максимально дорогостоящим вариантом обогрева теплицы (дороже газового более чем в 6 раз, и дороже традиционного в 1,4 раза).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. СП 60.13330.2016. Свод правил. Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха: актуализированная редакция СНиП 41-01-2003: утв. Министерством строительства и жилищно-

коммунального хозяйства Российской Федерации от 16.12.2016 № 968/пр. Введ. 17.06.2017. М.: ФГУП «Стандартинформ», 2016. 104 с.

2. СТО НП АВОК 4.1.5-2006. Стандарт организации. Системы отопления и обогрева с газовыми инфракрасными излучателями: утв. приказом Президента НП «АВОК». Введ. 30.11.2006. М.: АВОК-ПРЕСС, 2007. 12 с.

3. Миссенар Ф.А. Лучистое отопление и охлаждение: пер. с франц. М.: Государственное издательство литературы по строительству, архитектуре и строительным материалам, 1961. 320 с.

4. Мачкаши А., Банхиди Л. Лучистое отопление: пер. с венг. М.: Стройиздат, 1985. 464 с.

5. СП 131.13330.2012. Свод правил. Строительная климатология: актуализированная редакция СНиП 23-02-99*: утв. Минрегионом России от 30.06.2012 № 275. Введ. 01.01.2013. М.: ФАУ «ФЦС», 2015. 120 с.

6. Манюк В.И., Каплинский Я.И., Хиж Э.Б., Манюк А.И., Ильин В.К. Наладка и эксплуатация водяных тепловых сетей: справочник. 4-е изд. М.: Либроком, 2009. 432 с.

7. Тихомиров А.К. Теплоснабжение района города: учеб. пособие. Хабаровск: Изд-во Тихоокеанского государственного ун-та, 2006. 135 с.

8. Еремкин А.И., Королева Т.И. Тепловой режим зданий: учеб. пособие для вузов. Ростов н/Д: Феникс, 2008. 363 с.

9. Свистунов В.М., Пушняков Н.К. Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха объектов агропромышленного комплекса и жилищно-коммунального хозяйства: учебник для вузов. СПб.: Политехника, 2008. 428 с.

10. Сканави А.Н., Махов Л.М. Отопление: учеб. для вузов. М.: АСВ, 2002. 576 с.

11. Методика определения фактических потерь тепловой энергии через тепловую изоляцию трубопроводов водяных тепловых сетей систем централизованного теплоснабжения / сост. А.А. Тищенко, А.П. Щербаков; под ред. В.Г. Семенова. М.: Изд-во НЦ ЭНАС, 2004. 34 с.

12. Taylor T.M. Secrets to a successful greenhouse business // Mother Earth News. 1992. No. 135. Pp. 38–45.

13. Kavga A., Konstas I., Panidis T. Assessment of infrared heating benefits in a production greenhouse // Applied Engineering in Agriculture. 2015. Vol. 31 (1). Pp. 143–151.

Информация об авторах

Карпов Денис Федорович, старший преподаватель кафедры теплогоснабжение и вентиляция. E-mail: karpov_denis_85@mail.ru. Вологодский государственный университет. Россия, 160000, Вологда, ул. Ленина, д. 15, каб. 111.

Синицын Антон Александрович, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры теплогазоснабжения и вентиляция. E-mail: nee-energo@yandex.ru. Вологодский государственный университет. Россия, 160000, Вологда, ул. Ленина, д. 15, каб. 111.

Поступила в декабре 2018 г.

© Карпов Д.Ф., Синицын А.А., 2019

^{1,*}**Karpov D.F., ¹Sinitsyn A.A.**

¹Vologda State University

Russia, 160000, Vologda, Lenin St., 15, office 111

*E-mail: karpov_denis_85@mail.ru

TECHNO-ECONOMIC ASSESMENT OF RADIANT HEATING EFFECTIVENESS IN GREENHOUSES

Abstract. The problem of techno-economic and energy efficiency of radiant heating in closed agro-climatic systems is considered on the example of industrial greenhouse. The radiant heating and conventional heating systems for premises are compared. The techno-economic calculation of expediency to transfer the industrial greenhouse from convective air-water heating to radiant heating for the city of Vologda is presented. The techno-economic calculation is performed in three stages: calculation of general costs (by enlarged indicators) for the introduction of radiant heating systems and finding its economic impact; determination of pay-back period. An assessment of the energy saving potential is made. The annual overrun of non-renewable fuel resources with the existing method of heating is determined. The presented calculations are based on the country's current regulatory documents.

Keywords: techno-economic assessment, radiant heating, infrared emitter, agro-climatic system, greenhouse, general costs, economic impact.

REFERENCES

1. . SR 60.13330.2016. Set of rules. Heating, ventilation and air conditioning: the updated edition of SNiP 41-01-2003: approved by the Ministry of construction and housing utilities of the Russian Federation dated 16.12.2016 No. 968/Ave Entered 17.06.2017. M.: Federal state unitary enterprise "STANDARTINFORM", 2016, 104 p.
2. SO NPP AVOK 4.1.5-2006. Standard of organization. Heating and heating systems with gas infrared emitters: approved by the order of the President non-profit partnership "AVOK". Introduced 30.11.2006. M.: AVOK-PRESS, 2007, 12 p.
3. Misener F.A. Radiant heating and cooling: translated from the French. M.: State publishing house of literature on construction, architecture and building materials, 1961, 320 p.
4. Machkashi A., Banhidi L. Radiant heating: translation from Hungarian M.: Stroyizdat. 1985, 464 p.
5. SR 131.13330.2012. Set of rules. Construction climatology: updated version of BC 23-02-99*: approved by the Ministry of regional development of Russia from 30.06.2012 No 275. Introduced 01.01.2013. M.: FAI "FCRSTCAC". 2015, 120 p.
6. Manyuk V.I., Kaplinsky I.Y., Hizh E.B., Manyuk A.I., Ilyin V.K. Commissioning and operation of the water heating systems: handbook. 4 edition. M.: Librokom, 2009, 432 p.
7. Tikhomirov A.K. Heat supply of the city district: textbook. Khabarovsk: Publishing house of Pacific state University. 2006, 135 p.
8. Eremkin A.I., Koroleva T.I. Thermal regime of buildings: textbook for universities. Rostov-on-Don: Phoenix, 2008, 363 p.
9. Svistunov V.M., Pushnyakov N.K. Heating, ventilation and air conditioning of objects of agro-industrial complex and housing and communal services: textbook for universities. SPb.: Polytechnic. 2008, 428 p.
10. Skanavi A.N., Mahov L.M. Heating: textbook for universities. M.: ACU, 2002, 576 p.
11. Method of determination of actual losses of thermal energy through thermal insulation of pipelines of water heating networks of district heating systems. The composition of the A.A. Tishchenko, A.P. Shcherbakov; under the editorship of V.G. Semenov. M.: Publishing house of Scientific Center of ENAS, 2004, 34 p.
12. Taylor T.M. Secrets to a successful greenhouse business. Mother Earth News, 1992, no. 135, Pp. 38–45.
13. Kavga A., Konstas I., Panidis T. Assessment of infrared heating benefits in a production greenhouse. Applied Engineering in Agriculture, 2015, vol. 31 (1), pp. 143–151.

Information about the authors

Karpov, Denis F. Senior lecturer of the department heat and gas supply and ventilation.
E-mail: karpov_denis_85@mail.ru. Vologda State University. Russia, 160000, Vologda, Lenin St., 15, office 111.

Sinitsyn, Anton A. PhD, Assistant professor, Assistant professor of the department heat and gas supply and ventilation.
E-mail: nee-energo@yandex.ru. Vologda State University. Russia, 160000, Vologda, Lenin St., 15, office 111.

Received in December 2018

Для цитирования:

Карпов Д.Ф., Сеницын А.А. Техничко-экономическая оценка эффективности применения лучистого отопления в теплицах // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2019. №1. С. 73–80.
DOI: 10.12737/article_5c50621316e4b5.61522261

For citation:

Karpov D.F., Sinitsyn A.A. Techno-economic assesment of radiant heating effectiveness in greenhouses.
Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov, 2019, no. 1, pp. 73–80.
DOI: 10.12737/article_5c50621316e4b5.61522261

DOI: 10.12737/article_5c506219593bc6.63842166

^{1,*}Шаптала В.Г., ¹Горлов А.С., ²Северин Н.Н., ¹Радюцкий В.Ю., ¹Шаптала В.В.,
²Гусев Ю.М.¹Белгородский государственный техн ологический университет им. В.Г. Шухова
Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, 46²Белгородский юридический институт им. И.Д. Путилина
Россия, 308012, Белгород, ул. Горького, д. 31.

*E-mail: shapvlad7@yandex.ru

ВОПРОСЫ КОМПЛЕКСНОГО ОБЕСПЫЛИВАНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПОМЕЩЕНИЙ ПРЕДПРИЯТИЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Аннотация. При производстве строительных материалов широко применяется механическая обработка сыпучих материалов, которая сопровождается интенсивным пылеобразованием. Запыленность воздушной среды приводит к профессиональным заболеваниям, потерям готовой продукции, большому экологическому, социально-экономическому ущербу. Радикальным способом борьбы с пылью был бы переход на безотходные замкнутые производственные циклы. Однако внедрение безопасных технологий требует огромных капиталовложений, поэтому еще длительное время технологические мероприятия по снижению пылевых выделений будут дополняться устройством обеспыливающей вентиляции и пыле-газоочистки. Для успешной борьбы с пылью необходимо комплексное использование аспирации, вакуумной пылеуборки поверхностей и общеобменной вентиляции. Работа аспирации и ЦПУ отличается высоким энергопотреблением. Поэтому актуальной является задача определения их оптимальных параметров минимизирующих энергозатраты. Параметрической оптимизации комплексных систем обеспыливания должна предшествовать их структурная оптимизация. В качестве основы для ее проведения используется балансовая модель обеспыливания производственного помещения.

Ключевые слова: обеспыливающая вентиляция, аспирация, вакуумная пылеуборка поверхностей, комплексная система обеспыливания.

Введение: Концепция перехода к устойчивому развитию, одно из основных направлений перехода к устойчивому развитию которой – это разработка и внедрение высокоэффективных автоматизированных технологии производства и научно обоснованных способов получения новых материалов была принята в России в 1996 г.

Сыпучие материалы в виде сырья, полуфабрикатов или готовой продукции широко используются при производстве строительных материалов. Механическая обработка этих материалов (измельчение, грохочение, помол, перегрузки, транспортирование) [1, 3] сопровождается интенсивным пылеобразованием. Выделяемая при этом пыль загрязняет воздушную среду производственных помещений, промышленных площадок, атмосферу и сопредельные среды на прилегающих территориях. Пылевые выделения приводят к профессиональным заболеваниям, потерям ценного сырья и готовой продукции. Радикальным способом борьбы с пылью является переход на безотходные, замкнутые производственные циклы. Однако внедрение безопасных технологий требует огромных инвестиций и вряд ли осуществимо в обозримом будущем. Поэтому еще длительное время технологические мероприятия по снижению пылевых выделений будут дополняться

устройством обеспыливающей вентиляции и пылегазоочистки [4, 5].

Многие из применяемых в настоящее время систем обеспыливающей вентиляции по своей эффективности и энергопотреблению не отвечают современным требованиям и нуждаются в замене или в коренной реконструкции [7]. В связи с этим остро стоит вопрос оптимизации известных способов борьбы с пылью, а также разработки новых технологий обеспыливания.

В производственных помещениях, в которых ведется переработка сыпучих материалов, основной вредностью является пыль. Несмотря на совершенствование технологии производства, герметизацию оборудования и другие организационно-технические мероприятия по снижению пылевых выделений основным средством борьбы с пылью остается местная вытяжная вентиляция [6] и аспирация технологического оборудования. Которая в ряде случаев выполняет не только санитарно-гигиеническую, но и важную технологическую функцию, создавая благоприятные условия протекания технологических процессов [8, 9]. Однако, как показывает практика с помощью одной лишь местной вытяжной вентиляции обеспечить в рабочих зонах необходимые санитарно-гигиенические условия не удастся [4, 5]. Это связано с тем, что в ряде случаев применение

местной вытяжной вентиляции затрудняется большой протяженностью пылеисточников и технологическими причинами. В частности, не может быть аспирировано вторичное пыление, связанное со взметыванием пыли, осевшей на пол и поверхности оборудования. Вторичное пыление может быть устранено с помощью централизованной вакуумной системы пылеуборки поверхностей (ЦПУ). Воздух, удаляемый из помещений системами аспирации и ЦПУ должен компенсироваться специально организованным притоком свежего воздуха. Кроме того, определенное количество приточного воздуха требуется для разбавления пыли и других вредностей, не удаленных системами аспирации и ЦПУ. Таким образом для успешной борьбы с пылью необходимо использование аспирации, пылеуборки поверхностей и общеобменной вентиляции. Однако одного лишь простого совмещения различных средств и способов борьбы с пылью недостаточно. Больше того в ряде случаев совместное использование различных систем может привести к ухудшению пылевой обстановки. Поэтому необходимо не просто совместное, а комплексное использование всех имеющихся средств обеспыливания, при которых все системы работают в тесном взаимодействии, являясь элементами единой комплексной системы обеспыливания производственной воздушной среды, которая включает в себя не только помещения, но и промышленные площадки. Это связано с тем, что, хотя запыленность отработанного вентиляционного воздуха существенно ниже технологических выбросов, он часто поступает в атмосферу без надлежащей очистки. Вместе с тем объемы вентиляционных выбросов особенно в теплый период года бывают столь велики, что валовые количества выносимой с ними пыли могут быть сравнимы с технологическими выбросами. И т.к. вентиляционный воздух обычно выбрасывается низко, над кровлями промышленных зданий, то наряду с пылением открыто установленного оборудования и поверхностным пылением технологического транспорта вентиляционные выбросы существенно влияют на загрязнение приземного слоя воздуха на промышленных площадках. А так как приточный вентиляционный воздух как правило не очищается, то пылевое состояние промышленных площадок заметно влияет на качество воздушной среды самих помещений. Отсюда следует, что проблема обеспыливания производственной воздушной среды включает в себя задачу очистки запыленных аспирационных выбросов. Эта задача также должна решаться на основе комплексного подхода т.к. требуемую степень очистки аспирируемого воздуха можно до-

стичь лишь путем рационально сочетания пылеуловителей различного типа или же комбинирования различных механизмов осаждения пыли в одном аппарате.

В общем случае комплексная система обеспыливания производственной воздушной среды включает в себя следующие подсистемы:

1. Местную вытяжную вентиляцию;
2. Централизованную вакуумную пылеуборку поверхностей;
3. Общеобменную вентиляцию производственных помещений;
4. Пылеуловители для очистки выбросов местных отсосов и ЦПУ;
5. Устройства для выброса и рассеивания отработанного вентиляционного воздуха;
6. Мероприятия, направленные на снижение пылевыведения в помещении;
7. Мероприятия, направленные на снижение пылевыведения на промышленных площадках (хранилища, автодороги и т. д.).

В более узком понимании комплексные системы обеспыливания охватывают только помещения и включают в себя лишь первые три подсистемы.

Параметрической оптимизации комплексных систем обеспыливания должна предшествовать их структурная оптимизация. Для определения оптимальной структуры обеспыливающих систем может быть использован метод экспертных оценок. В качестве основы для проведения таких оценок используются балансовые модели обеспыливания производственного помещения в целом или его отдельных зон [12].

Предположим, что в производственном помещении находятся n локализованных пылеисточников примерно одинаковой интенсивности G_n , из которых m источников ($m \leq n$) аспирированы с эффективностью $\eta_a < 1$, которая зависит от типа укрытия, его конструкции и расхода отсасываемого воздуха. Принципиальная невозможность полного улавливания пыли местными отсосами связана с турбулентной диффузией частиц пыли навстречу потокам всасываемого воздуха [10, 11]. В цехе установлена также централизованная система вакуумной пылеуборки поверхностей (ЦПУ), эффективность которой η_{ny} учитывает степень охвата запыленных поверхностей, конструкцию пылеуборочных насадков, периодичность уборки и т.д. Далее величины η_a , η_{ny} будем считать постоянными и равными некоторым усредненным значениям. Применение аспирации и ЦПУ приводит к существенному снижению интенсивности сосредоточенного G_c и поверхностного G_n пыления:

$$\begin{aligned} G_c &= nG_a(1 - p_a\eta_a), \\ G_n &= Sg_s(1 - \eta_{ny}), \end{aligned} \quad (1)$$

где $p_a = m/n$ – доля аспирированных пылеисточников, S – площадь поверхности осаждения пыли, g_s – плотность интенсивности поверхностного пыления, мг/м²с. Взвешенная в воздухе пыль, не уловленная местными вытяжками и ЦПУ, разбавляется до предельно-допустимой

$$\begin{aligned} nG_a(1 - p_a\eta_a) + Sg_s(1 - \eta_{ny}) + L_n C_n &= L_a C + C S V_s, \\ L_n &= L_a + m L_a. \end{aligned} \quad (2)$$

Здесь L_a – производительность местного отсоса от одного источника выделения пыли, C – усредненная концентрация пыли в помещении, C_n – концентрация пыли в приточном воздухе.

$$\tilde{C} = \frac{nG_a}{C_{\text{н\ddot{o}}k} L_a} \cdot \frac{1 - p_a\eta_a + \tilde{G}_s(1 - \eta_{ny}) + \tilde{L}_n \frac{C_n L_a}{nG_a}}{\tilde{L}_n - m\tilde{L}_a + \frac{S V_s}{L_a}}, \quad (3)$$

где $L_a = \frac{nG_a + Sg_s - S V_s C_{\text{н\ddot{o}}k}}{C_{\text{н\ddot{o}}k} - C_n}$ – производительность

общеобменной вентиляции необходимая для поддержания предельно-допустимой концентрации пыли при отсутствии аспирации и ЦПУ, $\tilde{C} = C/C_{\text{н\ddot{o}}k}$, $\tilde{L}_n = L_n/L_a$, $\tilde{L}_a = L_a/L_a$, $\tilde{G}_s = Sg_s/(nG_a)$. Соотношение (2) позволяет исследовать влияние каждой из трех подсистем КСО (аспирации, ЦПУ и общеобменной вентиляции) на пылевую обстановку в помещении

Вывод. Прибегая к помощи синергетического подхода к процессу гидратации и использования термодинамического метода выявляется возможность управления структурообразованием твердеющих систем и направлением его протекания. Так же данный подход разрешает собой проводить анализ состояния основных структурных элементов открытой метастабильной системы твердеющего многокомпонентного бетона. Выявить показатели полноты процессов в неравновесной системе с фиксацией нового состояния – от вязко-текучего до камневидного, т.е. переход к новому аттрактору. Эти определения четко поясняют механизм процесса гидратации и согласуются с положениями синергетики. Объектом дальнейших исследований представляется вычисление роли каждого компонента многокомпонентной высокопрочной твердеющей системы на основе значений их термодинамических параметров с учетом синергетических представлений.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Богданов В.С., Несмеянов Н.П., Пироцкий В.З., Морозов А.И. Механическое оборудо-

вание предприятий промышленности строительных материалов. Белгород: Изд-во БелГТАСМ, 1998. 179 с.

Из уравнений (2) вытекает следующее соотношение для безразмерной концентрации пыли:

вание предприятий промышленности строительных материалов. Белгород: Изд-во БелГТАСМ, 1998. 179 с.

2. Богданов В.С., Ильин А.С., Семикопенко И.А.. Процессы в производстве строительных материалов и изделий. Белгород: Везелица, 2007. 512 с.

3. Горлов А.С., Севостьянов В.С., Михайличенко С.А., Перельгин Д.Н. Многофункциональные технологические комплексы для переработки природных техногенных материалов // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2003. №6. С. 370–375.

4. Минко В.А. Обеспыливание технологических процессов производства строительных материалов. Воронеж: Изд-во ВГУ, 1981. 176 с.

5. Минко В.А., Логачев И.Н., Логачев К.И. и др. Обеспыливающая вентиляция. Монография. Под общей редакцией В.А. Минко. Белгород: Изд-во БГТУ, 2010. 565 с.

6. Логачев И.Н., Логачев К.И. Аэродинамика вентиляции. СПб.: Химиздат, 2005. 659 с.

7. Логачев И.Н., Логачев К.И., Аверкова О.А. Энергосбережение в аспирации. М.: Ижевск. НИЦ Регулярная и хаотическая динамика, 2013. 569 с.

8. Богданов В.С., Шаптала В.Г., Бажанова О.И. Технологическая аспирация цементных мельниц // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2012. №3. С. 95–98.

9. Бажанова О.И. Технологическая аспирация трубных шаровых мельниц. Дис. канд. техн. наук. Белгород, 2013. 204 с.

10. Посохин В.Н. Расчет местных отсосов от тепло- и газовыделяющего оборудования. М.: Машиностроение, 1984. 160 с.

11. Эльтерман В.М. Вентиляция химических производств. М.: Химия, 1980. 288 с.

12. Шаптала В.Г. Математическое моделирование систем обеспыливания промышленных

объектов с учетом явлений переноса в гетерогенных средах. Дис. д-ра техн. наук. Воронеж, 2003. 367 с.

Поступила в августе 2018 г.

© Шаптала В. Г., Горлов А.С., Северин Н.Н., Радоуцкий В.Ю., Шаптала В.В., Гусев Ю.М., 2019

Информация об авторах

Шаптала Владимир Григорьевич, доктор технических наук, профессор кафедры высшей математики. E-mail: shapvlad7@yandex.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Горлов Александр Семенович, кандидат технических наук, доцент кафедры высшей математики. E-mail: belgoras@mail.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Северин Николай Николаевич, доктор педагогических наук, профессор кафедры огневой подготовки. E-mail: belui@mvd.ru. Белгородский юридический институт им. И.Д. Путилина. Россия, 308012, Белгород, ул. Горького, д. 31.

Радоуцкий Владимир Юрьевич, кандидат технических наук, профессор кафедры защиты в чрезвычайных ситуациях. E-mail: zchs@intbel.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Шаптала Вадим Владимирович, кандидат технических наук, доцент кафедры информационных технологий. E-mail: shaptalavadim@yandex.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Гусев Юрий Михайлович, аспирант, зам. нач. кафедры огневой подготовки. E-mail: belui@mvd.ru. Белгородский юридический институт им. И.Д. Путилина. Россия, 308012, Белгород, ул. Горького, д. 31.

^{1,*}Shaptala V.G., ¹Gorlov A.S., ²Severin N.N., ¹Radautsky V.Yu., ¹Shaptala V.V., ²Gusev Yu.M.

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

²Belgorod Law Institute of the Ministry of internal Affairs of the Russian Federation named after I.D. Putilin
Russia, 308012, Belgorod, st. Gor'kogo, 31

*E-mail: shapvlad7@yandex.ru

QUESTIONS OF COMPLEX DEPOSITION OF INDUSTRIAL PREMISES OF ENTERPRISES OF INDUSTRY OF BUILDING MATERIALS

Abstract. In the production of building materials, mechanical processing of bulk materials is widely used, which is accompanied by intense dust formation. Dustiness of the air environment leads to occupational diseases, loss of finished products, great environmental, socio-economic damage. A radical way to fight dust would be to switch to non-waste closed production cycles. However, the introduction of safe technologies requires huge investments, so for a long time, technological measures to reduce dust emissions will be supplemented with a dust-free ventilation and dust-gas cleaning device. To successfully combat dust, complex use of aspiration, vacuum dust collection of surfaces and general exchange ventilation is necessary. The work of aspiration and CPU is characterized by high energy consumption. Therefore, the actual task is to determine their optimal parameters to minimize energy costs. Parametric optimization of complex systems of dedusting should be preceded by their structural optimization. As a basis for its implementation, a balance model of dust removal of the production premises is used.

Keywords: dedusting ventilation, aspiration, vacuum dust collection of surfaces, complex dust removal system.

REFERENCES

1. Bogdanov V.S., Nesmeyanov N.P., Pirotsky V.Z., Morozov A.I. Mechanical equipment of the

enterprises of the industry of construction materials. Belgorod: Publishing house of BELGTASM. 1998, 179 p.

2. Bogdanov V.S., Ilyin A.S., Semikopenko I.A.. Processes in production of construction materials and products. Belgorod: Vezelitsa. 2007, 512 p.
3. Gorlov A.S., Sevostyanov V.S., Mykhaylychenko S.A., Pereygin D.N. Mnogofunktsionalnye technological complexes for processing of natural technogenic materials. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov, 2003, no. 6, pp. 370–375.
4. Minko V.A. Dust removal of technological processes of production of construction materials. Voronezh: VSU publishing house, 1981, 176 p.
5. Minko V.A., Logachev I.N., Logachev K.I., etc. The removing dust ventilation. Monograph. Under the general edition of V.A. Minko. Belgorod: BGTU publishing house, 2010, 565 p.
6. Logachev I.N., Logachev K.I. Ventilation aerodynamics. SPb.: Himizdat. 2005, 659 p.
7. Logachev I.N., Logachev K.I., Averkova O.A. Energy saving in aspiration. M.: Izhevsk. Research Center Regul'yarnaya and chaotic dynamics, 2013, 569 p.
8. Bogdanov V.S., Shaptala V.G., Bazhanova O.I. Technological aspiration of cement mills. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov, 2012, no. 3, pp. 95–98.
9. Bazhanova O.I. Technological aspiration of pipe spherical mills. Yew. Cand.Tech.Sci. Belgorod, 2013, 204 p.
10. Posokhin V.N. Calculation of local suction from the warm and gas-yielding equipment. M.: Mechanical engineering, 1984, 160 p.
11. Elterman V.M. Ventilation of chemical productions. M.: Himiya, 1980, 288 p.
12. Shaptala V.G. Mathematical modeling of systems of dust removal of industrial facilities taking into account the transfer phenomena in heterogeneous environments. Yew. Dr.Sci.Tech. Voronezh, 2003, 367 p.

Information about the authors

Shaptala, Vladimir G. DSc, Professor. E-mail: shapvlad7@yandex.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Gorlov, Alexander S. PhD, Assistant professor. E-mail: belgoras@mail.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Shaptala, Vadim V. PhD, Assistant professor. E-mail: shaptalavadim@yandex.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Severin, Nikolay N. DSc, Professor. E-mail: belui@mvd.ru. Belgorod law Institute of the Ministry of internal Affairs of the Russian Federation named after I. D. Putilin. Russia, 308012, Belgorod, st. Gor'kogo, 31.

Radautsky, Vladimir Yu. PhD, Professor. E-mail: zchs@intbel.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Gusev, Yuri M. Postgraduate student. E-mail: belui@mvd.ru. Belgorod law Institute of the Ministry of internal Affairs of the Russian Federation named after I. D. Putilin. Russia, 308012, Belgorod, st. Gor'kogo, 31.

Received in August 2018

Для цитирования:

Шаптала В. Г., Горлов А.С., Северин Н.Н., Радоуцкий В.Ю., Шаптала В.В., Гусев Ю.М. Вопросы комплексного обеспыливания производственных помещений предприятий промышленности строительных материалов // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2019. №1. С. 81–85. DOI: 10.12737/article_5c506219593bc6.63842166

For citation:

Shaptala V.G., Gorlov A.S., Severin N.N., Radautsky V.Yu., Shaptala V.V., Gusev Yu.M. Questions of complex deposition of industrial premises of enterprises of industry of building materials. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov, 2019, no. 1, pp. 81–85. DOI: 10.12737/article_5c506219593bc6.63842166

DOI: 10.12737/article_5c5062211a3dd9.52830943

¹Ильвицкая С.В., ²*Михайлова И.В.¹Государственный университет по землеустройству

Россия, 105064, г. Москва, ул. Казакова, д. 15

²Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет

Россия, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26

*E-mail: IraMihailova2007@ya.ru

ОПЫТ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЗАРУБЕЖНЫХ ДОШКОЛЬНЫХ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ УЧРЕЖДЕНИЙ: ПРИЁМЫ ФОРМИРОВАНИЯ АРХИТЕКТУРНО-ПЛАНИРОВОЧНОЙ СТРУКТУРЫ

Аннотация. В данной статье поднимается тема поиска новых подходов проектирования детских садов на примере современных зарубежных зданий дошкольных образовательных учреждений. Построение архитектурно-планировочной структуры рассматривается в рамках трёх приёмов: на основе структурированных и неструктурированных элементов, выстраивания в модульный ассоциативный ряд. Описываются: детский центр (Таулов, Дания, 2009), детский сад Сан-Хуан (Янчжун, Китай, 2017), школа Бреде Аарл-Рикстеля (Ларбек, Нидерланды, 2016), детский сад Фредериксвей (Фредериксберг, Дания, 2015), общественный детский сад (Глифада, Греция, 2017), детский сад (Сайтама, Япония, 2016), детский сад, связанный с Восточно-Китайским педагогическим университетом (Аньтин, Китай, 2015), детский сад Тимаюей (Санта-Марта, Колумбия, 2011), детский сад Сан-Антонио де Прадо (Медельин, Колумбия, 2011). Также затрагивается тема возведения дошкольных образовательных учреждений блочным методом строительства: из монтируемых объемных унифицированных элементов и грузовых контейнеров.

Ключевые слова: дошкольные образовательные учреждения, детские сады, архитектурно-планировочная структура, координационная сетка, модульное строительство, блочное строительство.

В условиях современного мира актуальным становится поиск новых подходов проектирования дошкольных образовательных учреждений (ДОУ) в связи с повышением информатизации общества, технологическим прогрессом, пересмотром современных требований программы образовательного процесса. Совершенствование ДОУ, расширение номенклатуры типов, повышение комфорта зданий имеет большое значение для правильной организации жизни и воспитания детей в дошкольном возрасте [17, стр. 3-4].

Для изучения темы исследования важно рассмотреть зарубежный опыт проектирования. Ламехова Н.В. в своей работе подчеркивает свидетельство о глубоком изучении проблемы зарубежных архитекторов по направлению поиска подходов формирования новой архитектурной среды для подрастающего поколения [10, 12, стр. 26]. Выделение устоявшихся и поиск новых приёмов формирования архитектурно-планировочной структуры ДОУ диктуется необходимостью разнообразия архитектурной среды, значимостью её влияния на эмоциональное и поведенческое восприятие в условиях динамичного преобразования окружающего мира [11].

В ходе исследования темы были рассмотрены ДОУ стран Америки, Европы и Азии. В статье представлены характерные примеры современных зданий детских садов Дании, Греции, Нидерландов, Китая, Японии и Колумбии.

Так, построение архитектурно-планировочной системы зарубежных ДОУ можно рассмотреть в рамках трёх приёмов:

- 1) на основе структурированных элементов;
- 2) на основе неструктурированных элементов;
- 3) на основе выстраивания в ассоциативный ряд модульных элементов.

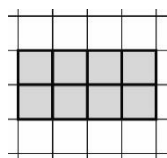
1. Приём *структурированных элементов* – характеризуется тем, что элементы архитектурно-планировочной системы формируются на основе координационной сетки, множество сетчатых узлов которой является упорядоченным. Она рассчитывается на основе заданного алгоритма и модульных размеров. Данный приём помогает спроектировать здание ДОУ компактной формы, в условиях тесной застройки и ограниченной местности. Выделяется два способа компоновки структурированных элементов в плане: регулярный и нерегулярный. Рассмотрим оба варианта.

1.1. Регулярная компоновка структурированных элементов – характеризуется тем, что элементы архитектурно-планировочной системы выстраиваются согласно модульной координационной сетки и сохраняют заданную сформированную позицию в созданной структуре. Примером может служить детский центр в посёлке Таулове (рис. 1), который спроектирован на основе шестиугольной сетки [8, 9]. Геометрическая си-

стема формирует образ ромашки, в четырёх «лепестках» которой размещено по два игровых помещения, в пятом находится администрация. Отсутствие одного «лепестка» диктуется организацией центрального входа и необходимостью естественного освещения холла. Также предусмотрены дополнительные игровые комнаты для каждой группы в составе четырёх блок-спутников, соответственно шестиугольной формы. Здание спроектировано высотой в один этаж. Фасады приобрели разнообразную палитру, где каждый блок имеет свой цвет, а «спутники» решены нейтрально – серыми.

Ещё одним примером выступает детский сад Сан-Хуан в городе Янчжуне (рис. 2), в основе архитектурно-планировочного решения которого лежит также сотовая структура [4]. Но в данном случае каждая ячейка группирует в себе отдель-

ный блок со своим функциональным наполнением. Детский сад спроектирован в виде трёх гексагональных блоков с внутренними дворами для трехступенчатой системы обучения. Пять сторон каждого шестиугольника вмещает 5 классов, шестая сторона служит для общего пользования. Блоки расположены каскадно. Соответственно, по возрастающей, на первом, втором и третьем этажах расположены игровые комнаты с целью максимальной инсоляции помещений. На нижних этажах запроектированы пространства общего пользования, такие как: библиотека, универсальный зал, классы рисования и музыки, административная часть. Кровли блоков являются эксплуатируемыми и, благодаря ступенчатой форме здания, имеют прямой доступ из соседствующих помещений. Фасады решены на контрасте, каждый объем получил свой уникальный цвет.



РЕГУЛЯРНАЯ СТРУКТУРИРОВАННАЯ СЕТКА



Рис. 1. Детский центр, Таулов, Дания, 2009

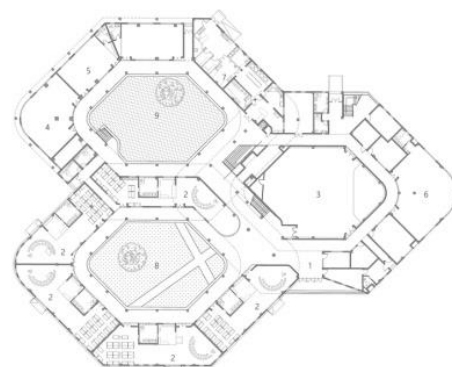


Рис. 2. Детский сад Сан-Хуан, Янчжун, Китай, 2017

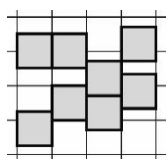
1.2. Нерегулярная компоновка структурированных элементов – характеризуется тем, что элементы архитектурно-планировочной системы формируются на основе модульной координационной сетки, кратно которой увеличиваются или уменьшаются в своей конфигурации; при этом не имеют чёткого положения в общей структуре и продиктовать их позицию заранее невозможно. Вершины сформированных структурированных элементов в плане местами могут не совпадать с

соседствующими. Так, школа Бреде Аарл-Рикс-теля в городе Ларбеке (рис. 3) формируется на основе структурного элемента в 50 м^2 [18]. Осевая разбивка кратна размеру $1,2 \times 1,2 \text{ м}$, таким образом самые крупные элементы составляют $7,2 \times 7,2 \text{ м}$. В них komponуются игровые помещения, классные комнаты и рекреации. Здание делится на три возрастные зоны с организованной центральной частью для общего пользования. Детский сад высотой в один и два этажа имеет скатную

кровлю с разными уклонами, за счет чего приобретает динамичный характер. Благодаря принятому кратному размеру конструкция кровли, вдоль всего здания, имеет один шаг. Образ детского сада считывается, как комплекс деревянных домиков разной высотности. Благодаря чему создаётся особая атмосфера пребывания в нём и не нарушается общая гармония окружающей среды.

Следующим характерным примером может служить детский сад «Фредериксвей» в городе Фредериксберге (рис. 4), так же спроектированный на основе единого модульного размера [6, 7]. Образовательная организация состоит из 11

идентичных, квадратных в плане, блокированных «домов», расположенных со сдвижкой относительно друг друга. Атриумные пространства, размещенные в двух из них, по обе стороны здания соединяют этажи и групповые комнаты. Набирая высоту в два и три этажа, со скатной кровлей, детский сад своим объемным решением адаптируется под экстерьерную среду. И здание как бы выступает «посредником» между городской застройкой, частным малоэтажным жильём и парковой зоной. Вокруг него расположено шесть дополнительных небольших домиков, использующихся для хранения инвентаря и игрушек. Проект является победителем конкурса 2011 года в Дании.



НЕРЕГУЛЯРНАЯ СТРУКТУРИРОВАННАЯ СЕТКА



Рис. 3. Школа Бреде Аарл-Рикстеля, Ларбек, Нидерланды, 2016

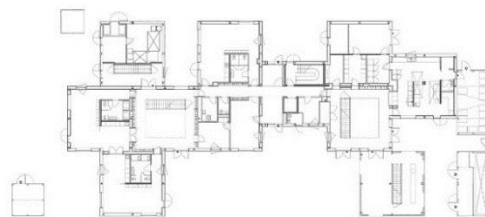


Рис. 4. Детский сад Фредериксвей, Фредериксберг, Дания, 2015

Отдельно, в рамках структурированного архитектурно-планировочного приёма, необходимо отметить блочный метод строительства. В его основе лежат модульные конструкции, которые обеспечивают такие преимущественные стороны, как мобильность здания и скорость возведения. В рамках данного метода рассмотрим проектирование на основе объемно-блочной конструктивной системы и возведения ДОУ при помощи контейнерного строительства.

1) *Объемно-блочная конструктивная система.* Предполагает возведение ДОУ из монтируемых объемных унифицированных элементов – блок-модулей заводского изготовления. Примером может служить общественный детский сад в городе Глифада (рис. 5) [14]. Проект несёт в себе концепцию небольшой деревни, где «дома» со-масштабны их обитателям. Строительство проводилось методом сборки предварительно изготов-

ленных основных модулей, которые доставлялись на площадку при помощи грузовых машин, а после на месте монтировались. Таким образом, блок-модуль, тиражируясь трижды, создавал одну игровую комнату. В итоге у проекта насчитывается 12 предварительно изготовленных блоков, которые составляют четыре детских помещения. Модули группируются вокруг внутреннего двора, доступ к которому осуществляется с каждой группы напрямую. Для разнообразия фасада применены деревянные каркасы, которые напоминают вычлененную часть берсо. Таким образом, из первоначально однотипных блоков создаётся динамичный образ всего детского сада.

2) *Контейнерное строительство.* Реализуется путём применения морских (грузовых) контейнером в качестве блок-модулей. Зачастую их направляют на строительство, после истечения срока эксплуатации по назначению. Контейнеры имеют стандартные размеры, соблюдающиеся во

всём мире, подобраны для максимального внутреннего пространства и транспортировки любым удобным крупногабаритным транспортом [13]. Так, метод строительства детского сада в городе Сайтама (рис. 6) был продиктован из рациональных соображений – использовались поддержанные б/у контейнеры и объект возведён в короткие сроки [16]. Комплекс детского сада состоит из четырёх сгруппированных зданий с организованным внутренним двором. На первом этаже располагаются игровые комнаты со вспомогательными

помещениями, на втором – администрация. За счет удобной сборки-разборки контейнеров ряд пространств имеют стандартную форму, другой увеличен путём компоновки нескольких блоков и удаления между ними перегородок. В иных случаях происходит разбивка на более малые зоны внутри одного блока. Здания конструктивно усилены по сейсмическим соображениям. Внутренние стены контейнеров обшиты деревом теплых тонов, обеспечивая удобную и уютную среду для детей.

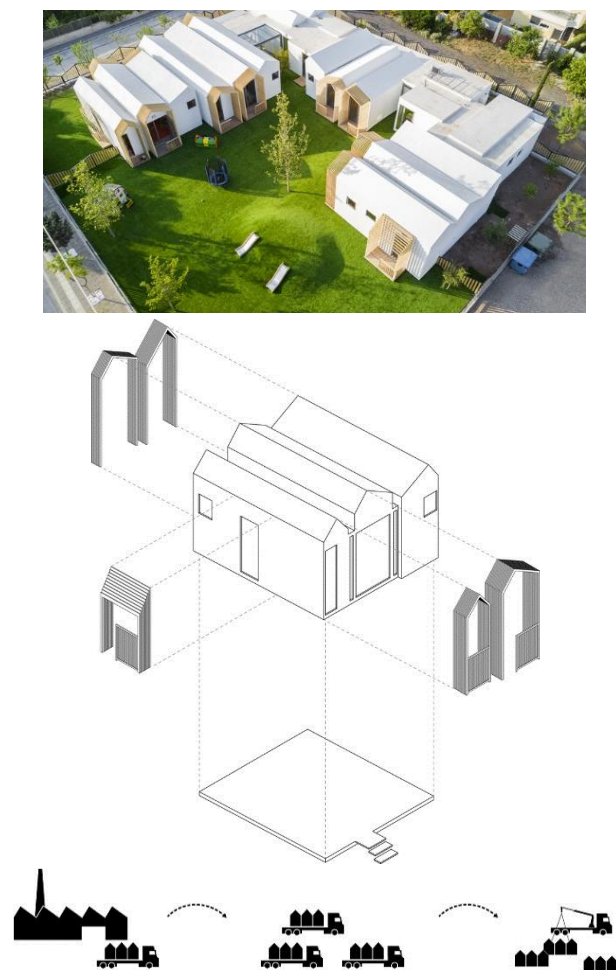


Рис. 5. Общественный детский сад, Глифада, Греция, 2017



Рис. 6. Детский сад, Сайтама, Япония, 2016

2. Приём *неструктурированных элементов* – характеризуется тем, что архитектурно-планировочная система формируется на основе неструктурированной координационной сетки, которая выстраивается из геометрических фигур одного типа, варьируясь в линейных размерах сторон в неравномерной форме. Является самым гибким типом сетки для сложных конфигураций [1, стр. 13]. Данный приём позволяет создать пластичную архитектурно-планировочную форму, нацелен на возведение неортогональных объемов, тем самым рождая новые эмоциональные

пространства ДОУ. Примером может служить детский сад, связанный с Восточно-китайским педагогическим университетом в городе Аньтине (рис. 7) [2]. Он построен на основе полиэдральной сетки в виде шестигранников. Все функциональные зоны выстроены в единой структуре с небольшой деформацией сторон в плане от изначальной фигуры. Часть помещений размещено в одной ячейке, часть – является составляющей. Проектом предусмотрен ряд малых внутренних пространств, которые фрагментарно встроены в неструктурированную сетку, и выделен основной

центр притяжения – большая игровая зона с благоустройством. Полиэдральная композиция создаёт динамичные внутренние и наружные пространства, при этом сохраняя концентрацию. Благодаря компактной шестигранной конфигурации помещения получают возможность инсолироваться как минимум по трём граням. Переходы между зонами осуществляются посредством зигзагообразных коридоров, которые то сливаются воедино, то приобретают разветвления. Объемно-пространственная композиция здания

имеет разноуровневую систему, что позволило организовать эксплуатируемые кровли нижних ярусов для соседствующих ячеек. Таким образом, увеличилась площадь игровых зон для детей. Фасады и интерьерные пространства решены в едином стиле. Стены окрашены в белый цвет, оконные импосты декорированы под дерево и контрастно выделяются в плоскости фасада. Террасы, переходы и лестницы ограждены деревянной обрешеткой, что также поддерживает единство архитектурного пространства.



НЕСТРУКТУРИРОВАННАЯ СЕТКА



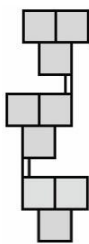
Рис. 7. Детский сад, связанный с Восточно-Китайским педагогическим университетом, Аньтин, Китай, 2015

3. Приём *ассоциативного ряда модульных элементов*. Его особенностью является объединение структурированных ячеек в единую цепочку, формирующую комплекс ДОУ. Элемент ассоциативного ряда может состоять как из простой, так и сложной геометрической структуры. И свободно тиражироваться в плане. Данный приём предоставляет множество вариантов возведения детских садов в условиях сложной рельефной местности и отлично вписывается в концепцию будущего расширения зданий ДОУ. Как например, концепция детского сада Тимаюей в городе Санта-Марта (рис. 8) [5]. Перспективному расширению в будущем способствует разработанный блок, в котором сгруппировано два игровых помещения, классная комната, объединенные рекреационной зоной. В его основе лежит форма трикетра, созданная шестигранной фигурой в центре, к трём сторонам которой присоединено три прямоугольника. Объединяет весь комплекс галерея, которая проходит сквозь каждый блок. Таким образом, при увеличении детского

сада функциональный сценарий останется прежним и общая картина восприятия экстерьера не нарушится.

На данный приём опирается колумбийская архитектурная студия «План Б», которая специализируется в строительстве детских садов на основе модульных элементов. Например, каждая структурная ячейка детского сада Сан-Антонио де Прадо в городе Медельине (рис. 9) символизирует лепесток цветка [3, 15]. Она имеет неправильную шестиугольную форму с закруглёнными концами. Умножаясь в своей комбинации, создаёт П-образную линию комплекса, с организованными внутренними дворами для детей младшего и старшего возрастов. Пластичная форма здания удачно вписывается в ландшафт (садик построен на западном склоне долины Абурра). Эквивалентного отношения между архитектурой и природой проектировщики постарались достичь и за счёт организации зелёной кровли. В контексте окружающей среды садик

выглядит гармонично. Проект является победителем национального публичного конкурса в Медельине.



АССОЦИАТИВНЫЙ РЯД

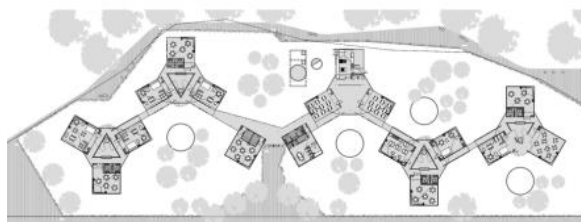


Рис. 8. Детский сад Тимаюей, Санта-Марта, Колумбия, 2011

Описанные примеры представляют широкий спектр планировочных организаций ДОУ, говорят о разнообразии подходов к проектированию. Выделенные приёмы формирования архитектурно-планировочной структуры позволяют расширить типологию зданий детских садов, вывести их за рамки обыденного и подвести под концепции современного развития. Предоставляют варианты проектирования с учетом адаптации к различным климатическим, ландшафтным условиям и тесной городской застройке. В результате чего заимствование опыта может позволить создать многофункциональную, инновационную архитектурно-пространственную структуру ДОУ, которая будет соответствовать современным требованиям программы образовательного процесса и ориентировать воспитанников на новое восприятие мира.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Анисимов М.Ю., Бирюк В.В., Горшкалёв А.А., Каюков С.С., Угланов Д.А. Создание конечно-элементной сетки цилиндропоршневой группы ДВС [Электронный ресурс] // Электронное учебное пособие. 2013. 13 с. URL: <http://docplayer.ru/65458001-Sozdanie-konechno-elementnoy-setki-cilindroporshnevoy-gruppy-dvs.html> (05.10.2018).



Рис. 9. Детский сад Сан-Антонио де Прадо, Медельин, Колумбия, 2011

2. Восточно-китайский педагогический университет, связанный с двуязычным детским садом // Интернет-издание АрхДейли. 2008–2018. URL: <https://www.archdaily.com/869330/east-china-normal-university-affiliated-bilingual-kindergarten-scenic-architecture-office> (03.11.2018).

3. Детский сад в Медельине // Архитектурное бюро «План: Б». URL: <http://www.planbarq.com/#/jardines-infantiles-sappla/> (11.11.2018).

4. Детский сад Сан-Хуан // Интернет-издание АрхДейли. 2008–2018. URL: <https://www.archdaily.com/887112/sanhuan-kindergarten-perform-design-studio> (01.11.2018).

5. Детский сад Тимаюей // Интернет-издание АрхДейли. 2008–2018. URL: <https://www.archdaily.com/201977/timayui-kindergarten-giancarlo-mazzanti> (16.10.2018).

6. Детский сад Фредериксвей // Архитектурная фирма КОБЕ. URL: <http://www.cobe.dk/project/frederiksvej-kindergarten> (18.10.2018).

7. Детский сад Фредериксвей // Интернет-издание АрхДейли. 2008–2018. URL: <https://www.archdaily.com/781669/frederiksvej-kindergarten-cobe> (18.10.2018).

8. Детский центр в Таулове // Архитектурная мастерская «CEBRA». URL: <https://cebraarchitecture.dk/project/lucinahaven/> (07.11.2018).

9. Детский центр в Таулове // Интернет-издание АрхДейли. 2008–2018. URL: <https://www.archdaily.com/46255/lucinahaven-toulov-childcare-cebra> (07.11.2018).

10. Золотник С.В., Международный опыт создания объемно-пространственной структуры учреждений дошкольного образования. Принципы формирования планировочного решения [Электронный ресурс] // Инженерный вестник Дона. 2017. №1. URL: <http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2017/4012> (02.11.2018).

11. Кудрявцева С.П., Долотказина Н.С., Современные направления создания детских образовательных учреждений [Электронный ресурс] // Архитектура и современные информационные технологии. Международный электронный сетевой научно-образовательный журнал. 3(36). 2016. URL: http://www.marhi.ru/AMIT/2016/3kvart16/kudryavtseva/AMIT_36_kudryavtseva.pdf (12.10.2018).

12. Ламехова Н.В., Архитектурная среда для дошкольного образования: Автореф. дис. канд. арх. Екатеринбург, 2011. 26 с.

13. Модульное строительство сегодня // Строительный портал «МАИСТРО». 2014-2015.

URL: <https://maistro.ru/articles/stroitelnyj-konstrukcii/modulnoe-stroitelstvo-segodnya> (10.10.2018).

14. Общественный детский сад в Глифаде // Интернет-издание АрхДейли. 2008 – 2018. URL: <https://www.archdaily.com/881261/public-nursery-in-glyfada-klab-architecture> (18.10.2018).

15. Победители национального публичного конкурса в Медельине, Колумбия // Интернет-журнал о дизайне и архитектуре «Berlogos». 2010 – 2018. URL: <http://www.berlogos.ru/work/pobediteli-nacionalnogo-publicnogo-konkursa-v-medeline-kolumbiya/> (28.10.2018).

16. Прагматичные японцы доверили сухогрузным контейнерам самое дорогое // ООО "ФУТ". 2018 URL: <https://foot-container.ru/pragmatichnye-yaponcy-doverili-suxogruznyam-kontejneram-samoe-dorogoe/> (10.10.2018).

17. ЦНИИЭП учебных зданий Госгражданстроя. Пособие по проектированию интерьера детских яслей-садов. М.: Стройиздат, 1982. 3-4 с.

18. Школа Бреде Аарл-Рикстеля // Интернет-издание АрхДейли. 2008–2018. URL: <https://www.archdaily.com/805322/brede-school-aarle-rixtel-architecten-en-en> (23.10.2018).

Поступила в декабре 2018 г.

© Ильвицкая С.В., Михайлова И.В., 2019

Информация об авторах

Ильвицкая Светлана Валерьевна, доктор архитектуры, профессор, зав. кафедры архитектуры. E-mail: ilvitskaya@mail.ru. Государственный университет по землеустройству. Россия, 105064, Москва, ул. Казакова, 15.

Михайлова Ирина Владимировна, аспирант кафедры «Архитектура». E-mail: IraMihailova2007@ya.ru. Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет. Россия, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26.

¹*Ilvitskaya S.V., ²*Mykhaylova I.V.*

¹*State University of Land Management*

Russia, 105064, Moscow, st. Kazakova 15

²*National Research Moscow State University of Civil Engineering*

Russia, 129337, Moscow, Yaroslavskoye Shosse 26

**E-mail: IraMihailova2007@ya.ru*

EXPERIENCE OF DESIGNING FOREIGN PRESCHOOL EDUCATIONAL INSTITUTIONS: METHODS OF FORMATION ARCHITECTURAL AND PLANNING STRUCTURE

Abstract. The subject of finding new approaches to design kindergartens on the example of modern foreign buildings of pre-school educational institutions is raised in the article. The formation of architectural and planning structure is considered by means of three techniques: based on structured and unstructured elements, forming in a modular associative array. The following objects are described: day-care centre (Taulov, Denmark, 2009), Sanhuan kindergarten (Yangzhong, China, 2017), Brede School Aarle-Rixtel (Laarbeek, the

Netherlands, 2016), *Frederiksvej kindergarten* (Frederiksberg, Denmark, 2015), *Public Kindergarten* (Glyfada, Greece, 2017), *East China Normal University Affiliated Bilingual Kindergarten* (Antin, China, 2015), *Timayui kindergarten* (Santa Marta, Colombia, 2011), *kindergarten San Antonio de Prado* (Medellin, Colombia, 2011). In addition, the construction of pre-school educational institutions by the block method of construction is considered: with mounted unified volume elements and cargo containers.

Keywords: preschool educational institutions, kindergartens, architectural and planning structure, coordinate grid, modular building, block building.

REFERENCES

1. Anisimov M.Yu., Biryuk V.V., Gorshkalev A.A., Kayukov S.S., Uglanov D.A. Creating a finite element mesh cylinder piston engine ICE group. Electronic tutorial. 2013, 13 p. Available at: <http://docplayer.ru/65458001-Sozdanie-konechno-elementnoy-setki-cilindroporshnevoy-gruppy-dvs.html> (accessed 05.10.2018).
2. East China Normal University Affiliated Bilingual Kindergarten. ArchDaily weblog. 2008–2018. Available at: <https://www.archdaily.com/869330/east-china-normal-university-affiliated-bilingual-kindergarten-scenic-architecture-office> (accessed 03.11.2018).
3. Kindergartens in Medellin. Plan: B architectural office. Available at: <http://www.planbarq.com/#/jardines-infantiles-sappla/> (accessed 11.11.2018).
4. Sanhuan Kindergarten. ArchDaily weblog. 2008–2018. Available at: <https://www.archdaily.com/887112/sanhuan-kindergarten-perform-design-studio> (accessed 01.11.2018).
5. Timayui Kindergarten. ArchDaily weblog. 2008–2018. Available at: <https://www.archdaily.com/201977/timayui-kindergarten-giancarlo-mazzanti> (accessed 16.10.2018).
6. Frederiksvej Kindergarten. COBE architectural firm. Available at: <http://www.cobe.dk/project/frederiksvej-kindergarten> (accessed 18.10.2018).
7. Frederiksvej Kindergarten. ArchDaily weblog. 2008–2018. Available at: <https://www.archdaily.com/781669/frederiksvej-kindergarten-cobe> (accessed 18.10.2018).
8. The day-care centre in Taulov. Architectural workshop "CEBRA". Available at: <https://cebraarchitecture.dk/project/lucinahaven/> (accessed 07.11.2018).
9. Lucinahaven Toulou Childcare. ArchDaily weblog. 2008–2018. Available at: <https://www.archdaily.com/46255/lucinahaven-toulou-childcare-cebra> (accessed 07.11.2018).
10. Zolotnik SV, International experience in creating the spatial structure of pre-school education institutions. Principles of planning solution: Engineering Bulletin of the Don. no. 1. 2017. Available at: <http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2017/4012> (accessed 02.11.2018).
11. Kudryavtseva S.P., Dolotkazina N.S., Modern trends in organisation of the pre-school education institutions: Architecture and modern information technology. International electronic network scientific and educational journal, 3(36), 2016. URL: http://www.marhi.ru/AMIT/2016/3kvart16/kudryavtseva/AMIT_36_kudryavtseva.pdf (accessed 12.10.2018).
12. Lamekhova N.V. Architectural environment for preschool education: abstr. dis. cand.arch. Ekaterinburg, 2011, 26 p.
13. Modular construction today. MAISTRO Construction portal. 2014–2015. URL: <https://maistro.ru/articles/stroitelnyj-konstrukcii/modulnoe-stroitelstvo-segodnya> (accessed 10.10.2018).
14. Public Nursery in Glyfada. ArchDaily weblog. 2008–2018. Available at: <https://www.archdaily.com/881261/public-nursery-in-glyfada-klab-architecture> (accessed 18.10.2018).
15. Winners of the national public competition in Medellin, Colombia. Internet magazine on design and architecture "Berlogos". 2010–2018. Available at: <http://www.berlogos.ru/work/pobediteli-nacionalnogo-publichnogo-konkursa-v-medeline-kolumbiya/> (accessed 28.10.2018).
16. Pragmatic Japanese entrusted dry-cargo containers the most expensive: ООО "FUT". 2018. URL: <https://foot-container.ru/pragmatichnye-ya-poncy-doverili-suxogruznym-kontejneram-samoe-dorogoe/> (accessed 10.10.2018).
17. CSRIED of educational buildings of Gosgrazhdanstroi. Allowance for the design of the interior nursery gardens. M.: Stroizdat, 1982, pp. 3–4.
18. Brede School Aarle-Rixtel. ArchDaily weblog. 2008–2018. Available at: <https://www.archdaily.com/805322/brede-school-aarle-rixtel-architecten-en-en> (accessed 23.10.2018).

Information about the authors

Ilvitskaya, Svetlana V. DSc, Professor. E-mail: Ilvitskaya@mail.ru. State University of land management. Russia, 105064, Moscow, Kazakova, 15.

Mykhaylova, Iryna V. Postgraduate student. E-mail: IraMihailova2007@ya.ru. National Research Moscow State University of Civil Engineering. Russia, 129337, Moscow, Yaroslavskoye Shosse 26.

Received in December 2018

Для цитирования:

Ильвицкая С.В., Михайлова И.В. Опыт проектирования зарубежных дошкольных образовательных учреждений: приёмы формирования архитектурно-планировочной структуры // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2019. №1. С. 86–94. DOI: 10.12737/article_5c5062211a3dd9.52830943

For citation:

Ilyitskaya S.V., Mykhaylova I.V. Experience of designing foreign preschool educational institutions: methods of formation architectural and planning structure. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov, 2019, no. 1, pp. 86–94. DOI: 10.12737/article_5c5062211a3dd9.52830943

DOI: 10.12737/article_5c506227404148.81595981

^{1,*}Скрябин П.В.¹Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет
Россия, 190005, Санкт-Петербург, 2-я Красноармейская ул., д. 4

*E-mail: paulskryabin@yandex.ru

ПРОБЛЕМАТИКА И НАПРАВЛЕНИЕ ГРАДОСТРОИТЕЛЬНОГО РАЗВИТИЯ РЕКРЕАЦИОННОЙ СРЕДЫ ГОРНОГО АЛТАЯ

Аннотация. Разнонаправленность экономических, экологических и социальных целей градостроительного освоения территории обуславливает актуальность проблемы сбалансированного развития систем расселения на всех территориальных уровнях.

В целях поиска оптимального направления градостроительного развития территорий с уникальными природно-климатическими условиями, нетронутыми природными ландшафтами, бальнеологическими ресурсами, на примере Горного Алтая, автором было проведено исследование утверждённых проектов территориального планирования, изучены наработки ряда авторов.

Проведено рекреационное районирование территории Горного Алтая с выявлением благоприятных для рекреационного освоения районов. Для этих районов обозначены общие задачи, направленные на решение проблемы сбалансированного градостроительного развития рекреационной среды с учётом природоохранных и экономических целей, а также в целях развития мест отдыха и туризма.

Для решения обозначенных задач рассмотрен опыт ряда зарубежных стран. Были выявленные подходы в градостроительном развитии рекреационной среды, вследствие чего были намечены направления градостроительного развития рекреационной среды в отношении исследуемой территории. Были сформулированы предложения по зонированию территории. Исходя из характера ландшафтного строения территории, было предложено создание ступенчатой системы узлов рекреационного обслуживания. Иерархически организованная система узлов рекреационного обслуживания в сочетании с предлагаемыми подходами к функционально-планировочной организации рекреационной среды Горного Алтая направлены на совмещение рекреационных, экономических и природоохранных целей градостроительного развития территории этого региона.

Ключевые слова: градостроительство, территориальное планирование, градостроительное зонирование, ландшафты, рекреационная среда, градостроительные регламенты.

Введение. Актуальность вопросов развития локальных градообразующих комплексов для многих регионов России, обусловлена перспективой перехода от ресурсно-ориентированной экономики к развитию экономики региональных систем расселения. При этом наиболее важным аспектом станет развитие планировочного каркаса региональной системы расселения на основе транспортных связей урбанизированных центров с производственными, сельскохозяйственными и рекреационными центрами. Подобные системы расселения разрабатывались советскими градостроителями в отношении ряда регионов, в настоящий момент ведутся разработки в отношении систем расселения в некоторых административных субъектах Российской Федерации. В качестве примера, предлагается рассмотреть Сибирский регион, градообразующую базу которого сегодня формируют: научно-исследовательский потенциал Новосибирска, Красноярска, Томска; сельскохозяйственный потенциал Алтайского края; рекреационный сектор Горного Алтая и Саян (рис. 1).

В каждом из этих субъектов расположен свой центр – узел системы расселения, имеющий прямые транспортные связи с другими такими же

узлами. Ряд узлов – крупных городов, расположен в местах пересечения транспортных осей с крупными сибирскими реками. Расположение этих центров носит характер сетчатой структуры с ячейками. Внутри каждой ячейки, между осями расселения, выделяются территории сельскохозяйственного освоения и охраняемые природные ландшафты. Вдоль осей расселения, связывающих центры, размещаются малые города и населённые пункты с узкой хозяйственной специализацией. Цепочка этих пунктов формирует полосу градостроительного освоения вдоль транспортных осей – вдоль Транссибирской магистрали, Чуйского тракта и транспортной связи Новосибирск – Сургут – Нижневартовск.

Автором данной статьи предлагается рассмотреть вопросы градостроительного освоения южного рекреационного пояса в системе расселения западносибирского региона. В качестве примера предлагается территория в границах Республики Алтай.

Объектом исследования являются экологически ориентированные подходы в градостроительном освоении территории, обладающей уникальным природно-ресурсным потенциалом.

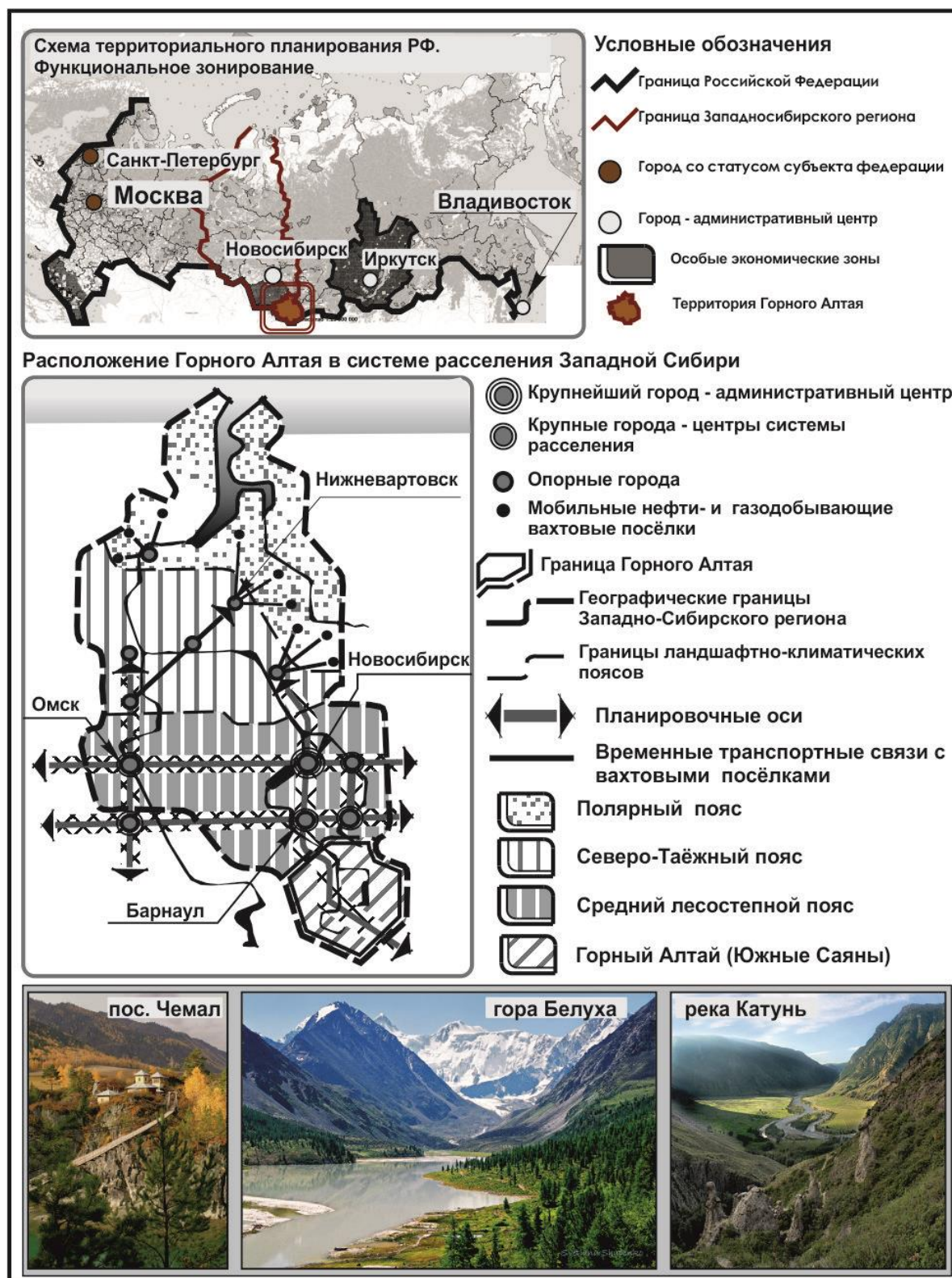


Рис. 1. Расположение Горного Алтая в системе расселения западносибирского региона

Предметом является зонирование таких территорий и принципы формирования планировочного каркаса с размещением узлов рекреационного обслуживания, на примере Горного Алтая.

Горный Алтай – это огромное пространство нетронутой цивилизацией природы в системе расселения западносибирского федерального округа объединяющего единой сетью транспорт-

ных и хозяйственных связей города: Новосибирск (населением 1 млн. 612 тыс. чел.), Омск (1,178 млн. чел.), Барнаул (632 тыс. чел.), Томск (574 тыс. чел.), Сургут (360 тыс. чел.), Нижневартовск (274,5 тыс. чел.) и Бийск (201 тыс. чел.).

Особый интерес на Алтае представляет сочетание в едином комплексе разнообразных природных зон: степной зоны, горных долин, зоны темнохвойной тайги и высокогорной тундры.

Благодаря географическому положению республики в самом сердце Азии – на стыке четырёх государств: Казахстана, Китая, Монголии и России, а также уникальным природно-климатическим условиям, этнографическому колориту и возрастающему потоку туристов Горный Алтай привлекает инвестиции в развитие рекреационной деятельности. Десятки инвестиционных проектов по строительству крупных курортно-рекреационных комплексов – туристско-рекреационная зона «Алтайская долина» на реке Катунь, санаторно-курортный комплекс «Altay-West», туристско-развлекательный комплекс на Телецком озере наталкивается на несколько разнонаправленных целей, взаимоисключающих друг друга. Экономические цели заключаются в получении высокой прибыли путём максимального использования природных, трудовых и финансовых ресурсов, вступают в противоречие с экологическими целями – сохранением и улучшением природной среды. Одновременно учёт интересов охраны природы является ограниченным средством, неспособным обеспечить экологический баланс при растущих потребностях в отдыхе и туризме, при необходимости размещения объектов обслуживания.

Основная проблема заключается в отсутствии механизмов бесконфликтного, непротиворечивого и сбалансированного развития территории одновременно в нескольких целях – рекреационных, экономических и природоохранных, при отсутствии контроля результатов этого развития в виду не ясности, какое состояние территории обеспечивает достижение этих целей во временной перспективе.

Цель публикации – выявить подходы к градостроительному освоению уникальных природных ландшафтов с обширным рекреационным потенциалом, совмещающие экономические аспекты развития отдыха и туризма с сохранением экологического баланса.

Предложениями по экологическому зонированию территорий в системах расселения занимался академик Владимиров В. В. [3], Митягин С. Д. [4]. Вопросам развития отдыха и туризма посвящены исследования Поморова С.Б. [5], Шенгелии Н. О. [7], Буйдышевой С. В. Расчётам рекреационной нагрузки на природные ландшафты посвящено исследование Павловой К. С. [6]. Экологические проблемы исследованы в работах Стоящевой Н. В. [11] Вопросы районирования территории на предмет развития рекреационной детальности изучены исследователями

Робертусом Ю.В [9] и Суховой М.Г. [12, 13]. Экономический аспект данной темы рассмотрен в работах Скрыпкина В. К. [10].

В результате изучения работ этих авторов, а также материалов по территориальному планированию Республики Алтай (разработанных ЦНИИП Градостроительство РААСН, мастерская Вильнера М.Я.) [8, 14, 15], на основе собственных натурных обследований Горного Алтая, автором предложены своё районирование Горного Алтая и выделены районы по степени рекреационной освоенности (рис. 2).

К наиболее освоенным районам предлагается отнести: *район Чемала* – в долине реки Катунь, от посёлка Майма до райцентра Чемал; *район Телецкого озера* – расположенного на северо-востоке алтайских гор, ближе к границе с Западным Саяном; *район Усть-Кан* – на западной границе Республики Алтай, в долине реки Чарыш

Отдельно автором выделены границы рекреационных районов, инвестиционное освоение которых только начинается: *Онгудайский район*, расположенный в середине Алтайских гор, в долине реки Урсул; *Акташский район*, расположенный в восточной части Горного Алтая и вытянутый в меридиональном направлении от посёлка Акташ, в сторону Телецкого озера; *район Уймонской долины* расположенный в юго-западной части Горного Алтая вдоль северной границы Катунского горного хребта, в долине реки Катунь.

К районам перспективного рекреационного освоения предлагается отнести: *Кош-Агачский район* в юго-восточной части Республики на границе с Монголией и *район «Чуйские Белки»* в южной высокогорной части Горного Алтая, рядом с зоной покоя Укок.

Границы всех выделенных рекреационных районов предлагается установить по верхним высотным отметкам горных хребтов, разделяющих водосборные бассейны крупных горных рек – Катунь, Чемала, Онгудая, Чулышмана и Бии.

В отношении этих территорий автором выделен ряд нерешённых сегодня задач.

Первая задача обусловлена отсутствием мероприятий по сохранению и защите уникальных природных ландшафтов от потока самостоятельных путешествующих туристических групп, так как туристская инфраструктура Горного Алтая проектируется сегодня без расчёта этих потоков.

Вторая задача состоит в трудности сохранения ценных прибрежных ландшафтов, по причине перегруженности побережья, застройкой и транзитными туристическими потоками.



Рис. 2. Выделение рекреационных районов на территории Горного Алтая

Третья задача заключается в противоречии планируемого назначения территорий для отдыха, туризма и лечения их фактическому использованию. Территории, обозначенные градостроительной документацией как рекреационные зоны, расположены на землях государственного лесного фонда или на землях сельскохозяйственного назначения и часто используются под жилую застройку.

Четвёртая задача заключается в отсутствии системы объектов рекреационного обслуживания, хозяйственно связанной с существующими населёнными пунктами. Следствием этого является недостаточное обеспечение продукцией местного сельскохозяйственного производства курортно-туристских учреждений.

Методология исследования. Предлагаемая для решения обозначенных задач, опирается на территориально-градостроительный подход, который включает выявление участков территории с характерными ландшафтными, экологическими условиями и проблематикой. Далее на основе примеров из градостроительной практики в отношении похожих территорий, выявляются общие подходы к решению сформулированных задач.

В поиске решения этих задач предлагается рассмотреть опыт регионов с характерными горными ландшафтами – опыт Австрии, Швейцарии и Германии. Этот опыт следует применять очень ограниченно в социально-экономических условиях Горного Алтая, которые отличает: высокий уровень безработицы, нерегулируемый туризм, подрывающий экологическую устойчивость, отличается и степень развития инфраструктуры: плотность автодорог составляет $30 \text{ км}/1000 \text{ км}^2$ (в Швейцарии этот показатель равен $170 \text{ км}/100 \text{ км}^2$). Некоторые параметры имеют сходные черты – интенсивность потока туристов за по-

следние 15 лет и его доля в валовом региональном продукте Республики Алтай выросла в десять раз, достигнув в 2014 году 11,02 % (по данным сайта Министерство экономического развития и туризма Республики Алтай), что характерно для туризма в Австрии.

Основная часть. Для градостроительной организация рекреационной деятельности в Австрии, характеризующейся преобладанием коротких трёх и пятидневных путешествий, принят подход, направленный на территориальное разделение краткосрочных и долгосрочных туристических потоков, планируя районы отдыха с учётом развития одновременно нескольких видов туризма на одной территории, при одновременном формировании сети объектов для авто-путешествий выходного дня [1]. В отношении Горного Алтая этот подход следует рассматривать с позиции формирования линейно-узловой системы центров обслуживания, включающей, на примере Австрии, учреждения обслуживания небольших самостоятельных туристических групп и автотуристов, а также комплексы для длительного стационарного отдыха и лечения, что будет способствовать сохранению природных ландшафтов в условиях интенсивных транзитных туристических потоков.

Принятый в Германии подход к функциональному зонированию речных долин направлен на сохранение прибрежных ландшафтов. Для этого вдоль рек выделяется полоса водного резервата со строгим природоохранным режимом и выносом всех сельскохозяйственных полей. Далее, параллельно полосе водного резервата на осушенных территориях предлагается строительство рекреационных объектов, объединённых общей сетью пешеходных троп и транспортных связей. Склоны гор и холмов предлагается выделить, как особо охраняемый ландшафт. В пределах полосы водного резервата, наряду с лугами и

пастбищами, предусмотрено размещение зоны отдыха. Этот подход предлагается использовать применительно к прибрежным ландшафтам Горного Алтая, что подразумевает выделение зон-полос параллельных природным осям – рекам и ручьям с соответствующими режимами землепользования, как в Германии. По мере удаления такой полосы–зоны от реки в этой полосе меняется и регламент землепользования.

Решение задачи, связанной с противоречием фактического использования территории её целевому назначению лежит в плоскости расширения градостроительных регламентов. Наглядный пример решения подобной проблемы прослеживается в швейцарской концепции по созданию функциональных зон-полос (ETH-студия, авторы Рогер Динер, Джаскес Герцог, Марель Мале, Пирре де Морон и географ Христиан Шмидт) [2]. Особо охраняемые природные территории образуют экологический каркас, в узлах которого расположены национальные, природные и этнографические парки. Эти территории окружены буферной полосой, сформированной курортно-туристическими учреждениями. Параллельно этой полосе расположен ряд городов и населённых пунктов протянувшейся в направлении северо-восток – юго-запад, то есть параллельно горной цепи, от озера Обер до Невшатальского озера включая города Цюрих, Цуг и Берн с их агломерациями. Параллельно полосе агломераций расположена зона сельскохозяйственного освоения, вдоль границ которой расположена зона строго регламентированной градостроительной деятельности. Далее расположена зона особо охраняемых лесов, на основе которых организованы природные и национальные парки. Для каждой из этих зон установлены градостроительные регламенты, утверждаемые на уровне автономных муниципальных образований – швейцарских кантонов. Следуя этой идее, в отношении алтайских гор предлагается выделить вокруг особо охраняемых природных территорий – заповедников, заказников и резерватов, буферные защитные ландшафты – территории строго регламентируемого рекреационного освоения, с ограниченным размещением групп объектов некапитального строительства. Для размещения крупных туристских комплексов, предлагается выделить зону-полосу вдоль основных транспортных коммуникаций (Чуйского и Чемальского трактов) с целью направить потоки туристов вокруг особо ценных и охраняемых ландшафтных территорий за счёт создания закольцованных туристических маршрутов вдоль этих направлений.

Формирования системы объектов рекреационного обслуживания предлагается в соответствии с высотно-поясным характером ландшафтов горной местности (самый нижний пояс – дно горной долины со степным ландшафтом, пояс темнохвойной тайги на склонах гор, пояс альпийских лугов, самый высокий пояс высокогорной тундры), расчленённой сетью мелких рек. Вдоль малых горных рек, стекающих с горных склонов в долины, будет направленно формирование четырёх ступенчатой иерархически выстроенной системы объектов рекреационного обслуживания (рис. 3) [16].

В самом нижнем высотно-ландшафтном горно-степном поясе с предельно допустимой рекреационной нагрузкой до 5–6 чел./га предлагается выделить полосу расширенного градостроительного освоения для размещения узлов первой ступени – туристских комплексов большой вместимости, с преимущественным развитием сельского туризма, а также объектов для размещения и обслуживания автотуристов.

Следующим типом рекреационных узлов будут являться группы небольших сооружений для размещения и обслуживания туристов, расположенные в среднегорном высотном поясе (500 – 1 500 м. над ур. моря) с допустимой рекреационной нагрузкой 4 чел./га, связанных с природными, бальнеологическими, этнографическими или археологическими объектами.

Узлы третьей по счёту ступени рекреационного обслуживания следует размещать в формате мобильных сооружений для кратковременного пребывания небольших туристических групп (до 7 человек на срок не более 2 дней). Мобильный характер этих сооружений обусловлен размещением их в высотном-ландшафтном поясе альпийских лугов (высота 1 500 – 2 000 м. над ур. моря) с предельно-допустимой рекреационной нагрузкой до 3 чел./га.

Завершается система узлов отдельным объектом обслуживания туристов (горным айлom, приютом для альпинистов, причалом для сплавов), расположенного на высоте в высокогорном поясе (свыше 2000 м над ур. моря), непосредственно у природного объекта (ледника, горного озера или водопада). Перечень объектов обслуживания здесь сведен к минимуму и ограничен лишь самым необходимым для временного пребывания постояльцев, состоящим из мобильных элементов туристского жилища.

Планировочными связями для рекреационных узлов будут являться, автомобильные дороги, конные и пешие маршруты, проложенные в долинах малых горных рек и ручьёв.



Рис. 3. а – общая модель зонирования территории характерного рекреационного района – горной долины, б – предлагаемая модель зонирования характерного участка вдоль русла горной реки

Вывод. Изложенные предложения в отношении, обозначенных автором, задач сводятся к решению основной проблемы – проблемы согласования разнонаправленных целей: рекреационных, экономических и природоохранных целей градостроительного развития территории Горного Алтая. Предлагаемое зонирование предполагает территориальное разграничение направлений градостроительного освоения территории по приоритетным целям. Ступенчатая линейно ориентированная система узлов рекреационного обслуживания предназначена для равномерного распределения рекреационных нагрузок в целях сохранения природных ландшафтов при одновременном обеспечении максимально широкого выбора мест массового отдыха, что определяет направление градостроительного развития рекреационной среды Горного Алтая.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Friedrich Zimmermann. Ausflugsverkehr und Kurzurlaube in Österreich unter Berücksichtigung der Überlagerung mit dem mittel- und längerfristigen Reiseverkehr / Zimmermann Friedrich. Graz, Universität Graz, 2016. 96 с.
2. Sonja Hildebrand. Urbane Schweiz. Urbanistische Konzepte für die Schweiz von 1930 bis heute: электрон. жур. 2006. 13. сен. URL:

<http://www.hsozkult.de/debate/id/diskussionen-790> (дата обращения 12.01.2017).

3. Владимиров В.В. Расселение и экология. М.: Стройиздат, 1996. 392 с.
4. Митягин С.Д. Градостроительство. Эпоха перемен. СПб.: Зодчий, 2016. 280 с.
5. Поморов С.Б. Оценка состояния и перспектив развития рекреационного кластера Республики Алтай: отчёт о НИР. Барнаул: Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова, 2008. 100 с.
6. Павлова К.С. Оценка геоэкологических последствий неорганизованного массового отдыха на территории Катунского рекреационного района: дис. ... канд. геогр. наук. Барнаул, 2015. 160 с.
7. Шенгелия Н.О. Развитие туризма в Республике Алтай: отчёт о НИР. Москва–Горно-Алтайск, 1993. 40 с.
8. Ревякин В.С. Схема территориального планирования Республики Алтай. Оценка состояния и перспектив развития рекреационного кластера. Барнаул: Алтайский государственный университет им. И. И. Ползунова. 2008, 63 с.
9. Робертус Ю.В. Основные проблемы рекреационного природопользования в Республике Алтай и пути их решения / Матер. III межд. конф. «Биоразнообразие, проблемы

экологии Горного Алтая и сопредельных регионов: настоящее, прошлое, будущее // Горно-Алтайский государственный университет. Горно-Алтайск: РИО ГАГУ, 2013. С. 381–384.

10.Скрыбкин В.К. Курортно-туристский комплекс: управление рынком, перспективы развития, стратегия продвижения: авторф. дис. канд. эконом. наук. СПб, 1999. 20 с.

11.Стоящева Н.В. Экологический каркас территории и оптимизация природопользования на юге Западной Сибири (на примере Алтайского региона). Новосибирск: СО РАН, 2007. 140 с.

12.Сухова М.Г. Рекреационное районирование горных территорий на основе ландшафтно-климатического анализа (на примере Горного Алтая) // Матер. межд. конф. «Природные условия, история и культура Западной Монголии и сопредельных регионов». Кызыл: 2005. С. 115–122.

13.Сухова М.Г. Эколого-климатический потенциал ландшафтов Алтае-Саянской горной

страны для жизнедеятельности населения и рекреационного природопользования: автореф. дис. д-ра геогр. наук. Томск, 2009. 41 с.

14.Схема территориального планирования Республики Алтай. Принятый вариант развития каркаса, районирования и функционального зонирования [Карты] / сост. и подгот. к печати НМЦ «ТЕРИНФОРМ» ЦНИИП градостроительства РААСН. – 1: 200 000, 20км в 1см. М., 2008.

15.Схема территориального планирования Республики Алтай. Стратегия развития территории (проектный план) [Карты] / сост. и подгот. к печати НМЦ «ТЕРИНФОРМ» ЦНИИП градостроительства РААСН. – 1:200000, 20км в 1см. М., 2008.

16.Хромов Ю.Б. Организация систем отдыха, туризма и охраны окружающей среды на Севере. Ленинград. 1981, 184 с.

Информация об авторах

Скрябин Павел Владимирович, кандидат архитектуры, доцент кафедры градостроительства. E-mail: paulskryabin@yandex.ru. Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет. Россия, 190005, Санкт-Петербург, 2-я Красноармейская ул., д. 4.

Поступила в декабре 2018 г.

© Скрябин П.В., 2019

^{1,*}**Skryabin P.V.**

¹St. Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering
Russia, 190005, Saint Petersburg, st. Vtoraya Krasnoarmeiskaya, 4

*E-mail: paulskryabin@yandex.ru

THE PROBLEMS AND DIRECTION OF URBAN DEVELOPMENT OF THE RECREATIONAL TERRITORY IN GORNY ALTAI

Abstract. Different directions of economic, environmental and social objectives of urban development determines the importance of balanced development of settlement systems at all territorial levels. The author conducts research on approved territorial planning projects in order to find the optimal direction of urban development of territories with unique climatic conditions, intact natural landscapes, balneological resources, on the example of Gorny Altai. The recreational zoning of the Altai Mountains territory with the identification of areas favorable for recreational development is carried out. Common tasks are designated for these areas. They are aimed at solving the problem of a balanced urban development of a recreational environment, taking into account environmental and economic goals, as well as for the development of resting places and tourism. The experience of a number of foreign countries is considered to solve the above-mentioned problems. Approaches to the urban development of the recreational environment are identified. Subsequently, directions of urban development of the recreational environment in relation to the study area are outlined. Proposals for zoning the territory are formulated. The creation of stepped system of recreational services is suggested based on the nature of the landscape structure. Hierarchically organized system of recreational service centers in combination with the proposed approaches to the functional and planning organization of the recreational environment of Gorny Altai is aimed to combine recreational, economic and environmental goals of urban development in the region.

Keywords: town planning, territorial planning, urban zoning, landscapes, recreational environment, town planning regulations.

REFERENCES

1. Friedrich Zimmermann. Ausflugsverkehr und Kurzurlaube in Österreich unter Berücksichtigung der Überlagerung mit dem mittel- und längerfristigen Reiseverkehr. Zimmermann Friedrich. Graz, Universität Graz, 2016, 96 p.
2. Sonja Hildebrand. Urbane Schweiz. Urbanistische Konzepte für die Schweiz von 1930 bis heute: electronic magazine. 2006. 13. sep. URL: <http://www.hsozkult.de/debate/id/diskussionen-790> (дата обращения 12.01.2017).
3. Vladimirov V.V. Settlement and ecology. Strojizdat, 1996, 392 p.
4. Mityagin S.D. City building. Time of changes. SPb.: Zodchij, 2016, 280 p.
5. Pomorov S. B. Assessment of the state and prospects of development of the recreational cluster of the Altai Republic: report on research work. Barnaul: Altai state technical University named after him. I. I. Polzunov, 2008, 100 p.
6. Pavlova K.S. Assessment of geoecological consequences of unorganized mass recreation on the territory of Katun recreational area: dissertation for the degree of candidate of geographical Sciences. Barnaul, 2015, 150 p.
7. Shengeliya N.O. Tourism development in the Altai Republic. report on research work. Moscow. Gorno-Altaysk. 1993, 40 p.
8. Revyakin V.S. Project of territorial planning of the Altai Republic. Assessment of the state and prospects of development of the recreational cluster. Barnaul: Altai state University named after him. I. I. Polzunova. 2008, 63 p.
9. Robertus Yu.V. The main problems of recreational nature management in the Republic of Altai and ways to solve them. The materials of the third conferences "The Biologocal problems of Altai Mountains and adjacent regions: present, past, future". Gorno-Altay state University. Gorno-Altaysk: RIO GASU, 2013, pp. 381–384
10. Skrypin V.K. Resort and tourist complex: market management, development prospects, promotion strategy: abstract of the dissertation for the degree of candidate of economic Sciences. SPb. 1999, 20 p.
11. Stoyashcheva N.V. Ecological framework of the territory and optimization of nature management in the South of Western Siberia (on the example of the Altai region). Novosibirsk. Siberian branch of the Russian Academy of Sciences, 2007, 140 p.
12. Suhova M.G. Recreational zoning of mountain areas on the basis of landscape and climatic analysis (on the example of the Altai Mountains). The materials of the international conferences "Natural conditions, history and culture of Western Mongolia and neighboring regions". Kyzyl. 2005, pp. 115–122.
13. Suhova M.G. Ecological and climatic potential of landscapes of the Altai-Sayan mountain country for vital activity of the population and recreational nature management: abstract of the dissertation for the degree of doctors of geographical sciences. Tomsk, 2009, 41 p.
14. Scheme of territorial planning of the Altai Republic. The adopted variant of the frame development, zoning and functional zoning [Maps]. Produced by "TERINFORM" The Central research and design Institute of the Russian Academy of Sciences. Scale 1:200000. Moscow. 2008.
15. Scheme of territorial planning of the Altai Republic. Territory development strategy (project plan) [Maps]. Produced by "TERINFORM" The Central research and design Institute of the Russian Academy of Sciences. Scale 1:200000. Moscow. 2008.
16. Hromov Yu.B. Organization of recreation, tourism and environmental protection systems in the North. Leningrad, 1981, 184 p.

Information about the authors

Skryabin Pavel V. PhD, Assistant professor. E-mail: paulskryabin@yandex.ru. Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering. Russia, 1900054, Saint Petersburg, st. Vtoraya Krasnoarmeiskaya, 4.

Received in December 2018

Для цитирования:

Скрябин П.В. Проблематика и направление градостроительного развития рекреационной среды Горного Алтая // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2019. №1. С. 95–102. DOI: 10.12737/article_5c506227404148.81595981

For citation:

Skryabin P.V. The problems and direction of urban development of the recreational territory in gorny altai. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov, 2019, no. 1, pp. 95–102. DOI: 10.12737/article_5c506227404148.81595981

DOI: 10.12737/article_5c506230c1b058.24738025

¹Аль-Савафи М.Х., ¹Перькова М.В., ^{1,*}Аль-Джабери А.А.Х.¹Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

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

*E-mail: Abokharima@gmail.com

ИЗУЧЕНИЕ ИЗМЕНЕНИЙ В ЗЕМЛЕПОЛЬЗОВАНИИ ТЕРРИТОРИИ Г. БЕЛГОРОДА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ И ГИС МЕТОДОВ

Аннотация. Исследования в области землепользования и земной поверхности в значительной степени необходимы для целого ряда тем и вопросов. Устойчивое развитие во многом зависит от контроля за последствиями изменений. Это исследование обсуждается в Белгородской области Российской Федерации. Факторы, которые были изучены и выделены, - это застроенные районы, растительность и зеленый навес, водоемы и оголенные участки почвы. Изменения произошли в период с 1975 по 1992 год и с 1992 года по 2017 год, соответственно. Данные были получены из архива сбора данных USGS и EOS Land Viewer. Точность смоделированных изменений ограничена радиометрическими разрешениями. Полученные результаты показали динамику освоения городского пространства, поскольку каждый рассматриваемый период имеет свое направление роста. Метод классификации, который использовался в сравнительном исследовании — нейронная сеть. Результатами данного исследования являются три тематические карты Белгорода, которые отражают плотность застройки, озеленение и обводнение территории.

Ключевые слова: землепользование, земная поверхность, геоматика, ГИС, дистанционное зондирование.

Введение. Землепользование и земная поверхность — два отдельных термина, которые часто используются взаимозаменяемо. Земной поверхностью называют физические характеристики поверхности земли. Это распределение водоемов, растительности, почвы и горных пород и другие особенности, которые занимают пространство земли [1]. Это определение включает действия и последствия человеческой деятельности и стихийных бедствий. Землепользование — это понятие, связанное с использованием земли, а также законами, кодексами, стандартами и моделями развития правительственных и неправительственных организаций использующиеся в экономических целях [2]. Природные и социально-экономические факторы во времени и пространстве изменяют структуру природопользования. Возрастающие требования к управлению территорией вынуждают прийти к оптимальному использованию ресурсов путем планирования и реализации деятельности по землепользованию земной поверхности. Устойчивый рост населения во всем мире требует мониторинга динамики землепользования и земной поверхности и их качества, количества и направления их роста. Изменения и преобразование землепользования и земной поверхности не обязательно приводят к деградации земли [3]. Однако активная народнохозяйственная деятельность человека в той или иной степени влияет на климат и биосферу (биоразнообразие, водные объекты, радиационный фон, уровень парниковых газов) [4]. Чтобы лучше понять динамику формирования культур-

ного ландшафта в разные периоды, важно провести исследования с использованием дистанционного зондирования и ГИС методов, которые позволят проследить изменения в плотности застройки, озеленения и обводнения территории с целью поддержания устойчивого управления природными ресурсами. Широкий ускоряющийся процесс изменений, который обычно имеет право на изменение в землепользовании и земной поверхности, обычно происходит и вызван явлениями природы и антропогенной деятельностью. Следовательно, эти явления и действия могут вырвать устойчивость или неустойчивость экосистемы [5, 6]. Правильная реализация и моделирование изменений и взаимодействия между явлениями природы и деятельностью человека жизненно важны для лиц, принимающих решения. Результаты этих видов исследований играют роль инструмента планирования возможного роста городов, а также определяют его направление, качество, количество и интервалы [7]. За последние три десятилетия спутники земных ресурсов и данные о воздушно-десантных полетах были весьма полезны и применимы для изучения изменений землепользования и земной поверхности. Однако точность результатов почти полностью зависит от качества полученных данных [8, 9]. Изобретения и применения методов дистанционного зондирования и ГИС имеют широкий спектр подробных методов улучшения сфер для сельского городского и / или промышленного хозяйства [10]. Данные дистанционного зондирования и применение ГИС сде-

дали возможным изучение изменений в землепользовании и земной поверхности с меньшим количеством времени, рабочей силы и стоимости. Кроме того, широкая перспектива данных дистанционного зондирования позволила достичь почти любой точки земного шара. Данные дистанционного зондирования предпочтительны для использования с помощью ГИС, которая предоставляет подходящие платформы для анализа, хранения, визуализации и извлечения данных. Передовые методы обработки изображений, спутниковые снимки с высоким пространственным разрешением и технологии ГИС разработали довольно эффективные подходы и устойчивый мониторинг, а также моделирование моделей землепользования и земной поверхности. Огромная библиотека данных дистанционного зондирования, накопленная за эти годы и ежедневно пополняемая база данных по дистанционному зондированию, сделала ее необходимым инструментом в картографии и моделировании [11]. В течение последних трех десятилетий снимки серии Landsat представляли собой ценный и непрерывающийся процесс записи данных, охватывающий почти всю земную поверхность [12]. Кроме того, большая часть архивов серии Landsat доступна для научных целей бесплатно. Это изобилие архивов данных дистанционного зондирования представляет собой обширную информацию, которая может быть использована для выявления и мониторинга изменений как в искусственной, так и в естественной среде [13]. Предварительная обработка - очень важный и решающий шаг, который необходимо выполнить тщательно, чтобы получить результаты с менее систематическими или несистематическими ошибками. Выбор данных, совместная регистрация, атмосферная и радиометрическая калибровка являются основными этапами предварительной обработки для выполнения классификации и анализа обнаружения изменений [8, 10, 14].

Основная часть. Многие ученые разных стран обсуждали обнаруженные изменения в землепользовании как результат анализа данных дистанционного зондирования [15-19]. Е. Ламбин предложил основу для общего понимания землепользования и земной поверхности и подчеркнул сложность изменений, уделяя особое внимание тропическим регионам [20]. В упомянутом исследовании были изучены изменения в городских районах, пахотных землях, сельскохозяйственных угодьях, тропическом обезлесении и определены изменения неизменных изменений земной поверхности. Методами, предложенными Д. Сивко, являются нейронная сеть, кросс-

корреляционный анализ, традиционная классификация, сегментация изображений и объектно-ориентированная классификация как экспертная система [21]. Было отмечено, что каждый из пяти методов имеет свои достоинства и свойства, но не может быть рассмотрен как лучший. Метод классификации нейронной сети при дистанционном зондировании рассматривается как один из наиболее подходящих методов классификации данных дистанционного зондирования из-за того, что аналитические задачи необработанных данных чрезвычайно минимизированы [22]. Тем не менее, во многом зависит от того, как данные обучения и области интереса были загружены на компьютер, и насколько точны были методы предварительной обработки, которые были выполнены, особенно ручные методы. Одним из факторов, которые влияют на точность результатов, являются также части пикселей, которые могут нести два типа классов. Пиксели зависят от пространственного, радиометрического и спектрального разрешения [2]. Кроме того, состояние данных, дата их рассмотрения (например, время года) и атмосферные барьеры (например, облачность) могут либо снизить, либо повысить разрешение результатов [2]. Метод классификации нейронной сети Д. Сивко был использован для получения классификации трех разных дат, которые представляют 1975, 1992 и 2017 годы. И нормализованный индекс растительности был рассчитан для каждой даты, чтобы помочь в оценке классификаций. ESRI ENVI и ArcMap были использованы для предварительной обработки, обработки и последующей обработки данных и для получения окончательных результатов.

В данном исследовании авторами предполагается изучение изменений в землепользовании территории г. Белгорода с использованием дистанционного зондирования и ГИС методов.

Белгород - город в Белгородской области Российской Федерации, расположенный на юго-западе Российской Федерации в 40 км от российско-украинской границы. Площадь города Белгорода составляет 153 км². Белгород - столица и административный центр Белгородской области. Река Северский Донец и ее правый приток Ворскла разделяют город на части, не являются судоходными. Население г. Белгорода по официальным данным в 2012 году составляло 369 815 человек [23]. Географические координаты Белгорода расположены 50 ° 35'N и 36 ° 35 'в пределах 38N зоны UTM. Рельеф города можно отметить на рис. 1, который представляет собой цифровую модель высотной шкалы Белгородской области. Самая высокая отметка - 223 м над уровнем моря, а холмистые районы расположены на севере и юго-западе города. Очевидно, что самая высокая

точка, как видно из цифровой модели рельефа, расположена к северу от города. В то время как самая низкая отметка, которая составляет 107 над

уровнем моря, можно увидеть в середине и востоке города. Эта цифровая модель рельефа может дать очевидное указание на эрозию, которая сделала Белгород долиной.

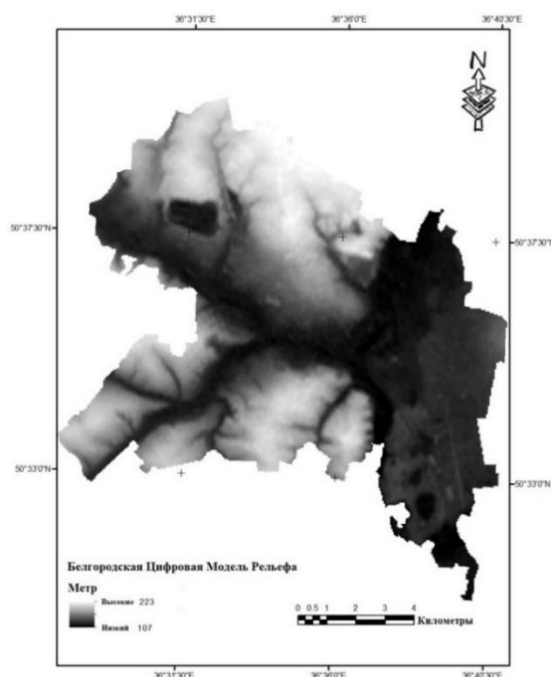


Рис. 1. Цифровая модель рельефа г.Белгорода

Согласно географическому положению Белгорода (рис. 2) климат можно классифицировать как влажный континентальный по климатической классификации Кёппен [24]. Климат этого типа климатического класса состоит в том, что он имеет 4 сезона с холодной зимой, которые могут достигать ниже -15 градусов, и жаркое лето (выше $+40$ градусов).

Подготовка базы данных. Landsat Multi-spectral scanner system MSS, Landsat Thematic Mapper TM и Landsat 8 Operational Land Imager OLI были ресурсами данных для создания базы данных. Пространственное разрешение датчиков Landsat TM 1975 года составляло 60 м, а Landsat TM 1992 года и Landsat8-OLI 2017 года - всего 30 метров. Данные были загружены из архива изображений Геологическая служба США. Наборы данных были импортированы в IDL ENVI 8.4, чтобы начать предварительную обработку данных. Фальшивая композиция цвета FCC была сделана для предварительного просмотра набора данных и определения областей интереса, которые будут использоваться для руководства классификацией. В случае Landsat8-OLI был создан стек слоев, способный генерировать FCC. Подстановка данных была выполнена для извлечения исследуемой области из всех изображений, взяв географическую границу границы Белгорода как область интересов

АОИ. Спектральные показатели растительности, такие как нормализованный разностный индекс растительности NDVI, широко применяются в качестве числового показателя для кросс-сравнительного анализа. NDVI может предоставить подробное представление о озелененных территориях и их качестве.

Низкая чувствительность к неопределенности в коррекции атмосферы и разнообразие в спутниковом просмотре – это преимущества внедрения индексов растительности в качестве прокси-переменных для взаимной калибровки среди других существующих датчиков [2]. Кроме того, видимые спектральные каналы, которые являются синими, зелеными и красными полосами RGB, обычно приводят к некоторой степени спектральных разностных эффектов SBDE. Эти эффекты обычно формулируются с индексами растительности, построенными с видимыми полосами [25]. Вонг указал, что SBDE часто обусловлен взаимодействием между спектральной зависимостью пропускания атмосферного газа и профилями спектрального отклика датчиков. NDVI получен из красных и ближнеинфракрасных диапазонов NIR, уравнение 1, приводит к некоторому SBDE, который должен быть рассмотрен.

$$NDVI = \frac{NIR - Red}{NIR + Red} \dots\dots\dots (1)$$

Атмосферная коррекция проводилась с использованием метода темновой кадр (Dark Object Subtraction - DOS). Этот метод позволяет пользователям выбирать относительную модель атмосферного рассеяния для прогнозирования значений мглы (haze) для всех спектральных полос и применить калибровку. Метод DOS нормализует предсказанные значения мглы (haze) для разных параметров усиления и смещения

для каждого исследуемого набора данных. Классификация нейронной сети была реализована в методологии этого исследования, как показано на рис. 3. Нейронные сети предлагают классифицировать данные на основе быстрого соответствия общим шаблонам с использованием ранее рассчитанных весовых коэффициентов. Нейронная сеть использует поэтапные сравнения, включающие алгоритмическую логику, применяемую к отдельным значениям данных [22].

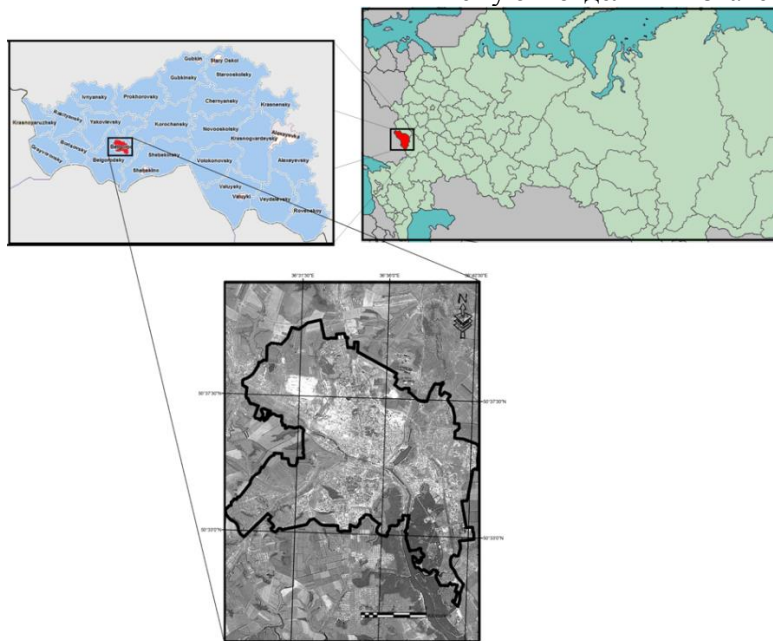


Рис. 2. Местоположение г. Белгорода

Обнаружение и анализ вариантов землепользования и земной поверхности. Для завершения классификации землепользования и покрытия в программном обеспечении IDL ENVI 8.4 используемый метод контролируемой классификации - нейронная сеть. Как уже упоминалось ранее, Neural Network является одним из самых популярных методов классификации, используемых с данными дистанционного зондирования. Сущность этого метода заключается в том, что он зависит не только от вероятности того, что пиксель принадлежит определенному классу, но и то, что он будет рассматривать каждую отдельную запись, сравнивая ее со всем набором. Основная теория предполагает, что эти вероятности сбалансированы для всех классов и что полосы ввода данных имеют нормальные распределения. Тем не менее, этот метод требует длительных вычислений в зависимости от размера данных и в значительной степени зависит от нормального распределения данных в каждом диапазоне ввода. [22]. Кроме того, он имеет тенденцию к чрезмерной классификации сигнатур с относительно большими значениями в ковариационной матрице (Covariance matrix).

Результаты и обсуждения. Результаты, полученные для разновременных спутниковых

изображений 1975, 1992 и 2017 годов, содержат информацию о урбанизации и развитии территории города Белгород. Этапы развития территории, которые прошли в Белгороде в течение 42 лет, показывают, что процессы освоения территории, управление ресурсами и городским планированием имеют относительно правильный вектор. Особенно это наглядно представлено в плане озеленения территории. По данным Всемирного экономического форума [26], самый высокий процент озеленения города в мире составляет 25,9 % в Ванкувере, Канада. Город Белгород имеет 21 % озеленения в 2017 году, 9 % в 1992 году и 12 % в 1975 году. Количество зеленых насаждений города между 1975 и 1992 годами, сильно ухудшилось из-за обезлесения, произошедшего за этот период (рис.4). Тем не менее, при сравнении между 1992 и 2017 годами отчетливо виден скачок в размерах зоны зеленых насаждений или высоких здоровых районов NDVI.

В целом, существует 5 классов землепользования земной поверхности: застроенная территория, высокая растительность (деревья в парках, скверах, бульварах, лесополосы), водоемы, низкая растительность, кустарники и мелкие растения и, наконец, почва. Классификация

1975 года, как видно из рис. 6 и таблицы 1, имеет 24 % площади города как застроенных территорий, 12 % лесов, 3 % водных объектов, 48 % кустарников и 13 % голых почв. В классификации 1992 года процентные показатели значительно отличаются. В процентах было 54 % территории города, 9 % лесов, 1 % водных объектов, 25 % кустарников, % и 11 % голых почв. В классификации 2017 года цифры довольно облегчаются в смысле озеленения города. Процентное соотношение составляло 55 % общей площади – это застроенная, 21 % лесов, 1 % водных объектов, 19 % кустарников и только 4 % в виде голого грунта. Очевидно, что площадь застроенного в Белгороде района не изменилась в отношении 25-летнего периода. Возможное объяснение состоит в том, что обучение компьютера с использованием ROI может быть немного сложным с этим уровнем разрешений. Поскольку трудно провести компьютерную дифференциацию между аналогичными объектами, например, между жилыми комплексами и группой микроавтобусов или небольших деревень, возможно, что существует смешение между различными объектами классификации. И это связано с относительно низким пространственным и радиометрическим разрешением данных.

Заключение. Основные выводы. Спутниковое дистанционное зондирование с возможностью повторного и синоптического наблюдения, а также многоспектральные возможности являются мощным инструментом для картирования и мониторинга экологических изменений городской среды, которые могут прогнозировать разрастание городов и связанные с этим проблемы природного каркаса и биоразнообразия. В данном исследовании в программном обеспечении IDL ENVI 8.4 реализован метод нейросетевой классификации. Как уже упоминалось ранее,

нейронная сеть является одним из наиболее популярных методов классификации изображений, полученных с помощью дистанционного зондирования. Результаты, которые были получены по данным 1975, 1992 и 2017 годов, имеют достаточно интересную информацию о развитии города Белгорода. Этапы, которые город Белгород прошел за 42 года, являются примером относительно правильного управления ресурсами и развития города.

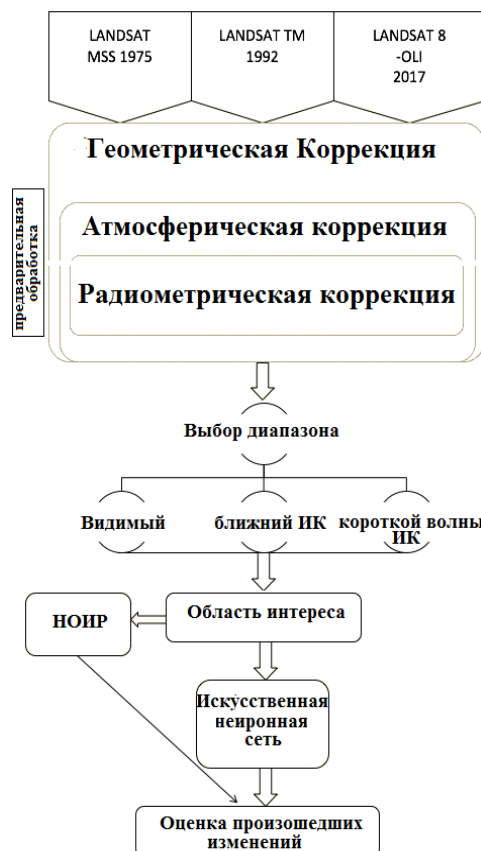


Рис. 3. Схема обработки полученных данных

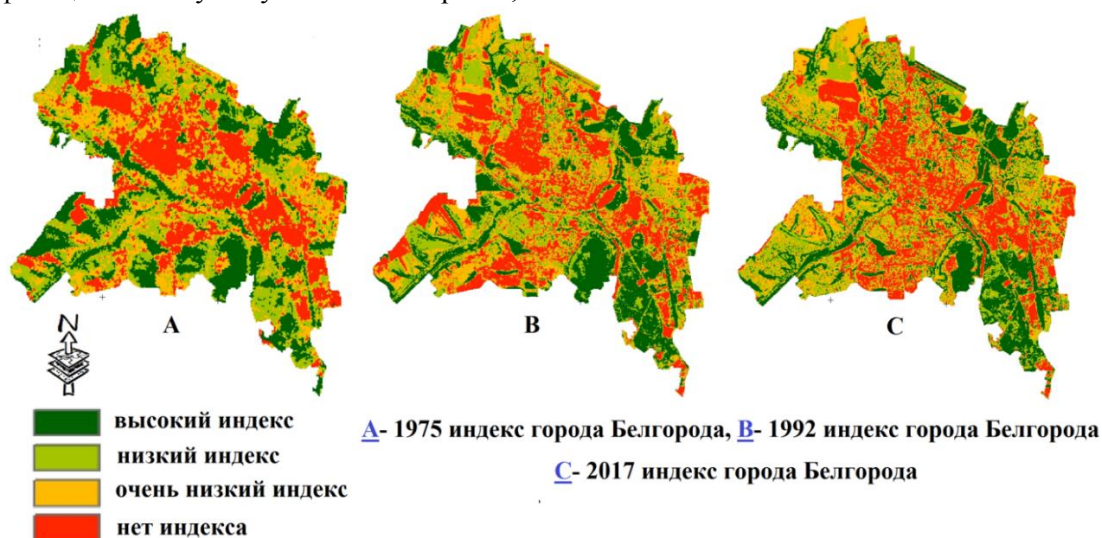


Рис. 4. Нормализованного индекса растительности

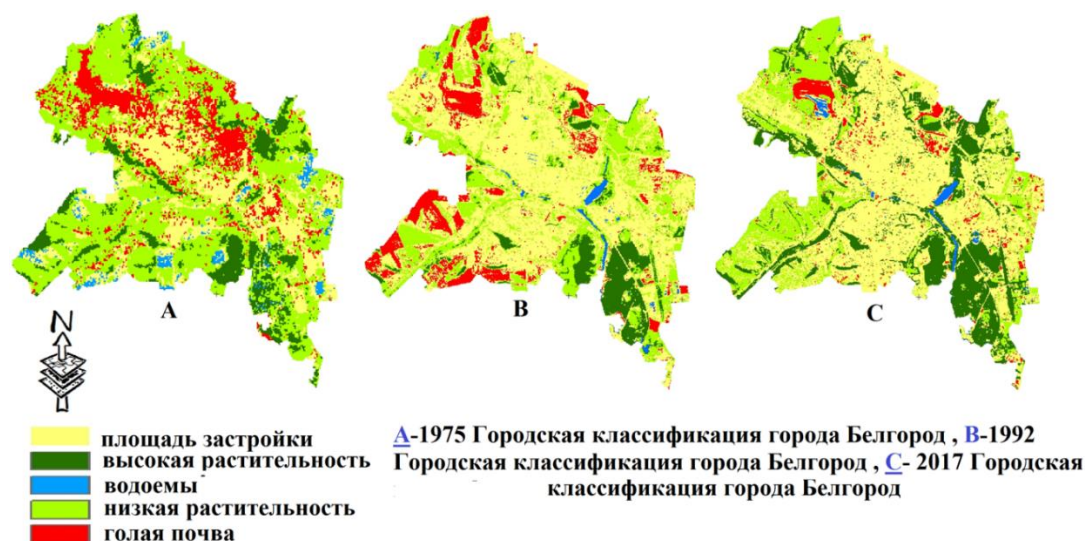


Рис. 5. Классификация территории по землепользования

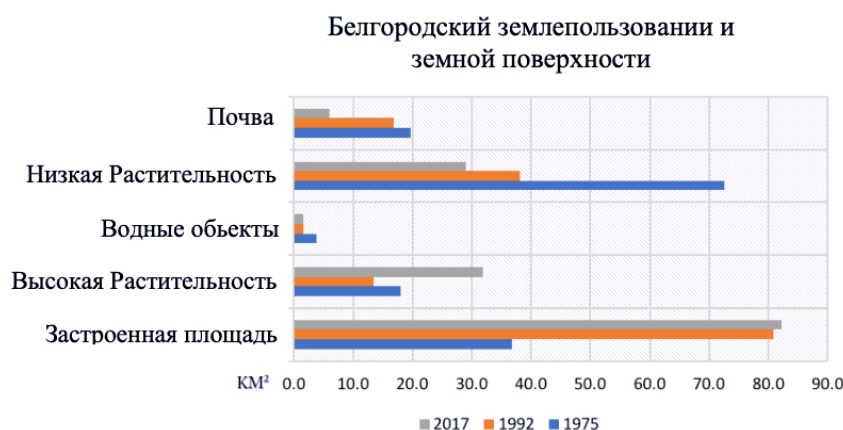


Рис. 6. Диаграмма результатов

Таблица 1

Виды землепользования и их процентное соотношение по годам

Факторы	1975	1992	2017
Застроенная площадь	36.7 Km ²	80.8 Km ²	82.2 Km ²
Высокая Растительность	18.1 Km ²	13.4 Km ²	31.9 Km ²
Водные объекты	3.9 Km ²	1.6 Km ²	1.6 Km ²
Низкая Растительность	72.6 Km ²	38.1 Km ²	29.0 Km ²
Почва	19.7 Km ²	16.9 Km ²	6.0 Km ²

Исследования землепользования и земной поверхности с помощью метода дистанционного зондирования могут обеспечить достаточно полную картину, наглядно демонстрирующую процессы землепользования городской среды. Такие исследования очень важны для лиц, принимающих решения для возможности моделирования и оптимизации процессов землепользования, создания качественной городской среды и поддержания экологического равновесия. Однако для таких исследований требуются данные с высоким разрешением или эффективное разрешение в некоторой степени. В

связи с тем, что при дистанционном зондировании данные имеют четыре типа разрешения, которые являются пространственными, радиометрическими, спектральными и временными. Если пространственное разрешение данных изображений составляет 60 м, это означает, что любой объект размером менее 60 м не будет правильно смоделирован или вообще не будет смоделирован. Одна из проблем, с которыми столкнулись в этом исследовании, заключается в том, что изображение Landsat MSS 1975 года имеет пространственное разрешение 60 м, но в некоторых

районах основная река в Белгороде имеет ширину, менее чем 60 м, это означает, что река не смоделирована в водоемы. Это ожидаемые неточности (погрешности), поэтому следует ограничивать вход данных, чтобы не получить нереалистичные результаты. Временное, радиометрическое и спектральное разрешение также должно соответствовать основным целям исследования.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Dimyati M., et al., An analysis of land use/cover change in Indonesia // *International Journal of Remote Sensing*, 1996. 17(5): p. 931–944.
2. Canty, M.J., Image analysis, classification and change detection in remote sensing: with algorithms for ENVI/IDL and Python. 2014: Crc Press.
3. Hobbs R.J., Harris J.A. Restoration ecology: repairing the earth's ecosystems in the new millennium // *Restoration ecology*. 2001. 9(2): p. 239–246.
4. Riebsame W.E., Meyer W.B., Turner B. Modeling land use and cover as part of global environmental change // *Climatic change*. 1994.28(1-2), p. 45–64.
5. Alonso-Pérez F. et al. Land cover changes and impact of shrimp aquaculture on the landscape in the Ceuta coastal lagoon system, Sinaloa, Mexico // *Ocean & Coastal Management*. 2003. 46(6-7), p. 583–600.
6. Narumalani S., Mishra D.R., Rothwell R.G. Change detection and landscape metrics for inferring anthropogenic processes in the greater EFMO area. *Remote Sensing of Environment*, 2004. 91(3-4), p. 478–489.
7. DeFries, R.S., J.A. Foley, Asner G.P. Land-use choices: Balancing human needs and ecosystem function. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 2004. 2(5): p. 249–257.
8. Lu D., et al. Change detection techniques. *International journal of remote sensing*, 2004. 25(12): p. 2365–2401.
9. Yuan F., et al. Land cover classification and change analysis of the Twin Cities (Minnesota) Metropolitan Area by multitemporal Landsat remote sensing. *Remote sensing of Environment*, 2005. 98(2-3): p. 317–328.
10. Chen X.-L., et al., Remote sensing image-based analysis of the relationship between urban heat island and land use/cover changes // *Remote sensing of environment*. 2006. 104(2): p. 133–146.
11. Catlow, C.R.A., B. Smit, and R. van Santen, Computer modelling of microporous materials. 2004: Elsevier.
12. Li P., Jiang L., Feng Z. Cross-comparison of vegetation indices derived from Landsat-7 enhanced thematic mapper plus (ETM+) and Landsat-8 operational land imager (OLI) sensors // *Remote Sensing*. 2013. 6(1): p. 310–329.
13. Wulder M.A., et al. Opening the archive: How free data has enabled the science and monitoring promise of Landsat // *Remote Sensing of Environment*. 2012. 122: p. 2–10.
14. Im J., Jensen J.R. A change detection model based on neighborhood correlation image analysis and decision tree classification // *Remote Sensing of Environment*. 2005. 99(3): p. 326–340.
15. Bruzzone L., Prieto D.F. An adaptive semiparametric and context-based approach to unsupervised change detection in multitemporal remote-sensing images // *IEEE Transactions on image processing*. 2002. 11(4): p. 452–466.
16. Song C., et al. Classification and change detection using Landsat TM data: when and how to correct atmospheric effects? // *Remote sensing of Environment*. 2001. 75(2): p. 230–244.
17. Yang L., et al., Urban land-cover change detection through sub-pixel imperviousness mapping using remotely sensed data // *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*. 2003. 69(9): p. 1003–1010.
18. Tewkesbury A.P., et al. A critical synthesis of remotely sensed optical image change detection techniques // *Remote Sensing of Environment*. 2015. 160: p. 1–14.
19. Zhu, Z. and C.E. Woodcock, Continuous change detection and classification of land cover using all available Landsat data // *Remote sensing of Environment*. 2014. 144: p. 152–171.
20. Lambin E.F., H.J. Geist, and E. Lepers, Dynamics of land-use and land-cover change in tropical regions // *Annual review of environment and resources*. 2003. 28(1): p. 205–241.
21. Civco D.L. et al A comparison of land use and land cover change detection methods. in *ASPRS-ACSM Annual Conference*. 2002.
22. Miller, D.M., E.J. Kaminsky, and S. Rana, Neural network classification of remote-sensing data. *Computers & Geosciences*, 1995, 21(3): p. 377–386.
23. UN. City population by sex, city and city type. 2012; Available from: <http://data.un.org>.
24. Kottek M. et al. World map of the Köppen-Geiger climate classification updated. *Meteorologische Zeitschrift*, 2006. 15(3): p. 259–263.
25. Wang Z. et al. Effect of surface roughness, wavelength, illumination, and viewing zenith angles on soil surface BRDF using an imaging BRDF approach // *International journal of remote sensing*. 2014. 35(19): p. 6894–6913.
26. WEF, How green is your city? 2017.

Поступила в декабре 2018 г.

© Аль-Савафи М. Х., Перькова М.В., Аль-Джабери А.А.Х., 2019

Информация об авторах

Аль-Савафи Мохаммед Хасан, аспирант кафедры архитектуры. E-mail: Abokharima@gmail.com. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова д. 46.

Перькова Маргарита Викторовна, кандидат архитектуры, доцент, заведующий кафедрой архитектуры и градостроительства. E-mail: perkova.margo@mail.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова д. 46.

Аль-Джабери Ахмед Абдулсалам Ханаш, аспирант, кафедрой архитектуры и градостроительства. E-mail: ahmeda.hanash@uokufa.edu.iq. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова д. 46.

^{1,*}**Al-Sawafi M.H., ¹Perkova M.V., ¹Al-Jaberi A.A.H.**

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

**E-mail: Abokharima@gmail.com*

STUDY OF CHANGES IN THE LAND USE OF BELGOROD WITH REMOTE SENSING AND GIS METHODS

Abstract. Research in the field of land use and land surface is important for a variety of topics and issues. Sustainable development depends largely on monitoring the effects of changes. This study is being discussed in the Belgorod region of the Russian Federation. Factors that are studied and highlighted: built-up areas, greenery, water and empty ground. In the period from 1975 to 1992 and from 1992 to 2017 changes have occurred. The data is obtained from the USGS and EOS Land Viewer data collection archive.

The accuracy of simulated changes is limited by radiometric resolution. The results show dynamics of urban space development, since each period under consideration has its own direction of growth. The classification method used in the comparative study is the neural network. Three thematic maps of Belgorod are the outcomes of this study. They reflect the density of buildings, landscaping and watering of the territory.

Keywords: land use, land surface, geomatics, GIS, remote sensing.

REFERENCE

1. Dimyati M., et al., An analysis of land use/cover change in Indonesia. International Journal of Remote Sensing, 1996, 17(5), pp. 931–944.
2. Canty M.J. Image analysis, classification and change detection in remote sensing: with algorithms for ENVI/IDL and Python, 2014: Crc Press.
3. Hobbs R.J., Harris J.A., Restoration ecology: repairing the earth's ecosystems in the new millennium. Restoration ecology, 2001, 9(2), pp. 239–246.
4. Riebsame, W.E., Meyer W.B., Turner B. Modeling land use and cover as part of global environmental change. Climatic change, 1994, 28(1-2), pp. 45–64.
5. Alonso-Pérez F., et al. Land cover changes and impact of shrimp aquaculture on the landscape in the Ceuta coastal lagoon system, Sinaloa, Mexico. Ocean & Coastal Management, 2003, 46(6-7), pp. 583–600.
6. Narumalani S., Mishra D.R., Rothwell R.G. Change detection and landscape metrics for inferring anthropogenic processes in the greater EFMO area. Remote Sensing of Environment, 2004, 91(3-4), pp. 478–489.
7. DeFries R.S., Foley J.A., Asner G.P. Land-use choices: Balancing human needs and ecosystem function. Frontiers in Ecology and the Environment, 2004, 2(5), pp. 249–257.
8. Lu D., et al., Change detection techniques. International journal of remote sensing, 2004, 25(12): pp. 2365–2401.
9. Yuan F., et al., Land cover classification and change analysis of the Twin Cities (Minnesota) Metropolitan Area by multitemporal Landsat remote sensing. Remote sensing of Environment, 2005, 98(2-3), pp. 317–328.
10. Chen, X.-L., et al., Remote sensing image-based analysis of the relationship between urban heat island and land use/cover changes. Remote sensing of environment, 2006, 104(2), pp. 133–146.
11. Catlow, C.R.A., B. Smit, and R. van Santen, Computer modelling of microporous materials, 2004: Elsevier.
12. Li P., Jiang L., Feng Z. Cross-comparison of vegetation indices derived from Landsat-7 enhanced thematic mapper plus (ETM+) and Landsat-8

operational land imager (OLI) sensors. Remote Sensing, 2013, 6(1), pp. 310–329.

13. Wulder M.A., et al., Opening the archive: How free data has enabled the science and monitoring promise of Landsat. Remote Sensing of Environment, 2012, 122, pp. 2–10.

14. Im J., Jensen J.R. A change detection model based on neighborhood correlation image analysis and decision tree classification. Remote Sensing of Environment, 2005, 99(3), pp. 326–340.

15. Bruzzone L., Prieto D.F. An adaptive semiparametric and context-based approach to unsupervised change detection in multitemporal remote-sensing images. IEEE Transactions on image processing, 2002, 11(4), pp. 452–466.

16. Song C., et al., Classification and change detection using Landsat TM data: when and how to correct atmospheric effects? Remote sensing of Environment, 2001, 75(2), pp. 230–244.

17. Yang L., et al., Urban land-cover change detection through sub-pixel imperviousness mapping using remotely sensed data. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, 2003, 69(9), p. 1003–1010.

18. Tewkesbury A.P., et al., A critical synthesis of remotely sensed optical image change detection techniques. Remote Sensing of Environment, 2015, 160, pp. 1–14.

19. Zhu Z., Woodcock C.E. Continuous change detection and classification of land cover using all available Landsat data. Remote sensing of Environment, 2014, 144, pp. 152–171.

20. Lambin E.F., Geist H.J., Lepers E. Dynamics of land-use and land-cover change in tropical regions. Annual review of environment and resources, 2003, 28(1), pp. 205–241.

21. Civco D.L., et al. A comparison of land use and land cover change detection methods. in ASPRS-ACSM Annual Conference, 2002.

22. Miller D.M., E.J. Kaminsky, and S. Rana, Neural network classification of remote-sensing data. Computers & Geosciences, 1995, 21(3), pp. 377–386.

23. UN. City population by sex, city and city type. 2012; Available from: <http://data.un.org>.

24. Kottek M., et al., World map of the Köppen-Geiger climate classification updated. Meteorologische Zeitschrift, 2006, 15(3), pp. 259–263.

25. Wang Z., et al., Effect of surface roughness, wavelength, illumination, and viewing zenith angles on soil surface BRDF using an imaging BRDF approach. International journal of remote sensing, 2014, 35(19), pp. 6894–6913.

26. WEF, How green is your city? 2017.

Received in December 2018

Information about the author

Al-Sawafi, Mohammed Hasan. Postgraduate of architecture. E-mail: Abokharima@gmail.com, Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Perkova, Margarita V. Ph.D., Assistant professor at the Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Al-Jaberi, Ahmed Abdulsalam Hanash. Postgraduate of architecture. E-mail: ahmeda.hanash@uokufa.edu.iq, Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Для цитирования:

Аль-Савафи М.Х., Перькова М.В., Аль-Джабери А.А.Х. Изучение изменений в землепользовании территории г. Белгорода с использованием дистанционного зондирования и гис методов // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2019. №1. С. 103–111. DOI: 10.12737/article_5c506230c1b058.24738025

For citation:

Al-Sawafi M.H., Perkova M.V., Al-Jaberi A.A.H. Study of changes in the land use of Belgorod with remote sensing and gis methods. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov, 2019, no. 1, pp. 103–111. DOI: 10.12737/article_5c506230c1b058.24738025

ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ

DOI: 10.12737/article_5c50623b8c5938.64374046

^{1,*}Тарасенко В.Н.¹Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова
Россия, 308012, г. Белгород, ул. Костюкова, д. 46

*E-mail: tarasenko.vn@bstu.ru

К ВОПРОСУ О СТАБИЛЬНОСТИ ПЕННОЙ МАТРИЦЫ В ПЕНОБЕТОНЕ

Аннотация. В статье изложено влияние добавок – сульфатов на основные свойства пен (устойчивость, кратность, однородность, синерезис) с целью их дальнейшего использования в производстве неавтоклавного пенобетона. Для исследований были выбраны ускорители схватывания цемента с целью возможной интенсификации литьевой технологии ячеистых бетонов. Решение данной проблемы лежит в области оценки основных параметров смешения, выборе сырьевых материалов, доступности добавок и общей технологичности процесса производства. В статье уточнено влияние ускорителей схватывания совместно с добавками, стабилизаторами пенной матрицы, на стойкость, кратность и синерезис. Отдельно рассмотрено влияние рН-среды на первичные характеристики пен, полученных на основе пенообразователя «Пеностром». Выявлены закономерности влияния константы гидролиза добавки на кратность получаемой пены, оценивались возможности изменения рН-показателя среды на устойчивость пенной матрицы и первичный синерезис. Даны рекомендации по использованию некоторых сульфатов совместно с загустителями пен в технологии неавтоклавного пенобетона.

Ключевые слова: пенная матрица, структурная неоднородность, эффективность использования, стойкость, кратность, однородность, стабильность, синерезис.

Введение. Технологическая проблема интенсификации процесса схватывания неавтоклавного пенобетона может иметь несколько путей решения: прогрев форм или повышение температуры окружающей среды или сырьевой смеси [1, 2, 3], использование ускорителей схватывания [4, 5].

Исследование влияния солей жесткости и возможности корректировки структурной вязкости и однородности системы пенобетонного массива за счет совместного введения ускорителей и стабилизирующих пену компонентов являются одним из путей решения данной проблемы. В силу различий в сырьевых материалах и отсутствии подхода по их обоснованному подбору, использование различных по природе и эффективности пенообразователей, добавок – стабилизаторов и т.д. возможности малых предприятий зачастую ограничены, высокая конкуренция на рынке строительных материалов и высокая себестоимость стали основными сдерживающими факторами на пути к улучшению технологичности процесса производства литьевого пенобетона.

Основная часть. В работе [6] показано, что максимум высоты столба пены из растворов алкилсульфатов натрия соответствует определенной концентрации электролита, причем пенообразующая способность обратно пропорциональна радиусу гидратированных одновалентных катионов электролита. Увеличение заряда

катиона также повышает пенообразующую способность алкилсульфатов [7]. В работе [8] показано, что введение электролитов оказывает различное влияние на стабильность пузырьков пены. Если адсорбционный слой не насыщен молекулами ПАВ, введение электролита несколько повышает стабильность пузырьков пены, что подтверждается опытами.

Для исследований были выбраны соли электролитов, ускоряющие процессы твердения цемента: сульфаты аммония, калия, натрия, магния. Концентрация добавок варьировалась в пределах 0,5...2 % с шагом 0,5 %. Для исследований использовали пенообразователи АОС и «Пеностром» в рабочей концентрации 0,08 % [8, 9] (табл. 1).

Наилучшим образом в пенной системе анионного пенообразователя АОС работает 1...1,5 % $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, позволяющий увеличить стойкость пены на 10...25 %, увеличить кратность до 20...24. MgSO_4 в указанной концентрации позволяет получить лишь низкократные пены (кратность 7–8,3), что является недостаточным для производства пенобетона. Na_2SO_4 в исследуемом интервале концентраций повышает кратность пены на основе АОС, но стабильность системы в целом ухудшается. K_2SO_4 в количестве 0,5...1 % позволил увеличить стойкость пены практически до 6,4 ч (на 60 %) (рис. 1). Есть основание предполагать, что введение подобных добавок ускорит процесс схватывания и твердения пенобетонной смеси.

Таблица 1

Влияние электролитов на стойкость пен анионного пенообразователя АОС (концентрация пенообразователя 0,08 %, стойкость «чистой» пены 4 часа, кратность – 13,7)

Название соли	Характеристики пен при введении соли электролита, %							
	0,5		1,0		1,5		2,0	
	Стойкость	Кратность	Стойкость	Кратность	Стойкость	Кратность	Стойкость	Кратность
$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	4-10	19,7	4-20	21,4	5-00	24,3	5-10	13,7
MgSO_4	5-20	7,1	6-40	8,3	5-20	7,1	5-00	14,3
Na_2SO_4	3-00	15,1	3-40	24,6	3-00	27,7	3-00	27,4
K_2SO_4	5-40	8,3	5-55	24,6	4-20	21,1	4-06	14,6

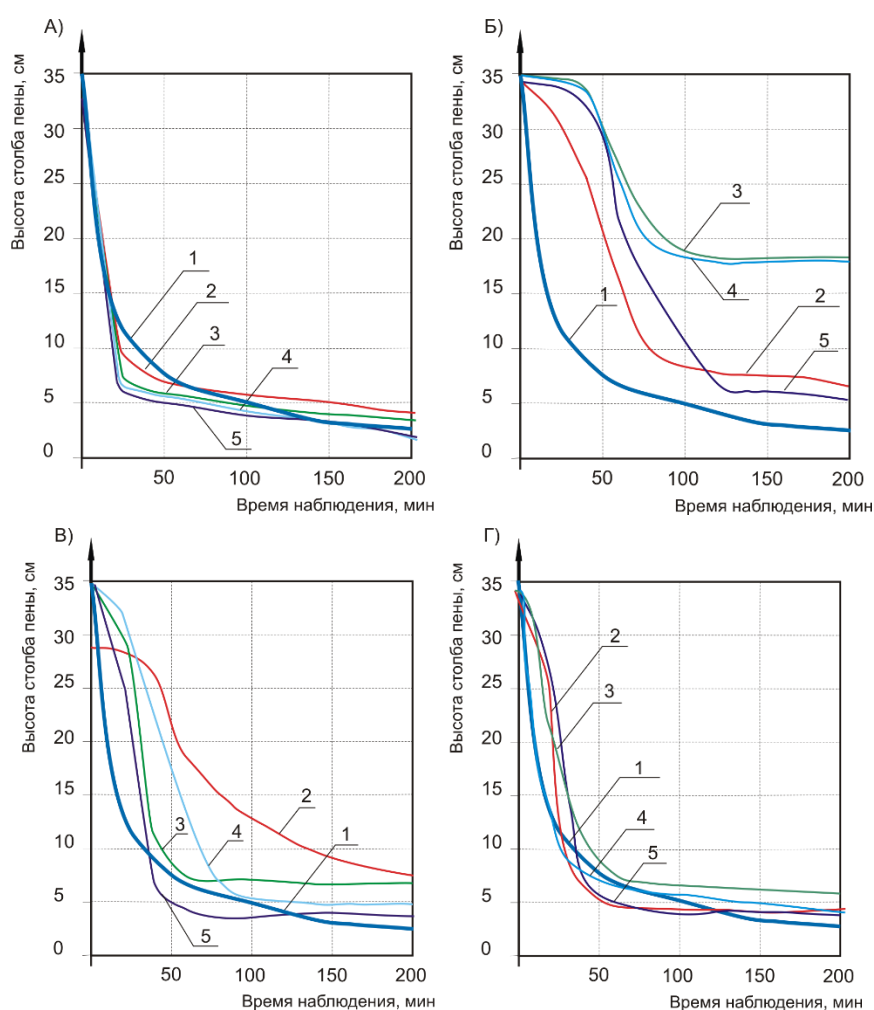


Рис. 1. Влияние солей электролитов на устойчивость пен анионного пенообразователя АОС, где в качестве добавки использован: А – $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$; Б – MgSO_4 ; В – K_2SO_4 ; Г – Na_2SO_4 ; при этом концентрация добавки в системе составляла: 1 – 0 %; 2 – 0,5 %; 3 – 1,0 %; 4 – 1,5 %; 5 – 2,0 %.

Пенообразователь «Пеностром» представляет собой смесь сульфата натрия с добавлением стабилизирующих компонентов. Изучено влияние добавок – электролитов сульфатов на основные характеристики пен (табл. 2).

Сравнивая основные показатели пен, полученных на основе АОС и «Пеностром» следует

отметить, что пены «Пеностром» обладают изначально меньшей стойкостью при сравнимой кратности. Оценивая действие сульфатов на основные характеристики пен следует отметить, что увеличение их концентрации в системе негативно влияет на устойчивость пен, однако, первичный объем пены возрастает на 15–20 %.

Таблица 2

Влияние электролитов на стойкость пен анионного пенообразователя «Пеностром»
(концентрация пенообразователя 0,08 %, стойкость «чистой» пены 2-30 часа, кратность – 14,3)

Название соли	Характеристики пен при введении соли электролита, %							
	0,5		1,0		1,5		2,0	
	Стойкость	Кратность	Стойкость	Кратность	Стойкость	Кратность	Стойкость	Кратность
(NH ₄) ₂ SO ₄	2-20	17,4	2-00	17,1	1-45	16,8	0-50	15,9
MgSO ₄	2-40	14,9	2-20	16,4	1-50	16,5	1-25	16,7
Na ₂ SO ₄	3-40	14,8	3-10	15,1	2-10	15,7	1-45	15,7
K ₂ SO ₄	2-45	15,7	2-25	16,3	2-55	17,2	1-50	16,8

Влияние солей жесткости особенно заметно для поверхностно-активных соединений, содержащих в алкильной цепи 12 и более атомов углерода [1]. Растворы соединений с 10 атомами углерода в молекуле менее подвержены действию солей жесткости. Первичные и вторичные алкилсульфаты и алкилсульфонаты обладают пониженной вспениваемостью в жесткой воде, неионогенные ПАВ не снижают в ней пенообразующую способность [10]. Для улучшения пенообразующей способности растворов ПАВ в различных условиях применения в состав композиций вводят специальные добавки (например, фосфаты, увеличивающие объем пены и ее стабильность, карбоксиметилцеллюлозу, полиакриамид, поливиниловый спирт, гидролизованные белки, латексы [11–13]). Эти вещества, увеличивая вязкость раствора и пенных пленок способствуют замедлению синерезиса. Пены из растворов алкилсульфонатов натрия стабилизируются жирными спиртами и некоторыми эфирами, в при-

сутствии которых резко снижается проницаемость пленок для воздуха и увеличивается вязкость поверхностного слоя, однако это проявляется в очень узкой области концентраций.

Добавки – стабилизаторы пенной матрицы вызывают значительное снижение критической концентрации мицеллообразования раствора ПАВ. Наиболее эффективны те, в молекуле которых имеются неразветвленная цепь и полярные группы, способные образовывать водородные связи с молекулами воды (-ОН, -NH₂, =NH и др.). Если в растворе содержатся ПАВ различного типа, эффект стабилизации может быть обусловлен образованием смешанных мицелл, состоящих из молекул неионогенного и анионного ПАВ.

Влияние pH-среды водных растворов ПАВ изучалось многими авторами [4, 7, 11, 13]. При этом следует отметить, что изменение pH-среды от нейтральной к слабокислой (табл. 3) является критичным для устойчивости пен, полученных на основе «Пеностром» (рис. 2).

Таблица 3

Влияние концентрации электролитов в растворах ПАВ на pH-среды
(концентрация пенообразователя 0,08%)

Название соли	Константа диссоциации вещества [2]	Расчетное значение константы Гидролиза K _{гидр.}	Логарифмическое значение константы гидролиза (-log K _{гидр.})	Расчетный показатель pH-раствора при концентрации электролита в системе, мас. %		
				0,5	1,0	1,5
(NH ₄) ₂ SO ₄	1,79×10 ⁻⁵	0,0559×10 ⁻⁸	0,301	5,81	5,65	5,57
MgSO ₄	2,5×10 ⁻³	0,400×10 ⁻¹¹	2,397	7,08	6,93	6,84
Na ₂ SO ₄	5,9	1,695×10 ⁻¹⁴	5,523	8,12	7,96	7,87
K ₂ SO ₄	2,9	0,344×10 ⁻¹⁴	4,795	8,50	8,35	8,26

В малых концентрациях кислотные электролиты позволяют улучшить показатели пен, полученных на основе «Пеностром». В условиях одноименности знака заряда диссоциированного электролита и молекул ПАВ адсорбция последних способствует повышению устойчивости ионостабилизированной системы за счет роста

плотности заряда частиц на границе раздела фаз «воздух – раствор». Граница раздела фаз, имеющая первичный заряд ионов от пенообразователя достраивает недостающий баланс, стремится к ионостабилизированным кластерным системам. При этом, чем более однороден заряд кластерной

системы по всему пузырьку, тем более стабильна система в целом.

Несомненно, следует учитывать константу гидролиза химической добавки, вводимой в пен-

ную матрицу и показатель pH-среды при использовании в производстве пенобетона неавтоклавного твердения с использованием ионогенного пенообразователя.

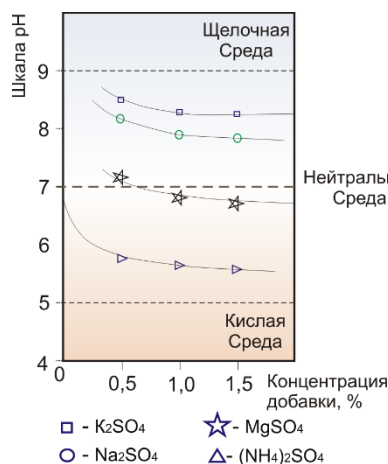


Рис. 2. Влияние концентрации сульфата на pH-среды раствора анионного пенообразователя.

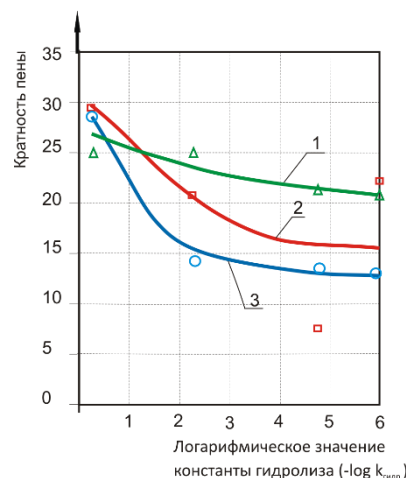


Рис. 3. Влияние константы гидролиза электролита в водном растворе пенообразователя на кратность пены при его концентрации в системе: 1 – 1%; 2 – 1,5%; 3 – 2%.

Оценка синерезиса (рис. 4) указывает на открытый характер истечения жидкости из пены. Каналы Плато – Гиббса при введении сульфатов достаточно широки, за первые 40–60 минут наблюдения пенная матрица теряет до 60–80 % первичного водного раствора, переходит из монодисперсной в полидисперсную и далее ее стойкость лимитируется лишь внешними факторами (температура окружающей среды, раствора и т.д.), рассмотренными ранее в [13].

Увеличение стойкости пен без реструкции матрицы необходимо для обеспечения стабильности свойств пенобетонных изделий на производстве. Отталкиваться в этом случае следует от времени начала схватывания, которое для пенобетонов неавтоклавного твердения должно быть не более 3 часов. В этот период пенная матрица должна обладать максимальной стабильностью и жесткостью.

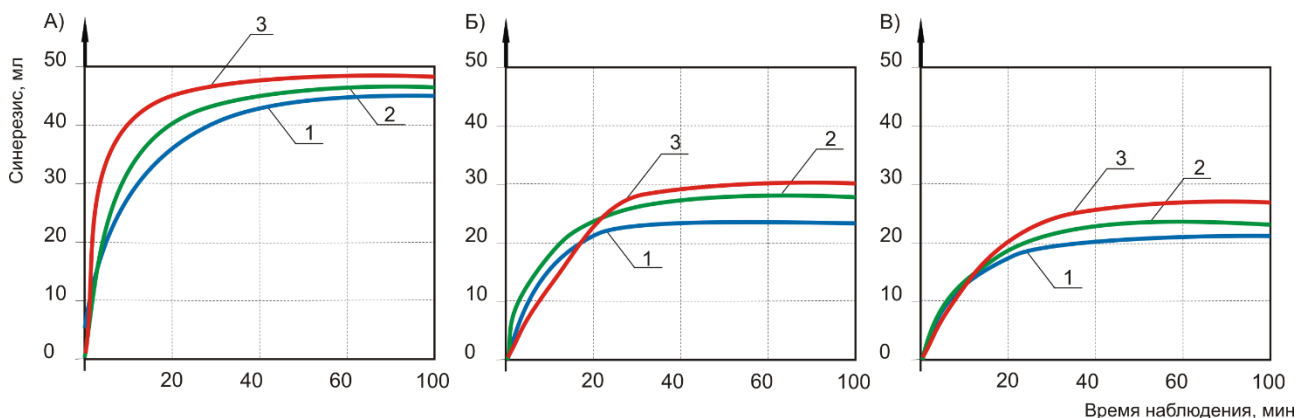


Рис. 4. Истечение жидкости из пены, приготовленной на пенообразователе «Пеностром» с введением стабилизатора пенной матрицы – гидролизованного крахмала при его концентрации в системе: А – 0%; Б – 0,05%; В – 0,10%; так же варьировалась концентрация K_2SO_4 : 1 – 0,5%; 2 – 1%; 3 – 1,5 %

В качестве стабилизатора пенной структуры использовался гидролизованный крахмал в количестве от 0,5 до 2 % с шагом 0,5. Истечение жидкости из пены при этом уменьшилось в первые 60

минут наблюдения более чем в два раза. Структура пенной матрицы при этом стала более однородной (рис. 5) и монодисперсной.

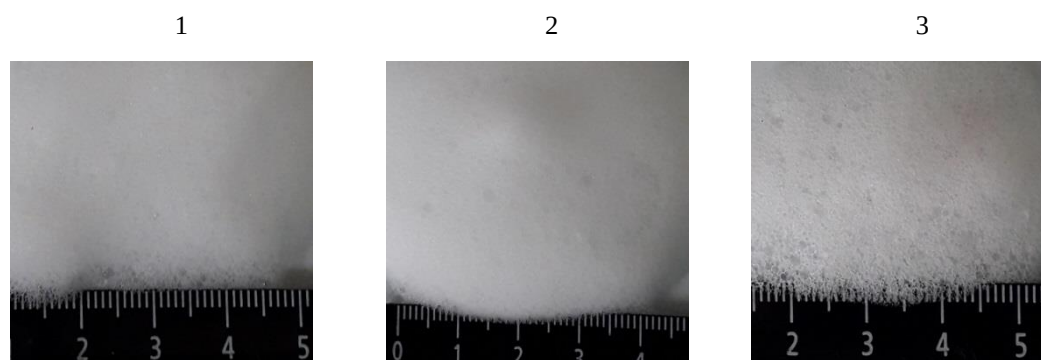


Рис. 5. Влияние добавки – стабилизатора пенной матрицы на структуру пены, изготовленной с использованием 0,08 % «Пеностром» при концентрации гидролизованного крахмала: 1 – 0,5 %; 2 – 1,0 %; 3 – 1,5 %.

Через 12 часов наблюдения синерезис достигал 35 % общего объема первичного раствора. При этом пена перешла в разряд жестких с четко сформированным каркасом.

Использование добавки, повышающей вязкость пенной матрицы, позволяет частично нивелировать негативное воздействие солей жесткости, снизить синерезис в 2 раза, добиться показателей устойчивости (6...8 часов) и однородности пенной матрицы. Повышение вязкости раствора позволяет предложить более высокие эксплуатационные характеристики пен, в том числе, и при производстве пенобетона.

Заключение. Сульфаты аммония, натрия и кальция сравнительно слабо влияют на кратность и стойкость пен, однако не все они представляют интерес, как добавки к пенобетонным смесям, так как ион аммония разлагается в щелочной среде портландцементных систем с выделением газообразного аммиака. Сульфат магния в оптимальной дозировке 1–1,5 % хорошо стабилизирует пену, но в жидкой фазе идет реакция выпадения в осадок гидроксида магния. В связи с этим соли магния не представляют интереса, как добавки в пенобетон. Сульфат калия в количестве 0,5 % оказывает стабилизирующее действие на пену, особенно в первый час, поэтому его можно использовать в качестве ускорителя схватывания пенобетона неавтоклавного твердения, обладающего стабилизирующим эффектом. Повышение вязкости раствора за счет совместного введения соли электролита в гидролизованного крахмала позволяет улучшить основные характеристики пен в 2–2,5 раза.

Выводы. Влияние солей электролитов на пенную матрицу неоднозначно, в качестве добавок при производстве ячеистых пенобетонных смесей следует использовать, оценив предварительно возможности взаимодействия с отдельными пенообразователями, стабилизирующими и ускоряющими процесс твердения добавками. Следует учитывать, что данные, приведенные в работе,

были получены с использованием анионного пенообразователя.

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

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Меркин А.П. Ячеистые бетоны, научные и практические предпосылки дальнейшего развития // Строительные материалы. № 5. 1995. С. 57.
2. Новый справочник химика и технолога [Электронный ресурс]: электронная книга / под ред. Г. М. Островского [и др.]. М.: НПО «Профессионал», 2007.
3. Муромский К.П. Ячеистый бетон в наружных стенах зданий // Бетон и железобетон. № 5. 1996. С. 31–32.
4. Тихомиров В.К. Пены. Теория и практика их получения и разрушения. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Химия, 1983. 265 с.
5. Сватовская Л.Б., Овчинникова В.П., Соловьева В.С. и др. Управление активностью цементных смесей с использованием добавок типа «Элби» // Цемент. №2. 1996. С. 28–32.
6. Рахимбаев Ш.М., Дегтев И.А., Тарасенко В.Н., Аниканова Т.В. К вопросу снижения усадочных деформаций изделий из пенобетона // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2007. № 12. С. 41–44.
7. Тарасенко В.Н. Ячеистые бетоны в малоэтажном жилищном строительстве // в сб.: Научный поиск в современном мире. Сборник материалов 10-й международной науч.-практ. конф. 2015. С. 142–143.
8. Сулейманова Л.А., Кара К.А. Энергосберегающие технологии высокопоризованных бетонов // в сб.: Белгородская область: прошлое, настоящее, будущее. Мат. обл. науч.-практ. конф. в 3-х ч. 2011. С. 98–102.

9. Тарасенко В.Н. Прогнозирование звуко-изолирующих свойств ячеистобетонных композитов // В сб.: Интеллектуальные строительные композиты для зеленого строительства. Сб. докладов Международной научно-практической конференции, посвященной 70-летию заслуженного деятеля науки РФ, члена-корреспондента РААСН, доктора технических наук, профессора Валерия Станиславовича Лесовика: В 3 частях. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. 2016. С. 135–140.

10. Тарасенко В.Н. Неразрушающие методы контроля ячеистобетонных строительных материалов // В сб.: Наукоемкие технологии и инновации. Сборник докладов Международной научно-практической конференции. 2016. С. 194–198.

Информация об авторах

Тарасенко Виктория Николаевна, кандидат технических наук, доцент. E-mail: tarasenko.vn@bstu.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Поступила в декабре 2018 г.

© Тарасенко В.Н., 2019

^{1,*}**Tarasenko V.N.**

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

Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46

*E-mail: tarasenko.vn@bstu.ru

TO THE ISSUE OF FOAMED MATRIX STABILITY IN THE FOAM CONCRETE

Abstract. The article describes the effect of additives – sulfates on the basic properties of foams (stability, multiplicity, uniformity, syneresis) for their further use in the production of non-autoclaved foam concrete. Accelerators of cement setting are chosen for the research in order to intensify the injection molding technology of cellular concrete. The solution to this problem lies in the evaluation of main parameters of mixing, the choice of raw materials, the availability of additives and the overall process of production. The article clarifies the influence of setting accelerators together with additives, foam matrix stabilizers, on stability, multiplicity and syneresis. The influence of pH-medium on the primary characteristics of foams obtained on the basis of foaming agent "Penostrom" is considered. The effects of the additive hydrolysis constant on the multiplicity of the foam are identified; the possibilities of changing the pH of the medium on the stability of the foam matrix and primary syneresis are evaluated. Recommendations on the use of some sulfates together with foam thickeners in the technology of non-autoclaved foam concrete are given.

Keyword: foam matrix, structural heterogeneity, efficiency of use, resistance, multiplicity, uniformity, stability, syneresis.

REFERENCES

1. Merkin A.P. Cellular concrete, scientific and practical background for further development. Construction and building materials, 1995, no. 5, p. 57.

2. New Handbook of chemist and technologist [Electronic resource]: e-book / pod. ed. G.M. Ostrovsky [et al.]. M.: NGO "Professional", 2007.

3. Muromsky K.P. Cellular concrete in the outer walls of buildings. Concrete and reinforced concrete, no. 5, 1996, pp. 31–32.

11. Махамбетова У.К., Солтамбеков Т.К., Естемесов З.А. Современные пенобетоны. Под ред. П.Г. Комохова. С-Пб.: Петерб. гос. ун-т путей сообщ., 1997. 157 с.

12. Сулейманова Л.А. Высококачественные энергосберегающие и конкурентоспособные строительные материалы, изделия и конструкции // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2017. № 1. С. 9–16.

13. Повышение эффективности производства неавтоклавных пенобетонов с заданными свойствами: диссертация ... доктора технических наук: 05.23.05 / Шахова Любовь Дмитриевна. Белгород, 2007. 417 с.

4. Tikhomirov V.K. Foam. Theory and practice of their production and destruction. 2-e Izd., pererab. I DOP. M.: Chemistry, 1983, 265 p.

5. Svatovskaya L.B., Ovchinnikov V.P., Soloviev V.S., etc. Management activity of the cement mixtures with the use of additives of type "ELBI". Tsement, 1996, no. 2, pp. 28–32.

6. Rakhimbaev Sh.M., Degtev I., Tarasenko V.N., Anikanova T.V. On the reduction of shrinkage

deformations of foam concrete products. Proceedings of higher educational institutions. Construction, 2007, no. 12, pp. 41–44.

7. Tarasenko V.N. Cellular concrete in low-rise housing construction. In sat.: Scientific search in the modern world. Collection of materials of the 10th international scientific.- prakt. Conf. 2015, pp. 142–143.

8. Suleymanova L.A., Kara K.A. Energy-Saving technologies of high-level concrete. V SB.: Belgorod region: past, present, future. Mate. obl. nauch.-prakt. Conf. at 3: 2011, pp. 98–102.

9. Tarasenko V.N. Prediction of sound insulation properties of cellular concrete composites. In sat.: Intelligent building composites for green building. Sat. reports of the International scientific-practical conference devoted to the 70th anniversary of the honored scientist of the Russian Federation, corresponding member of RAASN, doctor of technical Sciences, Professor Valery Stanislavovich Lesovik:

in 3 parts. Belgorod State Technological University. V.G. Shukhov, 2016, pp. 135–140.

10. Tarasenko V.N. Non-destructive methods of control of cellular concrete building materials. In sat.: High technology and innovation. Collection of reports of the International scientific-practical conference, 2016, pp. 194–198.

11. Makhambetova U.K., Sultanbekov T.K., Estemesov Z.A. Modern foam concrete. Edited By P. G. Komokhov. S-Pb.: Peter. State University of ways of messages., 1997, 157 p.

12. Suleymanova L.A. High-Quality energy-saving and competitive building materials and constructions. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov, 2017, no. 1, pp. 9–16.

13. Improving the efficiency of production of non-autoclaved foam concrete with desired properties: thesis ... doctor of technical Sciences: 05.23.05. Shakhova Lyubov Dmitrievna. Belgorod, 2007, 417 p.

Information about the authors

Tarasenko, Viktoria N. PhD, Assistant professor. E-mail: tarasenko.vn@bstu.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Received in Desember 2018

Для цитирования:

Тарасенко В.Н. К вопросу о стабильности пенной матрицы в пенобетоне // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2019. №1. С. 112–118. DOI: 10.12737/article_5c50623b8c5938.64374046

For citation:

Tarasenko V.N. To the issue of foamed matrix stability in the foam concrete. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov, 2019, no. 1, pp. 112–118. DOI: 10.12737/article_5c50623b8c5938.64374046

МАШИНОСТРОЕНИЕ И МАШИНОВЕДЕНИЕ

DOI:10.12737/article_5c506246246cf7.72565493

^{1,*}Семикопенко И.А. ¹Воронов В.П. ¹Смирнов Д.В.¹Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

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

*E-mail: semikopenko.ia@bstu.ru

РАСЧЕТ МОЩНОСТИ, ЗАТРАЧИВАЕМОЙ НА ДВИЖЕНИЕ ДВУХФАЗНОЙ СРЕДЫ В ПАТРУБКЕ РЕЦИКЛА ДЕЗИНТЕГРАТОРА

Аннотация. В настоящее время дезинтеграторы являются одним из видов оборудования, применяемого при помоле, смешении и активации ряда материалов. Одним из преимуществ дезинтеграторов является возможность получения продукта помола с заданным зерновым составом. Для получения узкого гранулометрического состава продукта помола была создана экспериментальная установка с патрубком рецикла, обеспечивающего разгрузку готового продукта и возврат крупки на дополнительное измельчение в камеру помола. Патрубок рецикла представляет собой резиноканевую трубу круглого поперечного сечения с радиусом кривизны, обеспечивающим движение двухфазной среды из зоны разгрузки к загрузочной части дезинтегратора. При выполнении теоретических исследований процесса помола в данной установке необходимо определить энергетические затраты на движение двухфазной среды в патрубке рецикла.

В данной статье получено аналитическое выражение, позволяющее определить дополнительную потребляемую мощность, связанную с установкой патрубка рецикла. Дополнительная потребляемая мощность складывается из мощности, затрачиваемой на перемещение воздуха и мощности, затрачиваемой на перемещение частиц материала внутри патрубка рецикла.

Представлена расчетная схема для определения дополнительной потребляемой мощности дезинтегратора предлагаемой конструкции. Анализ полученной графической зависимости позволяет сделать вывод, что в рассматриваемом диапазоне изменения циклической частоты вращения роторов и радиуса кривизны патрубка рецикла увеличение потребляемой мощности имеет линейный характер.

Таким образом, полученное аналитическое выражение определяет величину дополнительной потребляемой мощности, связанной с установкой патрубка рецикла в дезинтегратор в зависимости от конструктивных и технологических параметров.

Ключевые слова: дезинтегратор, патрубок рецикла, материал.

В настоящее время дезинтеграторы являются одним из видов оборудования, применяемого при помоле, смешении и активации ряда материалов [1]. Одним из преимуществ дезинтеграторов является возможность получения продукта помола с заданным зерновым составом. Для получения узкого гранулометрического состава продукта помола была создана экспериментальная установка с патрубком рецикла, обеспечивающего возврат крупки на дополнительное измельчение в камеру помола (рис. 1). При выполнении теоретических исследований процесса помола в данной установке необходимо определить энергетические затраты на движение двухфазной среды в патрубке рецикла.

Определим величину дополнительной $P_{доп}$ мощности, которую необходимо затратить на движение двухфазной среды (воздух плюс частицы материала внутри патрубка рецикла).

Искомую величину мощности представим в следующем виде:

$$P_{доп} = P_g + P_m, \quad (1)$$

где P_g – величина мощности, затрачиваемая на перемещение массы воздуха внутри патрубка рецикла; P_m – величина мощности, затрачиваемая на перемещение частиц материала внутри патрубка рецикла.

Искомые значения мощности будут равны величине работы « A_g » на перемещение воздуха и частиц материала « A_m » отнесенные ко времени « t_a » нахождения выделенного объема воздуха и частиц материала в патрубке рецикла.

Далее будем предполагать, что время накопления частиц материала и выделенного объема воздуха (ΔV см. рисунок 1) в патрубке рецикла совпадают.

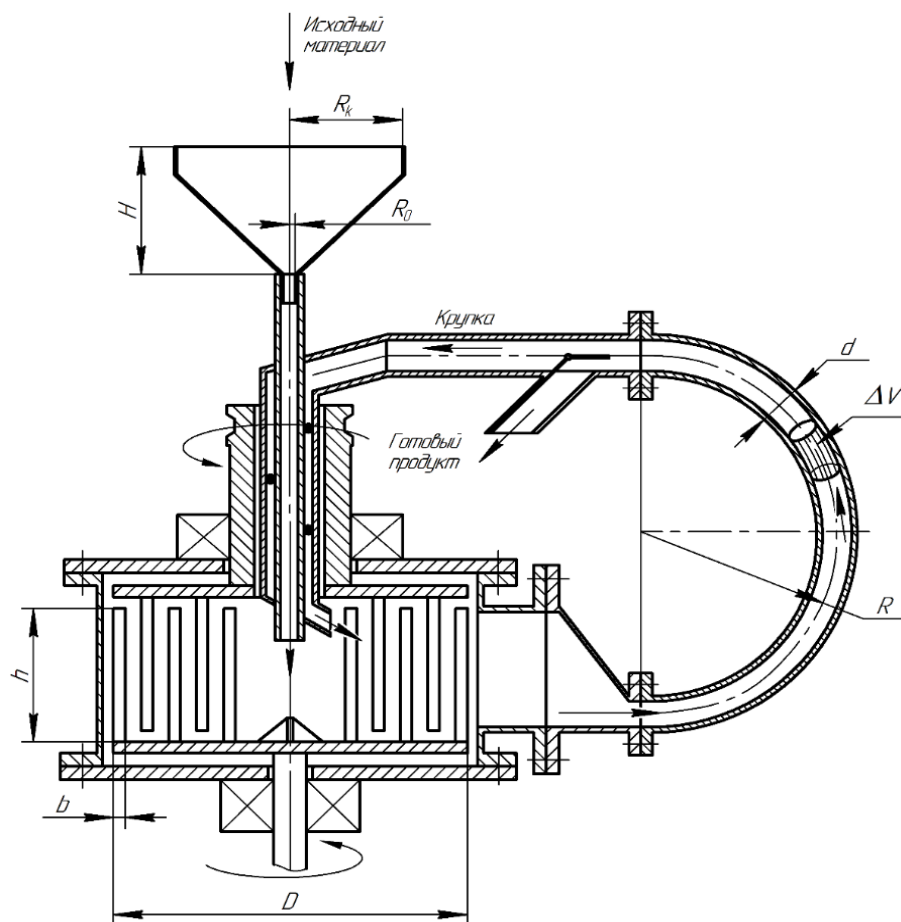


Рис. 1. Расчетная схема для определения мощности, затрачиваемой на движение двухфазной среды в патрубке рецикла дезинтегратора

Величину времени t_a можно найти как отношение пройденного пути $\pi \cdot R$ к среднему значению скорости v_{cp} движения выделенного объема воздуха. На основании сказанного можно записать следующие соотношения:

$$t_a = \frac{\pi \cdot R}{v_{cp}}, \quad (2)$$

где R – радиус кривизны патрубка рецикла, м

$$v_{cp} = \frac{v_\varphi + v_\varphi \left(\frac{\pi}{2} \right)}{2}, \quad (3)$$

где v_φ – тангенциальная скорость движения воздушного потока в криволинейном патрубке, м/с.

Подстановка (3) в (2) с учетом [2], [3] приводит к следующему результату

$$t_a = \frac{\beta_0}{\omega}, \quad (4)$$

где ω – циклическая частота вращения, c^{-1} ; и введено следующее обозначение:

$$\beta_0 \cong \frac{\pi \cdot R}{2b \cdot \left(\frac{D}{h} \right)^{\frac{3}{2}} \cdot \left(1 - 4 \frac{h}{D} \right) \cdot \left(1 + \frac{R \cdot q}{4\omega^2 b^2 \frac{D}{h} \left(1 - 8 \frac{h}{D} \right)} \right)^{\frac{1}{2}}}, \quad (5)$$

где D – наружный диаметр описанной окружности ударных элементов, м; b – ширина ударных элементов, м; h – высота ударных элементов, м; q – объемный расход крупнозернистого сыпучего материала через конический бункер, m^3/c .

Вычислим величину работы по перемещению выделенного объема воздуха в патрубке рецикла:

$$A_g = \frac{\pi^3}{4} \cdot \rho \cdot d^2 \cdot R^2 \cdot q, \quad (6)$$

где d – диаметр поперечного сечения патрубка рецикла, м; ρ – плотность воздуха, кг/м³.

Найдем величину работы по перемещению частиц материала в патрубке рецикла:

$$A_m = M_m \cdot q \cdot \pi \cdot R, \quad (7)$$

здесь M_m – масса частиц материала, перемещаемая в патрубке рецикла, величина данной массы определяется следующим соотношением:

$$M_m = \gamma \cdot q_0 \cdot t_a, \quad (8)$$

где γ – насыпная плотность материала, кг/м³; q_0 – объемный расход материала, проходящего через выходное отверстие конического бункера дезинтегратора, м³/с.

Соотношение (8) с учетом [4] принимает вид:

$$M_m = \pi \cdot \gamma \cdot R_0^2 \cdot \sqrt{\frac{q \cdot H \cdot R_0}{2 \cdot (R_k - R_0)}} \cdot t_a. \quad (9)$$

$$P_{don} = \pi^2 \cdot q \cdot R \cdot \left[\frac{\pi \cdot d^2 \cdot R \cdot \rho \cdot \omega}{4 \cdot \beta_0} + \gamma \cdot R_0^2 \sqrt{\frac{q \cdot H \cdot R_0}{2 \cdot (R_k - R_0)}} \right]. \quad (13)$$

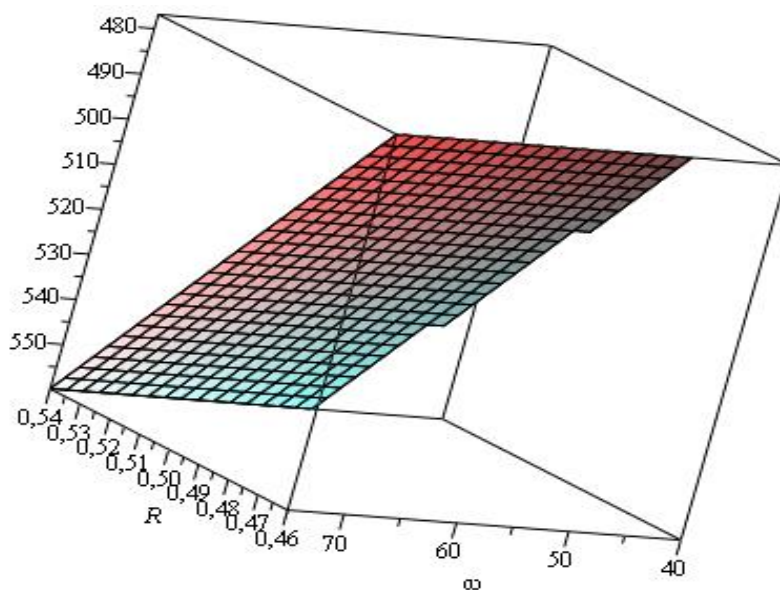


Рис. 2. Графическая зависимость дополнительной потребляемой мощности, связанной с установкой патрубка рецикла от его радиуса кривизны R и циклической частоты вращения роторов ω .

Анализ графической зависимости, представленной на рис. 2, позволяет сделать вывод, что в рассматриваемом диапазоне изменения ω и R увеличение потребляемой мощности имеет линейный характер. Таким образом, полученное соотношение (13) определяет величину дополнительной потребляемой мощности, связанной с установкой патрубка рецикла в дезинтегратор в зависимости от конструктивных ($R_k, R_0, H, b, D, h, R, d$) и технологических (ω, γ, ρ) параметров.

где R_0 – радиус нижнего основания конического бункера, м; R_k – радиус верхнего основания конического бункера, м; H – высота конического бункера, м.

Подстановка (9) в (7) приводит к следующему результату:

$$A_m = \pi \cdot \gamma \cdot R_0^2 \cdot R \cdot q \sqrt{\frac{q \cdot H \cdot R_0}{2 \cdot (R_k - R_0)}} \cdot t_a. \quad (10)$$

На основании соотношений (6) и (10) находим:

$$P_6 = \frac{\pi^3 \cdot q \cdot \rho \cdot d^2 \cdot R^2 \cdot \omega}{4 \cdot \beta_0}, \quad (11)$$

$$P_m = \frac{A_m}{t_a} = \pi^2 \cdot \gamma \cdot R_0^2 \cdot R \cdot q \cdot \sqrt{\frac{q \cdot H \cdot R_0}{2 \cdot (R_k - R_0)}}. \quad (12)$$

Подстановка (11) и (12) в (1) позволяет получить следующее выражение:

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Хинт И.А. Основы производства силикатных изделий. М.: Стройиздат, 1962. 636 с.
2. Семикопенко И.А., Воронов В.П., Смирнов Д.В. Математическое описание движения вязкой среды в патрубке возврата дезинтегратора. Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2014. № 5. С. 113–117.
3. Блиничев В.Н., Бобков С.П., Ключков Н.В., Пискунов А.В. Методика расчета расхода

воздуха в центробежно-ударной мельнице. Известия ВУЗов. Химия и химическая технология. №2. 1982. С. 230–232.

4. Семикопенко И.А., Воронов В.П.,

Смирнов Д.В., Фадин Ю.М. Расчет объемного расхода материала через загрузочный бункер дезинтегратора. Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2015. № 1. С. 68–70.

Информация об авторах

Семикопенко Игорь Александрович, кандидат технических наук, доцент кафедры механического оборудования. E-mail: semikopenko.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.

Смирнов Дмитрий Владимирович, аспирант, кафедры механического оборудования. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Поступила в октябре 2018 г.

© Семикопенко И.А., Воронов В.П., Смирнов Д.В., 2019

^{1,*}**Semikopenko I.A.,¹Voronov V.P.,¹Smirnov D.V.**

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

*E-mail: semikopenko.ia@bstu.ru

POWER CALCULATION EXPENDED ON MOVEMENT OF A TWO-PHASE MEDIUM IN THE PIPE BRANCH OF RECYCLING DISINTEGRATOR

Abstract. Currently, disintegrators are used in grinding, mixing and activation of a number of materials. The possibility of obtaining a grinding product with a given grain composition is an advantage of disintegrators. To obtain a narrow granulometric composition of the grinding product, an experimental installation with a recycling pipe branch is created. This ensures the unloading of finished product and grains' return to additional milling in the grinding chamber. The branch pipe of the recycle is a rubber-fabric pipe of circular cross-section with a radius of curvature, providing the movement of a two-phase medium from the discharge zone to the loading part of the disintegrator. It is necessary to determine the energy costs for the movement of a two-phase medium in the recycle pipe when performing theoretical studies of the grinding process in this installation. In this article, the analytical expression is received, which allows to define the additional power consumption connected with installation of a branch pipe of a recycle. The additional power consumption consists of the power required to move the air, and the power required to move the material particles inside the recycling pipe. A calculation scheme for determining the additional power consumption of proposed disintegrator is presented. Analysis of the graphical dependences obtained allows to conclude that in the considered range of variation of the cyclic rotation frequency of the rotors and the radius of curvature of the recycle pipe, the increase in power consumption is linear. Thus, the resulting analytical expression determines the amount of additional power consumption associated with the installation of the recycle pipe in the disintegrator, depending on the design and technological parameters.

Keywords: disintegrator, recycling pipe, material.

REFERENCES

1. Hint I.A. Basics of production of silicalcitic products. M.: Stroyizdat. 1962, 636 p.
2. Semikopenko I.A., Voronov V.P., Smirnov D.V. Mathematical description of the motion of a viscous medium in the disintegrator return pipe. Bulletin of BSTU. V.G. Shukhov, 2014, no. 5, pp. 113–117.
3. Blinichev V.N., Bobkov S.P., Klochkov

N.V., Piskunov A.V. The method of calculating the air flow in a centrifugal impact mill. University news. Chemistry and Chemical Technology, no. 2, 1982, p. 230–232.

4. Semikopenko I.A., Voronov V.P., Smirnov D.V., Fadin Yu.M. Calculation of the volume flow of material through the disintegrator feed hopper. Bulletin of BSTU. V.G. Shukhov, 2015, № 1, pp. 68–70.

Information about the authors

Semikopenko, Igor A. PhD, Assistant professor. E-mail: semikopenko.i@yandex.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Voronov, Vitaliy P. PhD, Professor. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Smirnov, Dmitriy V. Research assistant. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Received in October 2018

Для цитирования:

Семикопенко И.А., Воронов В.П., Смирнов Д.В. Расчет мощности, затрачиваемой на движение двухфазной среды в патрубке рецикла дезинтегратора // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2019. №1. С. 119–123. DOI:10.12737/article_5c506246246cf7.72565493

For citation:

Semikopenko I.A., Voronov V.P., Smirnov D.V. Power calculation expended on movement of a two-phase medium in the pipe branch of recycling disintegrator. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov, 2019, no. 1, pp. 119–123. DOI:10.12737/article_5c506246246cf7.72565493

DOI: 10.12737/article_5c50624e96f4d1.15725697

^{1,*}Лозовая С.Ю., ¹Лозовой Н.М., ¹Землянский М.А.¹Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

Россия, 308012, Белгородская область, г. Белгород, ул. Костюкова, д. 46

*E-mail: lozovaa.sy@bstu.ru

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ СИСТЕМЫ ПОСТОЯННЫХ МАГНИТОВ БАРАБАНЫХ СЕПАРАТОРОВ

Аннотация. Развитие черной и цветной металлургии требует комплексного совершенствования производственных процессов: добычи, дробления, помола, обогащения руд, их дальнейшего металлургического передела. Важное место в ряду этих процессов занимает обогащение. Именно от качества обогащения зависит дальнейшее использование железорудного сырья. Основной машиной для обогащения является магнитный сепаратор. На обогатительных предприятиях практически отсутствуют магнитные сепараторы с регулируемой системой из постоянных магнитов, поэтому на сегодняшний день остро стоит задача разработки данной системы. Был произведен анализ регулировки магнитных систем барабанных сепараторов для обогащения сильномагнитных руд. В результате была предложена новая конструкция регулируемой системы, которая позволяет обеспечивать необходимые параметры магнитного поля (напряженность и равномерность) в рабочей зоне сепаратора. Что обеспечит намагничивание, удержание и последующего отрыва феррочастиц, это позволит повысить качество концентрата и расширить область применения сепаратора за счет настройки машины на выполнение своих функций в различных стадиях магнитного обогащения (первичной сепарации, перечистки) железорудного сырья. Также в статье было проведено теоретическое моделирование и получены формулы на основании, которых, можно рассчитать индукцию магнитного поля для любой точки или системы точек, принадлежащих концентричной с барабаном машины цилиндрической поверхности.

Ключевые слова: обогащение, регулируемая магнитная система, магнитное поле, напряженность, железорудное сырьё.

Введение. Развитие черной и цветной металлургии требует комплексного совершенствования производственных процессов: добычи, дробления, помола, обогащения руд, их дальнейшего металлургического передела. Важное место в ряду этих процессов занимает обогащение. Именно от качества обогащения зависит дальнейшее использование железорудного сырья [1, 13, 14, 15].

Здесь нужно отметить, что при получении железистого кварцита, большое количество пустой породы уходит в хвосты, что является/считается техногенным продуктом. В последнее время хвосты используют при строительстве дорог, для этого желательно из них извлечь магнито содержащую часть, поэтому совершенствование магнитной системы сепараторов является актуальной в настоящее время.

Обогатительные процессы значительно повышают возможность использования бедных железных руд, составляющих около 80 % мировых запасов. На процесс магнитного обогащения влияют множество факторов. Для барабанного магнитного сепаратора решающими являются:

- 1) характер движения пульпы;
- 2) параметры, создаваемые машиной в рабочей зоне (напряженность магнитного поля и её равномерность).

Влияние первого фактора достаточно хорошо изучено. На практике прочно закрепились 3 вида ванн барабанного сепаратора: прямоточные, противоточные и противоточные, создающие различные условия для перемещения потоков пульпы с феррочастицами.

Изменение магнитных полей этих машин не очень подробно исследовано, в силу этого на обогатительных предприятиях практически отсутствуют магнитные сепараторы с регулируемыми системами из постоянных магнитов. В большинстве подобных предусмотрено лишь изменение глубины ванны, что позволяет снижать напряженность магнитного поля, опуская её дно, и не влияет на равномерность поля. Слабая управляемость поля барабанных сепараторов с магнитной системой из постоянных магнитов значительно снижает экономический эффект и сужает область применения этих простых, надежных, энергосберегающих, электробезопасных и долговечных машин.

Поэтому на сегодняшний день остро стоит задача разработки магнитной системы, сочетающей в себе возможности регулирования в широких пределах как напряженности магнитного поля в рабочей зоне, так и её равномерности [2]. При этом она должна быть простой и дешевой в изготовлении, удобной в эксплуатации, удовлетворять требованиям безопасности. Конструкция

магнитной системы должна быть универсальной для большинства барабанных сепараторов, а затраты на модернизацию существующих систем для обеспечения их регулируемости – минимальными.

Основная часть. Магнитные барабанные сепараторы для обогащения сильномагнитных руд путем мокрой магнитной сепарации применяются для обогащения сильномагнитных железных руд в первых приемах обогащения (черновая сепарация с целью получения отвальных хвостов

и промежуточных продуктов) для крупнозернистых, а в последних стадиях – для весьма тонкоизмельченных материалов. Эти сепараторы (рис. 1) состоят из следующих основных узлов: барабана 1 с магнитной системой из постоянных магнитов 2, ванны 3, рамы 4 и приводного устройства 5. Их изготавливают с барабаном диаметром 600 мм, различной длины – 275, 550, 1325, 1750 мм. Конструкция магнитного барабанного сепаратора для обогащения сильномагнитных руд фирмы «Сала» схематично представлена на рис. 1 [2–9].

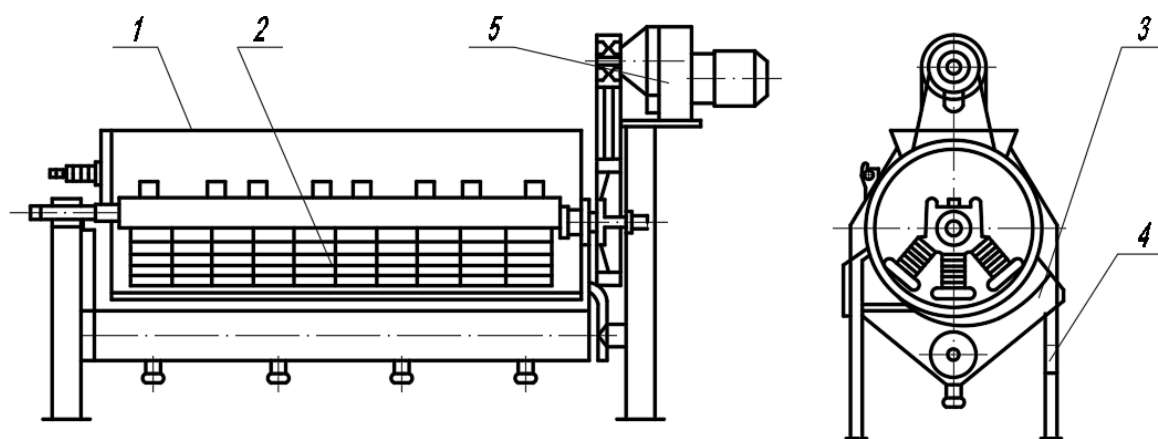


Рис. 1. Схема магнитного сепаратора для обогащения сильномагнитных руд:
1 – барабан; 2 – магнитная система; 3 – ванна; 4 – рама; 5 – приводное устройство

Данный сепаратор низкой чувствительности для сильномагнитных зернистых и тонкозернистых материалов с подъемом магнитной фракции и вымыванием немагнитной фракции характеризуется:

- несфокусированным полем чередующейся полярности;
- постоянными литыми магнитами с односторонним расположением полюсов;
- поперечным направлением магнитного потока относительно движения материала;
- открытым магнитопроводом;
- опорным гребенчатым или радиальным механизмом магнитной системы;
- криволинейным магнитным перемещением фракции, барабанным механизмом;
- слоевым способом питания;
- прямоточным приёмным устройством без регулирующей перегородки с затопленным рабочим пространством.

На основе анализа существующих конструкций регулируемых систем магнитных барабанных сепараторов, и их недостатков, произведенного в ходе патентного поиска была предложена следующая конструкция, оформленная патентом на полезную модель [2].

Магнитная система (рис. 2) барабанного сепаратора состоит из вала 1, на котором жестко закреплена гребенка 2 и на свободно вращающихся вокруг вала 1 кольцах 3 подвешены магнитные блоки 4. Магнитные блоки 4 жестко закреплены в пазах 5 гребенки 2 специальной шайбой 6 (рис. 2), закрепленной на резьбовом пальце 7, укрепленном в магнитном блоке 4, гайкой 8. На пальце 7 между магнитным блоком 4 и специальной шайбой 6 находится пружина 9. На валу 1 закреплено червячное колесо 10, находящейся в зацеплении с червяком 11, установленным на раме сепаратора.

Техническим результатом полезной модели является обеспечение необходимых параметров магнитного поля (напряженности и ее равномерности) в рабочей зоне сепаратора, облегчение намагничивания, удержания и последующего отрыва феррочастиц, что позволяет повысить качество концентрата и расширить область применения сепаратора за счет настройки машины на выполнение своих функций в различных стадиях магнитного обогащения (первичной сепарации, перечистки) различного железорудного сырья.

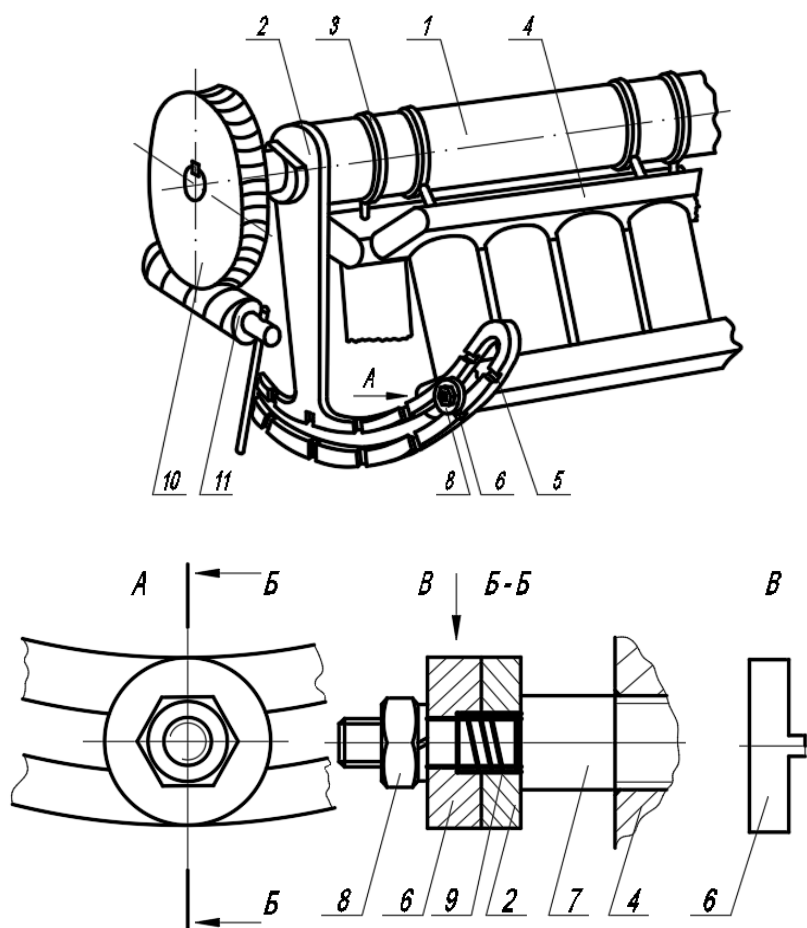


Рис. 2. Магнитная система сепаратора:

1 – вал; 2 – гребенка; 3 – подвесные кольца; 4 – магнитные блоки; 5 – крепежные пазы; 6 – специальная шайба; 7 – палец; 8 – гайка; 9 – пружина; 10 – червячное колесо; 11 – червяк (барабан и рама сепаратора условно не показаны)

Решение по определению изменения параметров магнитного поля задачи только конструктивными методами не представляется возможным, поскольку заранее невозможно определить параметры поля, которое будет действовать в рабочей зоне машины после регулировки магнитной системы. Решить эту проблему можно, проводя серию экспериментов с конкретной магнитной системой, установленной на конкретном сепараторе, и построив аппроксимационные зависимости параметров поля от конфигурации магнитной системы на основе регрессионного анализа. В результате будет получено уравнение регрессии или графическая интерпретация его решения, но недостатком использования регрессионной зависимости является большое количество конструкций сепараторов, требующих получение индивидуальных математических моделей. Поэтому создание регулируемой системы из постоянных магнитов должно сопровождаться, как

$$\vec{B}_{nij} = \vec{B}_{xij} \cos \varphi_j + \vec{B}_{yij} \cos \left(\frac{\pi}{2} + \varphi_j \right) = \vec{B}_{xij} \cos \varphi_j - \vec{B}_{yij} \sin \varphi_j \quad (2)$$

где φ_j – угол между прямой, опущенной из точки A_{ij} на ось Oz и осью Ox .

разработкой физико-математические изменения их магнитного поля [3], так и экспериментальными исследованиями на натурной модели (рис. 3, 4).

При теоретическом моделировании получены формулы (1) и (2) на основании которых, можно рассчитать индукцию магнитного поля для любой точки или системы точек, принадлежащих концентричной с барабаном машины цилиндрической поверхности [10].

$$B_{ij} = \frac{\mu_0 \mu M}{4\pi W} \sum_{k=1}^{k=C} L_k \sum_{t=1}^n \sum_{e=1}^p \frac{d\vec{l}_{be} \times \vec{r}_{be}}{|\vec{r}_{be}|^2} \quad (1)$$

А для определения вектора магнитной индукции целесообразно определить лишь нормальную к поверхности барабана составляющую:

Для физического исследования параметров магнитного поля (магнитной индукции) была создана натурная модель магнитной системы (рис. 3, 4), которая состоит из блока магнитов 1 (6 штук), скрепленные двумя пластинами 2 стянутыми между собой четырьмя болтами 3. К третьей пластине 4 двумя гайками 5 прикреплена шпилька 6 М10 длиной 30 см. В верхней части конструкции к шпильке 6 прикреплён барашек с



Рис. 3. Блок магнитов сепаратора:
1 – блок магнитов; 2 – пластины; 3 – болты;
4 – пластина; 5 – гайки; 6 – шпилька;
7 – барашек с ушком

Выводы. В ходе проведенного исследования было выявлено, что предложенная конструкция регулируемых систем магнитных барабанных сепараторов, позволяет обеспечивать необходимые параметры магнитного поля (напряженность и равномерность) в рабочей зоне сепаратора, а это обеспечивает намагничивание, удержание и последующее отрывание феррочастиц, позволяющее повысить качество концентрата и расширить область применения сепаратора за счет настройки машины на выполнение своих функций в различных стадиях магнитного обогащения (первичной сепарации, перечистки) железорудного сырья.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Кармазин В.В., Опалев А.С. Разработка мокрых магнитных сепараторов выделения концентрата на обогатительных фабриках современных обогатительных комбинатов // Горный журнал. 2013. № 6. С. 17–27.
2. Патент на полезную модель. RU № 169082 U1 B03C 1/10. Магнитная система барабанного сепаратора / С.Ю. Лозовая, Н.М. Лозовой, М.А. Кушев, А.Н. Окунев / Заявка: №2016133800, 17.08.2016. Дата начала отсчета срока действия патента: 17.08.2016. Дата подачи заявки:

ушком 7. Вся конструкция легка в сборке и разборке, что позволяет при поломке какого-либо элемента его заменить, не меняя полностью всю сборку.

С помощью тесламетра, будет измеряться, изменение магнитной индукции в зависимости от того под каким углом будут находиться болюки магнитов 1 относительно друг друга [11, 12].



Рис. 4. Блок магнитов сепаратора

17.08.2016. Опубликовано: 02.03.2017 Бюл. № 7.

3. Лозовая С.Ю. Лозовой Н.М., Окунев А.Н. Математическое моделирование магнитных полей систем постоянных магнитов барабанных сепараторов // Austria-sience. 2017. №6. С. 37–42.

4. Lozovaya S.Y., Lozovoy N.M., Okunev A.N. Theoretical validation for changing magnetic fields of systems of permanent magnets of drum separators. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 327-334 (2018) 042065 doi:10.1088/1757-899X/327/4/042065, MEACS 2017.

5. Пат. 2528661, Российская Федерация, МПК B03C 1/10. Магнитный сепаратор с изменяемым магнитным полем / С.Е. Размолдин, В.Б. Дёмин; заявитель и патентообладатель С.Е. Размолдин, В.Б. Дёмин. № 2013114644; заявл. 19.03.2013; опубл. 20.09.2014, Бюл. № 26. 4 с.

6. АС №2016614807 Российская Федерация. Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ. Моделирование магнитного поля участка рабочей зоны сепаратора с магнитной системой из постоянных магнитов / С.Ю. Лозовая, Н.М. Лозовой, М.А. Кушев, А.Н. Окунев; заявитель и правообладатель ФГБОУ ВО БГТУ им. В. Г. Шухова (RU), заявл. 16.03.16; опубл. 05.05.16, Реестр программ для ЭВМ. 1 с.

7. Пат. 2213623, Российская Федерация, МПК В03С 1/10. Магнитная система барабанного сепаратора /А.В. Андреев; заявитель и патентообладатель Общество с ограниченной ответственностью Совместное российско-американское предприятие «Технология XXI века». № 2013130520; заявл. 12.11.2013; опубл.10.10.2014, Бюл. № 28. 4 с.

8. Пат. 2330725, Российская Федерация, МПК В03С 1/00. Магнитная система барабанного сепаратора /А.А. Лозин, В.Н. Гудь, В.М. Арсенюк, В.В. Нитяговский; заявитель и патентообладатель Совместное российско-американское предприятие «Уралтранс». № 2013116691; заявл. 23.06.2013; опубл.20.07.2014, Бюл. № 20. 5 с.

9. Пат. 2332262, Российская Федерация, МПК В03С 1/10. Магнитная система барабанного сепаратора /И.И. Федяшин, Н.Г. Скотаренко; заявитель и патентообладатель ОАО Научно-производственное объединение

«МАГНЕТОН». № 2013128553; заявл. 04.08.2013; опубл.27.08.2014, Бюл. № 24. 5 с.

10. Балдина К.В. Краткий курс по высшей математике. М.: Наука, 2015. 512 с.

11. Афонский А.А., Дьяконов В.П. Измерительные приборы и массовые электронные измерения. М.: Изд-во Солон-пресс, 2015. 541 с.

12. Друзьякин И.Г., Лыков А.Н. Технические измерения и приборы. М.: Изд-во: Пермский Государственный университет, 2013. 412 с.

13. Ломовцев Л.А., Нестерова Н.А. Магнитное обогащение сильномагнитных руд. М.: Недра, 2014. 235 с.

14. Зеленова И.М. Выделение тонкоизмельченных слабомагнитных минералов в магнитном поле низкой напряженности // Горный журнал. 2015. № 2. С. 46–48.

15. Килин В.И. Влияние магнитной обработки на магнитные свойства руд // Обогащение руд. 2014. № 6. С. 23–26.

Информация об авторах

Лозовая Светлана Юрьевна, доктор технических наук, профессор кафедры механического оборудования. E-mail: lozovaa.sy@bstu.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Лозовой Николай Михайлович, кандидат технических наук, доцент, кафедра городского кадастра и инженерных изысканий. E-mail: lozwa88@mail.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Землянский Максим Александрович, студент кафедры механического оборудования. E-mail: gapxtaz@yandex.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Поступила в октябре 2018 г.

© Лозовая С.Ю., Лозовой Н.М., Землянский М.А., 2019

^{1,*}Lozovaya S.Yu., ¹Lozovoy N.M., ¹Zemlyansky M.A.

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

*E-mail: lozovaa.sy@bstu.ru

CONSTRUCTION IMPROVEMENT OF PERMANENT MAGNETS SYSTEM OF DRUM SEPARATORS

Abstract. The development of ferrous and non-ferrous metallurgy requires complex improvement of production processes: mining, crushing, grinding, ore dressing, further mineral processing. The enrichment occupies an important place among these processes. The enrichment quality affects the further use of iron ore. The main enrichment machine is a magnetic separator. Enrichment facilities practically do not have magnetic separators with an adjustable system of permanent magnets; therefore, the task to develop such a system is acute. The article discusses magnetic drum separators for the enrichment of highly magnetic ores by wet magnetic separation. In the course of the analysis, a new design of adjustable systems of magnetic drum separators is proposed. It allows to provide the necessary parameters of the magnetic field (tension and uniformity) in the separator's working area. This will ensure the magnetization, retention and subsequent separation of ferroparticles, and consequently improve the quality of concentrate, increase the use of the separator by adjusting the machine to perform its functions in various stages of the magnetic iron ore enrichment. In the article, the

theoretical modeling is performed and formulas are obtained, that make possible to calculate magnetic field induction for any point or system of concentric with the drum machine of cylindrical surface.

Keywords: enrichment, adjustable magnetic system, magnetic field, intensity, iron ore raw materials.

REFERENCES

1. Karmazin V.V., Opalev A.S. Development of wet magnetic separators for concentrate extraction at concentrating factories of modern concentrating plants. *Horn. Journals*, 2013, no. 6, pp. 17–27.
2. Lozovaya S.Yu., Lozovoi N.M., Kuschchev M.A., Okunev A.N. Magnetic system of a drum separator. Patent for utility model RF, no. 169082 U1 B03C 1/10, 2017.
3. Lozovaya S.Yu., Lozovoy N.M., Okunev A.N. Mathematical modeling of magnetic fields of permanent magnet systems of drum separators. *Austria-science*, 2017, no. 6, pp. 37–42.
4. Lozovaya S.Y., Lozovoy N.M., Okunev A.N. Theoretical validation of the field of magnetic separators. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering* 327-334 (2018) 042065 doi: 10.1088 / 1757-899X / 327/4/042065, MEACS 2017.
5. Razmoldin S.E., Demin V.B. Magnetic separator with variable magnetic field. Pat. Russian Federation, № 2528661, 2014.
6. AS №2016614807 Russian Federation. Certificate of official registration of the computer program. Modeling of the magnetic field of a section of the working zone of a separator with a magnetic system of permanent magnets / S. Yu. Lozovaya, N. M. Lozovoy, M. A. Kushchev, A. N. Okunev; applicant and copyright holder FSBEI of HE BSTU. V.G. Shukhov (RU), claimed 03/16/16; publ. 05.05.16, Registry of computer programs, 1 p.
7. Andreev A. Magnetic system drum separator Pat. Russian Federation, №2213623, 2014.
8. Lozin A.A., Good V.N., Arsenyuk V.M., Nit-yagovsky V.V. Magnetic system drum separator. Pat. Russian Federation, no. 2330725, 2014.
9. Fedyashin I., Skotarenko N.G. Pat. Russian Federation, № 2332262, 2014.
10. Baldina K.V. Short course in higher mathematics. M.: Nauka, 2015, 512 p.
11. Athos A.A., Dyakonov V.P. Measuring instruments and mass electronic measurements. M.: Publishing house Solon-press, 2015, 541 p.
12. Friendsy I.G., Lykov A.N. Technical measurements and devices. M.: Publishing house: Perm State University. 2013, 412 p.
13. Lomovtsev L.A., Nesterova N.A. Magnetic enrichment of highly magnetic ores. M.: Nedra. 2014, 235 p.
14. Zelenova I.M. Isolation of Finely Grinded Low-Magnetic Minerals in a Low-Tension Magnetic Field, *Horn. Journals*, 2015, no. 2, pp. 46–48.
15. Kilin V.I. The Effect of Magnetic Processing on the Magnetic Properties of Ores, *Enrichment of Ores*, 2014, no. 6, pp. 23–26.

Information about the authors

Lozovaya, Svetlana Yu. DSc, Professor. E-mail: lozovaa.sy@bstu.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Lozovoy, Nikolai M. PhD, Associate professor. E-mail: lozwa88@mail.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Zemlyansky, Maksim A. Bachelor student. E-mail: rapxtaz@yandex.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Received in October 2018

Для цитирования:

Лозовая С.Ю., Лозовой Н.М., Землянский М.А. Совершенствование конструкции системы постоянных магнитов барабанных сепараторов // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2019. №1. С. 124–129. DOI: 10.12737/article_5c50624e96f4d1.15725697

For citation:

Lozovaya S.Yu., Lozovoy N.M., Zemlyansky M.A. Construction improvement of permanent magnets system of drum separators. *Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov*, 2019, no. 1, pp. 124–129. DOI: 10.12737/article_5c50624e96f4d1.15725697

DOI: 10.12737/article_5c506253855313.91225812

^{1,*}Остановский А.А.¹ООО «Оптимастрой»

Россия, 141130, г. Руза, Московской области, ул. Школьная, д. 28

*E-mail: ustanovskiy51@mail.ru

АНАЛИЗ И ВЫБОР РАЦИОНАЛЬНОЙ СТРУКТУРНОЙ СХЕМЫ ДВУХКАСКАДНОЙ МЕЛЬНИЦЫ ДИНАМИЧЕСКОГО САМОИЗМЕЛЬЧЕНИЯ

Аннотация. В статье обосновывается важность усовершенствования процесса измельчения минеральных материалов на основе использования передового измельчительного оборудования, позволяющего повысить производительность и снизить энергозатраты. Одним из путей для достижения этой цели является применения двухкаскадных мельниц динамического самоизмельчения, обладающих рядом технических преимуществ в сравнении с известными на текущий период мельницами системы «МАЯ», в которых для разрушения частиц измельчаемого материала кроме кинетической энергии вращающегося ротора используется так называемая «циркулирующая» энергия замкнутого контура, образующаяся в результате выполнения ветвей замкнутых контуров с кинематическим несоответствием. Это приводит к дополнительному силовому взаимодействию циркулирующих частиц и снижению энергопотребления. Обосновывается необходимость построения их структурных схем с использованием индифферентных групп, которые придают мельницам этой системы особые свойства. Представлены аналитическое исследование структурных схем двухкаскадных мельниц разных систем, показывающих, их наличие в структурных схемах мельницы этой системы приводит в возникновении явления «циркуляции» энергии и показывает природу её образования. Представлены результаты измерения энергозатрат при измельчении мергеля в мельницах с индифферентной структурной группой, подтверждающие возможность полезного использования по сути «даровой» энергии для повышения энергоэффективности измельчения материала.

Ключевые слова: мельница, энергозатраты, самоизмельчение, кинетическая энергия, потенциальная энергия, циркулирующая энергия, структурная схема, индифферентная группа, звено, стойка, замкнутый контур, кинематическое несоответствие, ротор, барабан.

Введение. Процессы дробления и измельчения занимают важное место в различных отраслях производственной деятельности уже длительный период времени, а в связи с тенденцией уменьшения минеральной базы для выпуска необходимых продуктов на основе его переработки задача по эффективному используемого для этих целей машин усовершенствования технологических процессов будет постоянно возрастать. Применяемые измельчительные машины, среди которых наибольшее распространение получили барабанные мельницы, имеют низкий коэффициент полезного действия, громоздки, характеризуются низкой удельной производительностью и расходом значительного количества стали на мелющие тела и футеровку, а поэтому они не могут удовлетворить современные требования.

Существенным недостатком существующих технологий дробления и измельчения материала является многостадийность, необходимая для получения готового продукта требуемого фракционного состава, что приводит к существенному росту экономических и капитальных затрат [1].

Одним из перспективных направлений совершенствования и развития вертикальных мельниц динамического самоизмельчения в последнее десятилетие являются запатентованные кон-

структивные схемы мельниц динамического самоизмельчения системы «МКАД» [2–4]. Техническим преимуществом мельниц этой системы в сравнении с мельницами системы «МАЯ» является более низкие энергозатраты [5, 6].

Дальнейшим развитием принципа самоизмельчения, способствующими повышению производительности и снижению энергозатрат являются разработанные схемные решения вертикальных двухкаскадных мельниц динамического самоизмельчения [7–9]. Заложенный в них принцип концентрации измельчительных операций в одной машине позволит не использовать, как это сейчас происходит, наличие в технологические цепочки дополнительных измельчительные устройств и транспортных линий для перемещения измельчаемого материала от одной машины к другой.

Вместе с тем, анализ разработанных схем двухкаскадных мельниц динамического самоизмельчения показывает на имеющиеся резервы по снижению энергопотребления при их применении.

Эти резервы заключаются в использовании в конструктивных схемах двухкаскадных мельниц динамического самоизмельчения индифферентных структурных групп, которые предполагают построение их с замкнутыми кинематическими

контурами [10, 11]. Это позволит при передаче мощности от приводного двигателя мельницы к столбу измельчаемого материала по его верхней и нижней ветвям, выполненным с кинематическим несоответствием относительно друг друга, создать условия для возникновения так называемой «циркулирующей» энергии [12, 13]. Её возникновение ведёт к возникновению дополнительного силового поля, в котором каждая циркулирующая частица будет испытывать дополнительное силовое воздействие и интенсивно разрушаться без увеличения мощности приводного двигателя [14].

Это обстоятельство выдвигает задачу выяснения причин, приводящих к снижению энергозатрат, которая должна осуществляться на основе анализа их структурных схем мельниц этой системы. Необходимость такой процедуры вызвана

тем, структурные схемы являются основой конструкции любой машины. Обоснованная структурная схема позволит придать вновь создаваемым машинам новые технологические свойства, так как, изменяя закономерности движения звеньев механизма, можно изменять величину, направление скоростей и моментов в этих звеньях, что будет определять силовые характеристики при их взаимодействии и энергозатраты [15].

Поэтому с целью установления причин, устанавливающих влияние структурных схем вертикальных двухкаскадных мельниц динамического самоизмельчения разных схем на энергозатраты, произведём анализ их конструктивных схем и структурных схем, представленных на рис. 1 и 2.

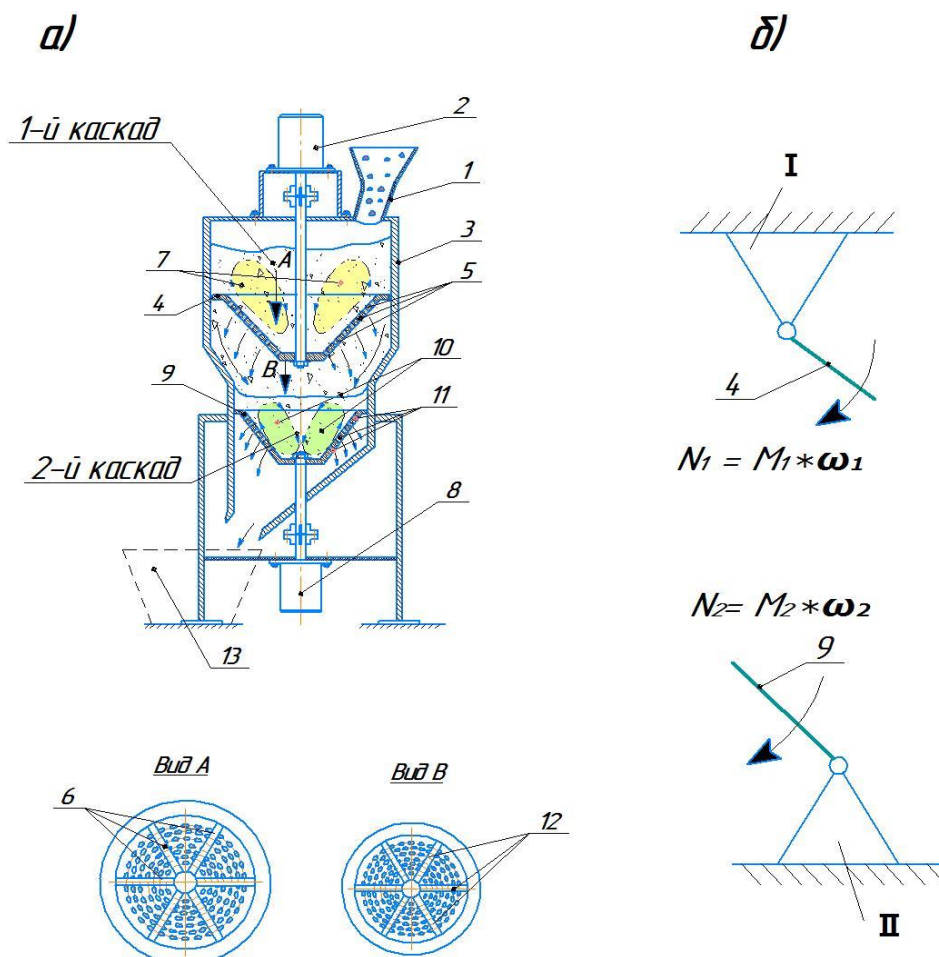


Рис. 1. Конструктивная и структурная схема двухкаскадной мельницы динамического самоизмельчения без индифферентной структурной группы:

- а) конструктивная схема: 1 – загрузочный патрубок; 2 – электродвигатель первого каскада; 3 – корпус; 4 – ротор первого каскада; 5 – выпускные отверстия первого каскада; 6 – рёбра первого каскада; 7 – зона активного измельчения первого каскада; 8 – электродвигатель второго каскада; 9 – ротор второго каскада; 10 – зона активного измельчения второго каскада; 11 – выпускные отверстия второго каскада; 12 – рёбра второго каскада; 13 – приёмная ёмкость;
- б) структурная схема: I – стойка электродвигателя первого каскада; II – стойка электродвигателя второго каскада; 4 – ведущее звено первого каскада (ротор); 9 – ведущее звено второго каскада (ротор)

Сущность работы двухкаскадной мельницы динамического самоизмельчения простого исполнения заключается в следующем.

Первоначально через загрузочный патрубок 1 в корпус 3 порционно или непрерывно подается исходный материал. Далее последовательно производится включение электродвигателей 2 и 8 1-го и 2-го каскадов, что позволяет привести во вращение роторы 4 и 9. В начальный период вращения верхнего ротора 9 куски материала, находящиеся в корпусе 3, начинают перемещаться к его периферии под действием центробежной силы, одновременно прижимаясь к радиальным рёбрам 6. Попад в активную зону 7 1-го каскада, эти куски измельчаются за счёт ударов, скалывания и истирания их между собой. Частицы материала крупнее размера выходных отверстий в роторе 4, совершают движение в рабочей зоне верхнего корпуса 1 по восходящей тороидальной линии и далее вместе с исходным материалом опускаются в её (активную) рабочую полость.

Одна часть частиц материала, соразмерная с размерами боковых отверстий 11, выполненных в боковой плоскости ротора 4 1-го каскада, выводится за счёт центробежной силы через эти отверстия, и под действием силы тяжести эти предварительно измельченные частицы перетекают нижнюю часть корпуса 3. Попад в нижнюю часть корпуса 2 и располагаясь над ротором 9 второго каскада, эти частицы подвергаются воздействию нижних рёбер 12 вращающегося ротора 9 второго каскада.

Во втором каскаде уже предварительно измельченные частицы материала в первом каскаде начинают перемещаться к периферии нижней части корпуса 3 под действием центробежных сил, одновременно прижимаясь к нижним рёбрам 12. Попад в активную зону 10 второго каскада, продолжают они измельчаться за счёт ударов, скалывания и истирания. Частицы материала крупнее размера выходных отверстий 11 в боковой поверхности нижнего ротора 9, совершают движение по восходящей тороидальной линии. При этом частицы материала, имеющие размеры меньше, чем в боковых отверстиях 11 в роторе 9, выводятся из корпуса 3 и аккумулируются в ёмкости 13 готового продукта.

Структурная схема мельницы двухкаскадной мельницы динамического самоизмельчения (рис. 1, б) включает ведущее звено 4 (вал приводного двигателя с ротором 1-го каскада, шарнирно связанного со стойкой I приводного двигателя 2. Степень подвижности мельницы этой системы при одном подвижном звене 2 и одной неподвижной пары A, определится по формуле П.Л. Чебышева, как

$$W = 3n - 2p_5 = 3 \cdot 1 - 2 \cdot 1 = +1$$

где $n = 1$ – число подвижных звеньев; $p_5 = 1$ – количество неподвижных пар в механизме.

Мощность на ведущем звене 4 (роторе), определится из выражения

$$N_{\text{рот1}} = M_{\text{рот1}} \cdot \omega_{\text{рот1}}, \quad (1)$$

где $M_{\text{рот1}}$ – крутящий момент на ведущем звене 4; $\omega_{\text{рот1}}$ – угловая скорость ведущего звена 4 – 1-го каскада.

Интенсификацию процесса взаимодействия частиц материала при установленной мощности $N_{\text{дв}}$ приводного двигателя 2 можно осуществлять только путём увеличения угловой скорости $\omega_{\text{рот1}}$ ведущего звена 4, которое задаётся исходя из характеристик самого двигателя.

Ввиду того, что режим самоизмельчения может оптимально протекать только при определенных значениях угловой скорости ротора 4, $\omega_{\text{крит}}$, а её превышение выше этого значения приводит к переизмельчению материала и росту энергозатрат [16].

Аналогично мощность во втором каскаде определится как

$$N_{\text{рот2}} = M_{\text{рот2}} \cdot \omega_{\text{рот2}}, \quad (2)$$

Ограничения на угловые скорости роторов первого и второго каскадов не позволяют для двухкаскадной мельницы рассматриваемой конструкции повысить интенсификацию взаимодействия частиц измельчаемого материала и добиться снижения энергопотребления. Конструктивная и структурная схема двухкаскадной мельницы динамического самоизмельчения с индифферентной структурной группой представлена на рис. 2. Мельница этой системы включает раму 1, на которой установлен электродвигатель 2, на валу которого с помощью шпоночного соединения смонтировано коническое зубчатое колесо 3 (рис. 2, а). На раме 1 также с помощью подшипниковых узлов смонтированы верхний 4 и нижний 5 вал, на которых смонтированы конические шестерни 6 и 7, находящиеся в зацеплении с зубчатым колесом 3.

На верхнем 4 и нижнем 5 вале с помощью шпоночных соединений смонтированы ведущие шкивы 8 и 9 привода верхнего 10 и нижнего 15 барабана первого и второго каскада, а также ведущие шкивы 12 и 13 приводов верхнего 14 и нижнего 15 ротора. В нижней части верхнего 10 и нижнего 15 барабана выполнены выпускные отверстия 16 и 17, служащие для эвакуации достигших определённых размеров частиц измельчаемого материала за внешние пределы этих барабанов и их перегрузку по транспортной цепочке перемещения измельчаемого материала под действием силы тяжести внутри мельницы.

На верхнем 10 и нижнем 11 барабанах смонтированы ведомые шкивы 18 и 19 привода верхнего 14 и нижнего 15 барабана, а на нижней части

верхнего 14 и нижнего 15 ротора – ведомые шкивы 20 верхнего и нижнего 21 ротора.

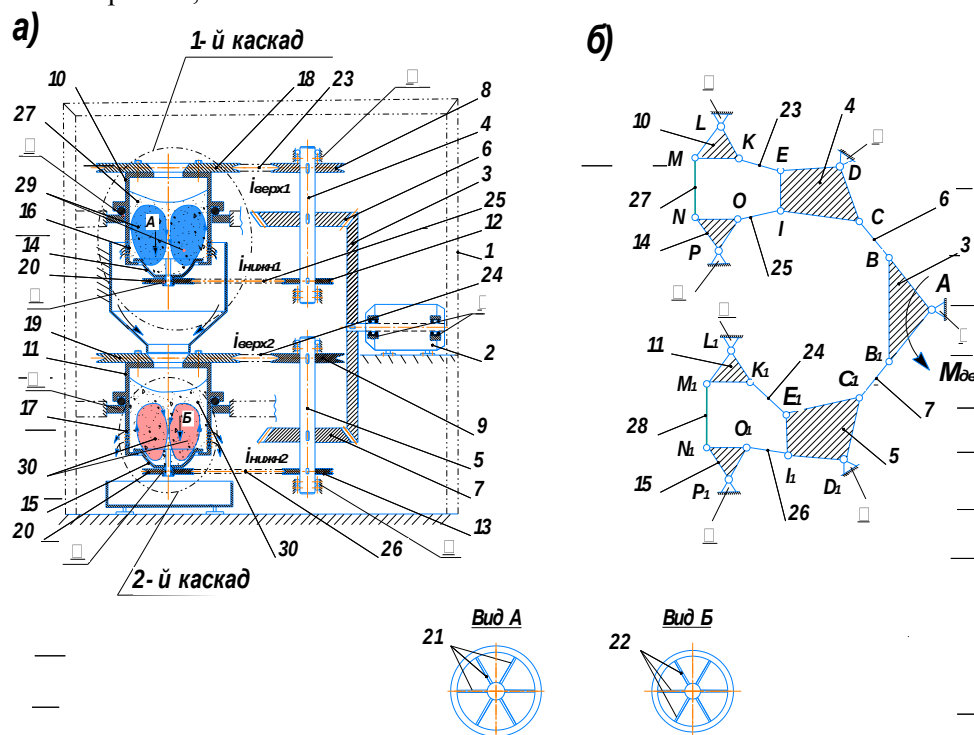


Рис. 2 Конструктивная и структурная схема двухкаскадной мельницы динамического самоизмельчения:
а) конструктивная схема; б) структурная схема

Верхний 14 и нижний 15 ротор с помощью радиальных рёбер 21 и 22 равномерно разделены на шесть секторов. Кинематические передачи в верхних 23 и 24, а также в нижней 22 и 26 ветвях выполнены с кинематическим несоответствием относительно друг друга, т. е. $I_{\text{верх1}} \neq I_{\text{нижн1}}$, а $I_{\text{верх2}} \neq I_{\text{нижн2}}$.

Измельчаемый материал, находящийся в барабанах 10 и 11 и связывающий между собой его с верхним 14 и нижним 15 ротором, формирует столбы 29 и 30, являются звеньями кинематических цепей 1-го и 2-го каскада мельницы исследуемой системы.

Принцип работы мельницы с индифферентной структурной группой заключается в следующем.

Первоначально в верхний барабан 4 загружается исходный материал, формируя определённый столб над верхним ротором 14. После засыпки производится включение электродвигателя 2, в результате чего через ведущее коническое колесо 3, конические шестерни 6 и 7 приводятся во вращение верхний 4 и нижний 5 вал. Через верхний 4 и нижний 5 вал с помощью ведущих шкивов 8 и 9, 12 и 13 ведомые шкивы 18 и 19, 20 и 21 приводятся во вращение верхний 10 и нижний 11 барабан, а также и верхний 14 и нижний 15 ротор соответственно 1-го и 2-го каскада.

В начальный период вращения верхнего ротора 14 куски материала, начинают перемещаться к его периферии под действием центробежной силы, одновременно прижимаясь к радиальным рёбрам 21.

Попав в активную зону 29 1-го каскада, эти куски измельчаются за счёт ударов, скалывания и истирания их между собой. Частицы материала крупнее размера выпускных отверстий 16 в верхнем барабане 10, совершают движение в рабочей зоне 29 верхнего барабана 10 по восходящей торoidalной линии и далее вместе с исходным материалом опускаются в её (активную) рабочую зону. При передаче разных по величине крутящих моментов по верхней 22 и нижней 25 ветви замкнутого контура из-за их кинематического несоответствия происходит деформация (скручивание) верхнего вала 4, в результате чего в нём возникает потенциальная энергия, степени его деформации, которая определяется разностью углов скручивания между верхним и нижним концами верхнего и нижнего вала, его упругими характеристиками, а также его длиной и диаметром. Возникновение даровой потенциальной энергии в замкнутом контуре приводит к дополнительному силовому воздействию на измельчаемые частицы материала, интенсивному их разрушению и снижению энергозатрат [11].

Одна часть частиц материала, соразмерная с размерами боковых отверстий, выполненных в боковой верхней барабана 4, выводится за счёт центробежной силы через эти отверстия и далее под действием сил тяжести уже предварительно измельчённые частицы перетекают в нижний барабан 11. Попад в этот барабан и располагаясь над верхним ротором 15, эти частицы подвергаются воздействию нижних рёбер 22, которые сообщают им кинетическую энергию.

В нижнем барабане 11 2-го каскада предварительно измельчённые частицы материала, перемещённые из 1-го каскада аналогично, как в верхнем барабане 10 начинают перемещаться к его периферии под действием центробежных сил, одновременно прижимаясь к нижним рёбрам 23. В нижнем барабане 14 предварительно измельчённый материал, попав в активную зону 30 2-го каскада, продолжают измельчаться за счёт ударов, скалывания и истирания. Частицы материала крупнее размера выходных отверстий в боковой поверхности нижнего барабана 11, совершают движение в его рабочей зоне по восходящей торoidalной траектории. При передаче разных по величине крутящих моментов по верхней 24 и нижней 25 ветви замкнутого контура из-за их кинематического несоответствия происходит деформация (скручивание) нижнего вала 5 и возникает потенциальная энергия, приводящая к дополнительному силовому воздействию на измельчаемые частицы материала, интенсивному их разрушению и снижению энергозатрат.

При этом частицы материала, имеющие размеры меньше, чем в боковых отверстиях 17 нижнего барабана 11, выводятся из него и аккумулируются в приёмной ёмкости готового продукта.

На рис. 3 представлена схема передачи крутящего момента от приводного двигателя по верхним и нижним ветвям в мельнице рассматриваемой конструкции, приводящих к деформации (скручиванию) концов верхнего и нижнего вала и возникновению потенциальной энергии, способствующей дополнительному силовому воздействию на частицы измельчаемого материала.

Величина возникающей потенциальной энергии $E_{\text{пот}}$ в замкнутом контуре при известных значениях диаметра вала приводного двигателя $d_{\text{ср}}$, его длины l и упругих свойств материала вала $[\sigma]$ будет зависеть от величины угла скручивания вала, которая может быть определён как разность между значениями деформации нижнего и верхнего конца относительно исходного состояния до приложения к нему крутящего момента, подводимого по ветвям замкнутого контура к столбу измельчаемого материала:

$$\Delta\varphi_{\text{скр}i} = \varphi_{\text{нижн}i} - \varphi_{\text{верх}i}, \text{ рад} \quad (2)$$

где $\varphi_{\text{нижн}i}$ и $\varphi_{\text{верх}i}$ – величины скручивания нижнего и верхнего конца верхнего и нижнего вала в поперечном сечении в i -й момент времени относительно первоначального (исходного) состояния до передачи крутящего момента, рад.

Мощность, возникающая при скручивании верхнего и нижнего вала $N_{\text{скр}i}$, можно определить как

$$N_{\text{скр}i} = \int_0^t M_{\text{скр}i} \cdot d(t_i) \cdot \omega_i, \text{ Вт} \quad (3)$$

где $M_{\text{скр}i}$ – момент, необходимый для скручивания верхнего 4 и нижнего 5 вала на некоторый угол $\varphi_{\text{скр}i}$; t_i – период измельчения, с; ω_i – угловая скорость каждого вала в i -й момент времени, рад/с.

При увеличении разности углов скручивания концов каждого из валов 4 и 5 их потенциальная энергия будет возрастать. Это объясняется сдвигом молекул в молекулярной структуре кристаллической решётки материала, из которых изготовлен вал [18].

Момент, возникающий при скручивании концов вала 4 и 5, определится из соотношения

$$M_i = \frac{\Delta\varphi_{\text{скр}i} \cdot [\varepsilon] \cdot J_p}{l_i}, \text{ Н} \cdot \text{м} \quad (4)$$

где l_i – длина верхнего 4 и нижнего 5 вала, м; $[\varepsilon]_i$ – модуль сдвига для материала верхнего и нижнего вала, МПа/м; J_p – полярный момент инерции верхнего и нижнего вала, м⁴.

$$J_p = \frac{\Delta\varphi_{\text{скр}i} \cdot d_{\text{ср}}^2}{32}, \text{ м}^4 \quad (5)$$

где $d_{\text{ср}}$ – средний диаметр верхнего 4 и нижнего 5 вала, м.

Таким образом, мощность замкнутого контура $N_{\text{зк}i}$ будет равна сумме мощностей, подводимой к ротору $N_{\text{рот}}$ и барабану $N_{\text{бар}}$ и уравновешенной мощностью, возникающей при скручивании валов на некоторую величину, определяемую их разностью концов их скручивания $\Delta\varphi_i$:

$$N_{\text{рот}i} + N_{\text{бар}i} - N_{\text{скр}i} = 0, \quad (6)$$

где $N_{\text{рот}i}$ – мощность на роторе 1-го 2-го каскада, $N_{\text{бар}i}$ – мощность на барабане 1-го 2-го каскада.

Мощность в каждом из контуров замкнутом двухкаскадной мельницы с индифферентной структурной группой будет определяться, как

$$N_{\text{зк}i} = N_{\text{бар}i} + N_{\text{рот}i} \quad (7)$$

В результате такого способа подведения мощности к верхней и нижней его части столба измельчаемого материала в каждом каскаде приведёт к разным линейным скоростям слоёв частиц столба в его продольном сечении увеличению доли касательных напряжений между ними и возникновению дополнительного силового поля, в котором каждая движущаяся

частица будет подвержена дополнительному силовому воздействию (рис. 4).

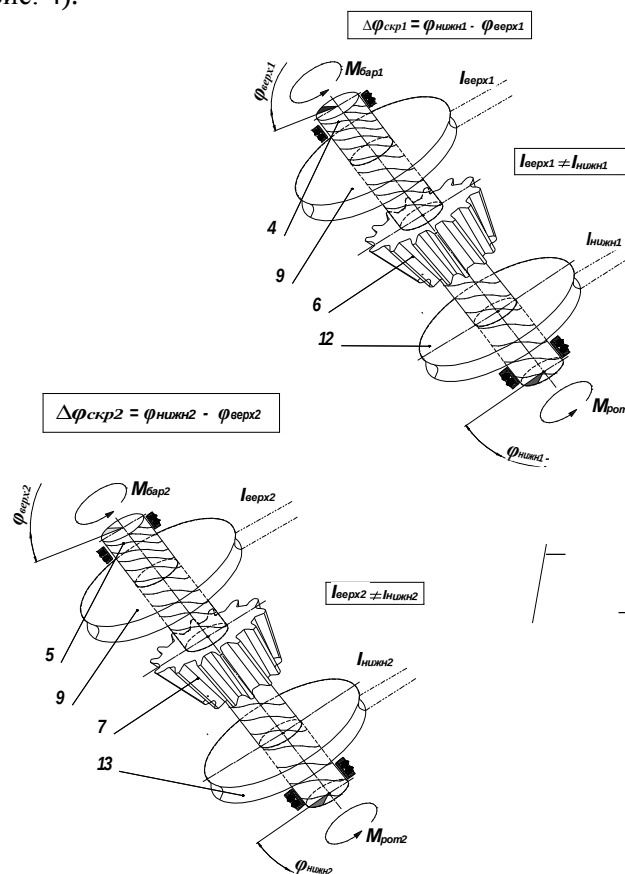


Рис. 3. Скручивание концов верхнего и нижнего вала в двухкаскадной мельнице динамического самоизмельчения при передаче разных по величине крутящих моментов по верхней и нижней ветви замкнутого контура: 4 – верхний вал; 5 – нижний вал; 6 – верхняя коническая шестерня; 7 – нижняя коническая шестерня; 8 – ведущий шкив привода верхнего барабана; 9 – ведущий шкив привода нижнего барабана; 12 – ведущий шкив привода верхнего ротора; 13 – ведущий шкив привода нижнего ротора

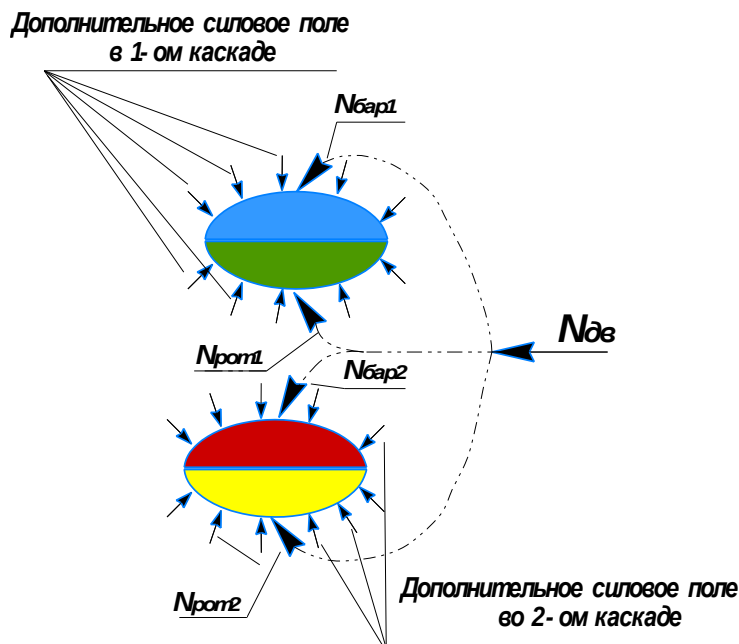


Рис. 4. Передача потоков мощности от приводного двигателя к измельчаемому материалу по верхней и нижней ветви замкнутого контура и образование дополнительных силовых полей в замкнутых контурах 1-го и 2-го каскада: $N_{дв}$ – мощность на валу приводного двигателя; $N_{бвр1}$ – мощность, подводимая к верхней части столба верхнего барабана; $N_{прот1}$ – мощность подводимая к нижней части столба верхнего ротора; $N_{бвр2}$ – мощность, подводимая к верхней части столба материала нижнего барабана; $N_{прот2}$ – мощность, подводимая к нижней части столба нижнего ротора

Для выяснения причин, приводящих к снижению энергозатрат, произведём анализ структурной схемы двухкаскадной мельницы динамического произведём её разбивку на группы Ассура, что позволит произвести оценку роли каждого элемента структурной схемы на энергетические показатели процесса измельчения в двухкаскадной мельнице динамического самоизмельчения [19].

Для ведущего звена 3 (вала приводного двигателя с закреплённой на нём ведущим коническим колесом) имеющего один поводок и одну одноподвижную пару 5-го класса A , его подвижность составит по формуле П.Л. Чебышева

$$W_3 = 3 \cdot 1 - 2 \cdot 1 = +1$$

Для группы звеньев 1-го каскада $B-C-D$, имеющих два подвижных звена 4 и 6, а также три одноподвижные пары 5-го класса B , C и D , их подвижность составит

$$W_{BCD} = 3 \cdot 2 - 2 \cdot 3 = 0$$

Для группы звеньев $E-K-L$, имеющих два подвижных звена 10 и 23 и три одноподвижные

пары 5-го класса E , K и L , их подвижность составит

$$W_{EKL} = 3 \cdot 2 - 2 \cdot 3 = 0.$$

Для группы звеньев $M-N$, имеющих одно подвижное звено 27, материал, находящийся в верхнем барабане 10 и соединяющий его с верхним ротором 14, которым является столб материала, находящийся в верхнем барабане 10 и две одноподвижные пары 5-го класса M и N , подвижность составит

$$W_{MN} = 3 \cdot 1 - 2 \cdot 2 = -1.$$

Для группы звеньев 2-го каскада $B_1-C_1-D_1$, включающих два подвижных звена 5, 7 и три одноподвижные пары 5-го класса B_1 , C_1 и D_1 5-го класса, подвижность составит

$$W_{B_1C_1D_1} = 3 \cdot 2 - 2 \cdot 3 = 0.$$

Для группы звеньев $L_1-K_1-E_1$, имеющих два подвижных звена 14 и 24, и три одноподвижные пары 5-го класса L_1 , K_1 и E_1 ,

$$W_{L_1K_1E_1} = 3 \cdot 2 - 2 \cdot 3 = 0$$

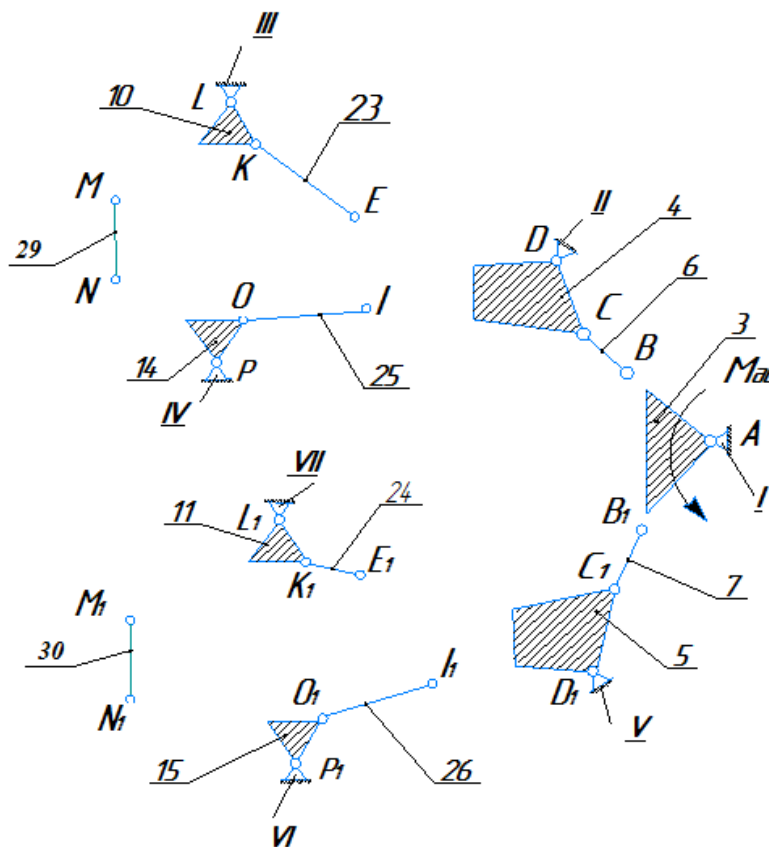


Рис. 5. Разбивка структурной схемы двухкаскадной динамического самоизмельчения мельницы на группы Ассура: 3 – зубчатое коническое колесо (вал электродвигателя); 4 – верхний вал; 5 – нижний вал; 6 – зубчатая передача 1-го каскада; 7 – зубчатая передача 2-го каскада; 10 – верхний барабан; 11 – нижний барабан; 14 – верхний ротор; 15 – нижний ротор; 23 – верхнее гибкое звено 1-го каскада; 24 – верхнее гибкое звено 2-го каскада; 25 – нижнее гибкое звено 1-го каскада; 26 – нижнее гибкое звено 2-го каскада; 29 – столб материала в верхнем барабане; 30 – столб материала в нижнем барабане; I – VII – стойки подвижных звеньев 3, 4, 5 10 и 11

Для группы звеньев M_I-N_I , имеющих одно подвижное звено 28, материал, находящийся в нижнем барабане 11 и соединяющий его с нижним ротором 15, и две одноподвижные пары 5-го класса M_I и N_I , подвижность будет равна

$$W_{M_I N_I} = 2 \cdot 1 - 2 \cdot 2 = -1$$

Для группы звеньев $O_I-P_I-I_I$, имеющих два подвижных звена 15 и 24, и три одноподвижные пары 5-го класса O_I , P_I и I_I , степень подвижности будет равна

$$W_{O_I P_I I_I} = 3 \cdot 2 - 2 \cdot 3 = 0.$$

Общая степень подвижности мельницы двухкаскадной мельницы динамического самоизмельчения, имеющую индифферентную группу, будет определяться суммой степеней подвижности ведущего звена и группы звеньев, образующих группы Ассура, присоединённых к ведущему звену 3. Поэтому при условии двойного учёта ведущего звена 3, общая подвижность двухкаскадной мельницы динамического самоизмельчения составит

$$\begin{aligned} W_{\text{ов. каск}} &= W_3 + W_{BCD} + W_{EKL} + W_{MN} + W_{B1C1D1} \\ &+ W_{L1K1E1} + W_{M1N1} + W_{O1P1I1} = \\ &= +1 + 0 + 0 + (-1) + 0 + 1 + 0 + 0 + (-1) + 0 = 0. \end{aligned}$$

В этом случае мельница рассматриваемой системы будет иметь нулевую подвижность. Наличие в структурной схеме группы звеньев, имеющих отрицательную степень подвижности, которыми являются столбы измельчаемого материала 27 и 28, относит их к индифферентным механизмам, свойства которых отличаются от свойств механизмов, не имеющих в своей структуре таких групп и несмотря на нулевую степень

подвижности, эти механизмы не будут испытывать затруднений в движении его звеньев [20].

Энергоэффективность двухкаскадной мельницы с индифферентной структурной группой подтверждается экспериментальными исследованиями, проведёнными на опытном образце созданного образца вертикальной мельницы динамического самоизмельчения, структурная схема которой имеет индифферентную группу.

На рис. 6 представлены экспериментальные зависимости мощности в замкнутом контуре $N_{\text{зк}}$ и мощности, потреблённой из сети $N_{\text{сети}}$, при измельчении мергеля с исходной крупностью кусков $D_{\text{ср}}=30$ мм при проведении полнофакторного эксперимента на опытном образце мельницы системы «МКАД-1» при разных значениях конструктивных и режимных параметрах: кинематическом несоответствии ветвей замкнутого контура $I_{\text{кн}}$, высоты засыпки материалом над ротором $H_{\text{сл}}$ и диаметре выпускных отверстий в барабане $d_{\text{вып}}$ за период измельчения t_i , равным 180 с (0,05 ч), полученные в результате проведения полно факторного эксперимента [20].

Измерение мощности, потребляемой из сети $N_{\text{сети}}$, и мощности в замкнутом контуре $N_{\text{зк}}$, производилось на измерительном комплексе [21] на основе разработанной специальной программы [22].

Один из результатов опыта №17, полученного при измерении этих показателей процесса измельчения представлен на рис. 6.

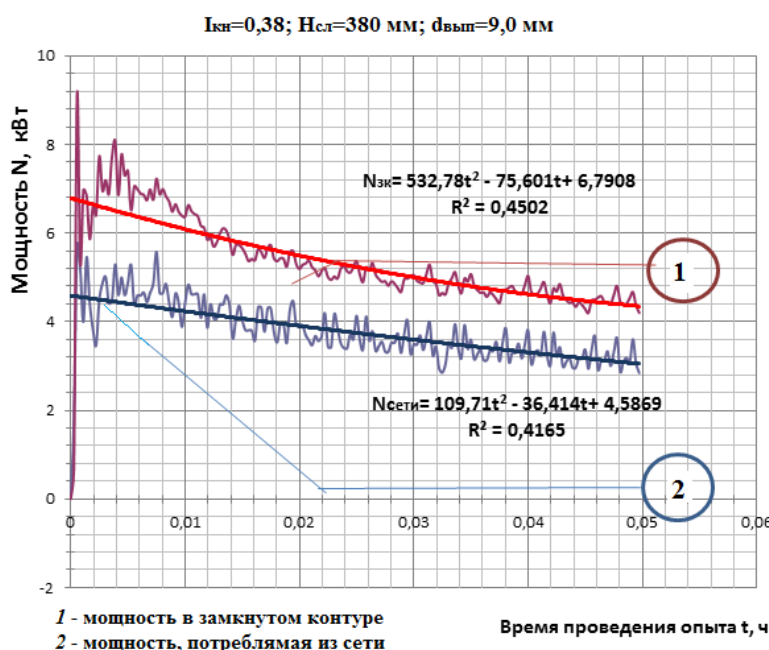


Рис. 6. Диаграмма измерения мощности в замкнутом контуре мельницы динамического самоизмельчения с индифферентной структурной группой:

$N_{\text{зк}}$ и мощности, потребляемой из сети $N_{\text{сети}}$ для опыта №18 при $i_{\text{кн}}=0,38$, $H_{\text{сл}}=380$ мм, $d_{\text{вып}}=9,0$ мм;

1 — мощность в замкнутом контуре; 2 — мощность, потребляемая из сети

Энергозатраты, потреблённой из сети энергии $E_{\text{сети}}$ и энергия замкнутого контура $E_{\text{зк}}$ материала в i -ом опыте за период измельчения t_i , вычислялась как

$$E_i = \int_0^{t_i} F(N_i) d(t), \text{ кДж} \quad (11)$$

Энергозатраты в замкнутом контуре вычисляются как

$$E_{\text{зк}i} = \int_0^t (N_{\text{зк}i} \cdot t_i) dt, \text{ кДж} \quad (12)$$

Относительная энергоэффективность двухкаскадной мельницы динамического самоизмельчения системы «МКАД» в сравнении с мельницами системы «МАЯ» в i -ом опыте определялась, как

$$\Delta E \% = \frac{E_{\text{зк}} - E_{\text{сети}}}{E_{\text{зк}}}, \% \quad (12)$$

Вычисление зависимостей энергии в замкнутом контуре $E_{\text{зк}}$ и энергии, потреблённой из сети $E_{\text{сети}}$ за период измельчения t , равным 180 с, производилось с помощью программы *MATHCAD-14* и показало, что энергопотребление замкнутого контура двухкаскадной мельнице динамического самоизмельчения превышает мощность, потребляемую из сети, в приведённом опыте на 36,4 % в одном каскаде.

Полученные результаты эксперимента подтверждают, что наличие в структурной схеме вертикальной мельницы динамического самоизмельчения индифферентных групп позволяет использовать так называемую «циркулирующую» энергию для дополнительного силового воздействия на измельчаемый материал. Это приводит не только к росту производительности за счёт концентрации измельчительных операций в одной машине, но и к снижению энергопотребления на весьма значительную величину, что подтверждает их перспективу использования при создании машин нового поколения.

На основании выше изложенного, можно сделать следующий вывод – именно наличие в структурной схеме мельницы этой системы избыточного звена, которым являются столбы материала в барабанах, и имеющиеся отрицательную степень подвижности придают ей особое свойство, позволяющее снизить энергозатраты при измельчении, что подтверждается экспериментом.

Выводы.

1. Конструктивная схема двухкаскадной мельницы динамического самоизмельчения и технологический процесс измельчения, который может быть реализован при её использовании, является более прогрессивным в сравнении с применяемыми технологиями на современных

предприятиях по производству строительных материалов, что позволяет повысить производительность, снизить капитальные и эксплуатационные затраты.

2. Построение структурных схем двухкаскадных мельниц динамического самоизмельчения позволяет полезно использовать так называемую «циркулирующую» энергию в обоих каскадах для дополнительного силового воздействия на разрушаемые частицы, что способствует снижению энергозатрат.

3. Конструктивные схемы двухкаскадных мельниц динамического самоизмельчения являются перспективным направлением в совершенствовании технологии измельчения материалов, так как в них реализован принцип концентрации измельчительных операций в одной машине, и позволяет получить готовый продукт за один проход материала от точки загрузки до точки, определяемой уровнем заполнения приёмной ёмкости.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Приказ Минрегиона РФ от 30.05.2011 № 262 «Об утверждении Стратегии развития промышленности строительных материалов и индустриального домостроения на период до 2020 года».
2. Пат. на изобретение №2465960 Российская Федерация. МПК В02С13/14. Измельчитель динамического самоизмельчения/ Дровников А. Н., Остановский А.А., Никитин Е.В., Павлов И.А, Осипенко Л.А., Агафонов Н.А.; Заявка: 2011106231/13, заявл.17.02.2011; Патентообладатель: Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Южно-Российский государственный технический университет (Новочеркасский политехнический институт)", опубл. 10.11 2012 г. Бюл. №31. 5 с.
3. Пат. на изобретение № 2496581 Российская Федерация. МПК В02С13/14. Мельница/ Дровников А.Н., Остановский А.А., Маслов Е.В., Бурков Н.В., Романенко Г.Н.; Заявка: 2012124864/13, заявл. 14.06.2012; Патентообладатель: Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Южно-Российский государственный технический университет. (Новочеркасский политехнический институт)" (RU), Опубл. 10.11 2012 г., Бюл. №31. 5 с.
4. Пат. на изобретение №2520008 Российская Федерация. МПК В02С13/14. Измельчитель динамического самоизмельчения материала/ Дровников А.Н., Остановский А.А., Маслов Е.В., Рыбальченко А.Н.; 2013105689/13; заявл. 11.02.

2013; Патентообладатель: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Южно-Российский государственный университет экономики и сервиса" (ФГБОУ ВПО "ЮРГУЭС"), опублик. 20.06.2014 г., Бюл. №17. 4 с.

5. Дровников А. Н., Остановский А. А. Создание измельчителя динамического самоизмельчения. // Инженерный вестник Дона. Номер 3. 2012. С. 5–6.

6. Остановский А.А. Анализ и выбор рациональной структурной схемы вертикальной мельницы динамического самоизмельчения // Известия Высших учебных заведений Северо-Кавказский регион. Технические науки. 2018. № 1. С.66-73

7. Пат. на полезную модель №122912 Российская Федерация. МПК В02С13/14. Двухдвигательный двухкаскадный измельчитель динамического самоизмельчения. Дровников А.Н., Остановский А.А., Никитин Е.В., Маслов Е.В., Бурков Н.В., Агафонов И.Н. Туркеничева Л.А. Заявка: 2012124859/13, заявл. 14.06.2012. Патентообладатель: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Южно-Российский государственный университет экономики и сервиса" (ФГБОУ ВПО "ЮРГУЭС"), опублик. 20.12.2012, Бюл. № 3. 4 с.

8. Пат. на полезную модель №139718 Российская Федерация. МПК В02С13/14. Двухдвигательный двухкаскадный измельчитель материала /Дровников А.Н., Остановский А.А., Маслов Е.В., Маторин А.С. Заявка: 2013112411/13, заявл. 19.03.2013; Патентообладатель: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Южно-Российский государственный университет экономики и сервиса" (ФГБОУ ВПО "ЮРГУЭС"), опублик. 20.04.2014, Бюл. № 11 - 4 с.

9. Пат. на изобретение №2577631 Российская Федерация. МПК В02С13/14. Двухкаскадный измельчитель материала/ Остановский А.А., Дровников А.Н., Маслов Е.В., Диброва Г.Д., Мицик М.Ф., Осипенко Л. А., Лозовой А. В.; заявка 2014144581/13, заявл 05.11.2014; Патентообладатель: федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Донской государственный технический университет" (ДГТУ), опублик. 20.03.2016, Бюл. № 8 – 5 с.

10. Дровников А.Н. Индифферентные структуры механизмов и машин. – Ростов-на-Дону: Изд-во «Пегас», 1999. -136 с.

11. Остановский А. А. Особенности рабочего процесса измельчения в мельнице динамического самоизмельчения системы «МКАД» // Вестник БГТУ им. В. Г. Шухова. №9. 2017. С. 137–146.

12. Крайнев А. Ф. Словарь-справочник по механизмам. – 2-е изд. перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1987. С.-560.

13. Каменев С.И., Болотовский И.А. О циркулирующей мощности в замкнутых дифференциальных механизмах. В кн. Теория механизмов и детали машин, Уфа, 1974. вып. 1. с. 114 – 117.

14. Системы мельниц динамического самоизмельчения контурного типа: монография. Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М. И. Платова. Новочеркасск: ЮРГПУ(НПИ), 2018. 183 с.

15. Тайнов А.И. Основы теории структуры механизмов. Минск: Изд-во Белорус. политех. ин-та, 1959. 200 с.

16. Гегелашвили М.В., Хетагуров В.Н. К определению скорости слоёв измельчаемого материала в мельнице МАЯ / Сев.- Осет. гос. ун-т. Сев.-Кавк. горно-металлург. ин-т. Орджоникидзе. 1989. 11с Деп. в ЦНИИЭИцветмет. 9.10.89. № 1878-89 Деп.

18. Яворский Б.М., Детлаф А.А. Справочник по физике для инженеров и студентов вузов. Изд-во «Наука», главная редакция физико-математической литературы, Москва, 1971. 929 с.

19. Ассур Л.В. Исследование плоских стержневых механизмов с низшими парами с точки зрения их структуры и классификации. М., 1952. 529 с.

20. Дровников А.Н. Неассуровы структуры механизмов и машин. Ростов-на-Дону: Изд-во «Пегас», 2000. 108 с.

21. Остановский А. А., Маслов Е. В. К определению производительности и удельных энергозатрат в вертикальной мельнице динамического самоизмельчения с силовым замкнутым контуром // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. 2015. №3. С. 59–67.

22. Пат. на полезную модель №175743 РФ, МПК G01L 3/24. Стенд для измерения мощности в замкнутом контуре мельницы динамического самоизмельчения. Остановский А. А., Дровников А.Н., Рыбальченко Н.Г., Рыбальченко А.Н., Черкесова Э.Ю; заявл. 13.12.2016, заявитель и патентообладатель Остановский А.А., опублик. 23.05.2018, Бюл. №15.

23. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2018661841 «Программа расчёта угла скручивания вала электромеханической системы стенда для измерения

мощности в замкнутом контуре мельницы динамического самоизмельчения». Остановский А.А., Алехин А.С., Козырев П.П., Шейрих В.С.; заявл. 14.06.2018, заявитель и патентообладатель

«Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Донской государственный технический университет» (ДГТУ); зарегистрировано 19.09.2018 года.

Информация об авторах

Остановский Александр Аркадьевич, кандидат технических наук, доцент, главный инженер. E-mail: ostanovskiy51@mail.ru. ООО «Оптимастрой», Россия, 141130 г. Руза, Московской области, улица Школьная, дом 28.

Поступила в ноябре 2018 г.

© Остановский А.А., 2019

^{1,*}**Ostanovsky A.A.**

¹LLC "Optimastroy"

Russia, 141130, Ruza, Moscow Region, Shkolnaya St. 28

*E-mail: ostanovskiy51@mail.ru

ANALYSIS AND SELECTION OF RATIONAL STRUCTURAL SCHEME OF TWO-STAGE DYNAMIC SELF-GRINDING MILLS

Abstract. The article substantiates the importance of improving the grinding process of mineral materials based on the use of advanced grinding equipment, which allows to increase productivity and to reduce energy consumption. The use of two-stage dynamic self-grinding mills is one of the ways to achieve this goal. They have a number of technical advantages in comparison with currently known mills of "MAYA" system. In addition to the kinetic energy of rotating rotor, they use the so-called "circulating" energy of the closed loop, resulting from the implementation of closed loop branches with kinematic discrepancy. As a result, an additional force interaction of circulating particles and a decrease in energy consumption arises. The need to build their structural schemes using indifferent groups that provide mills with special properties is justified. The article presents an analytical study of the structural schemes of two-stage mills in different systems. Their presence in the structural schemes of the mill leads to the emergence of "circulation" of energy and shows the nature of its formation. The results of energy consumption measurement during the crushing of marl in mills with indifferent structural groups are presented, confirming the possibility of beneficial use of essentially free energy to increase the energy efficiency of grinding material.

Keywords: grinder, energy consumption, self-grinding, kinetic energy, potential energy, circulating energy, structural diagram, indifferent group, link, stand, closed loop, kinematic discrepancy, rotor, drum.

REFERENCES

1. Order of the Ministry of Regional Development of the Russian Federation of 30.05.2011 № 262 "On approval of the Strategy for the development of the industry of building materials and industrial housing for the period up to 2020 year.

2 Drovnikov A.N, Ostanovsky A.A, Pavlov I.A, Osipenko L.A, Agafonov N.A Dynamic self-shredder. Pat. for invention of the Russian Federation, No. 2465960, 2012.

3. Drovnikov A.N, Ostanovsky A.A, Maslov E.V., Burkov N.V, Romanenko G.N. Mill. Pat. for invention of the Russian Federation, no 2496581, 2012.

4. Drovnikov A.N, Ostanovsky A.A, Maslov E.V, Rybalchenko A.N. Shredder for dynamic self-reduction of material. Pat. for invention of the Russian Federation, no 2520008, 2014.

5. Drovnikov A.N., Ostanovsky A.A. Creation of a grinder for dynamic self-reduction. The Journal of the Engineering Herald of the Don, 2012, no. 3, pp. 5–6.

6. Ostanovsky A.A. Analysis and selection of a rational structural scheme of the vertical mill of dynamic self-crushing. News of Higher Educational Establishments. North-Caucasian region. Technical science, 2018, no. 1, pp. 66–73.

7. Drovnikov A.N., Ostanovskiy A.A., Nikitin E.V., Maslov E.V., Burkov N.V., Agafonov I.N. Turkenicheva L.A. Two-motor two-stage chopper for dynamic autogenous grinding. Pat for utility model of the Russian Federation, no. 22912, 2012.

8. Drovnikov A.N., Ostanovskiy A.A., Maslov E.V., Matorin A.S. Twin-engine, two-stage material grinder. Pat for utility model of the Russian Federation, no. 139718, 2012.

9. Ostanovskiy A.A, Drovnikov A.N., Maslov E.V, Dibrova G.D. Mitsik M.F, Osipenko L.A.,

Lozovoi A.V. Two-stage grinder material. Pat. for invention of the Russian Federation, no 2577631, 2016.

10. Drovnikov A.N. Indifferent structures of mechanisms and machines. Rostov-on-Don: Pegas Publishing House. 1999, 136 p.

11. Ostanovskiy A.A. Features of the grinding process in the mill dynamic autogenous grinding system "MKAD". Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov, no. 9, 2017, pp. 137–146.

12. Drovnikov A.N. Nonassouri structures of mechanisms and machines. Rostov-on-Don: Pegas Publishing House. 2000, 108 p.

13. Kraynev A.F. Dictionary-reference book on mechanisms. - 2nd ed. reclaiming and add. - M.: Mashinostroenie. 1987, P.560.

14. Systems of mills of dynamic self-grinding contour type: monograph/ Platov South-Russian State Polytechnic University (NPI). Novocherkassk: YuRSPU (NPI). 2018, 183 p.

15. Tynov A.I. Fundamentals of the theory of the structure of mechanisms. Minsk: Belarusian publishing house. Polytechnic. Inst.. 1959, 200 p.

16. Gegelashvili M. V. Determination of the limits of the speeds of movement of the material in the MAY dynamic self-grinding mill. Mechanisms and machines of percussion, periodic and vibration action. Mater. Int. simp (Eagle, 22-24 Nov. 2000) Eagle OPU. 2000, pp. 245–249.

18. Yavorsky B.M., Detlaf A.A. Handbook of physics for engineers and university students. Publishing house "Science", the main edition of the physical and mathematical literature, Moscow. 1971, 929 p.

19. Assur L.V. Investigation of flat rod mechanisms with lower pairs in terms of their structure and classification. M.. 1952, 529 p.

20. Drovnikov A.N., Ostanovskiy A.A. Systems of mills of dynamic self-grinding of the contour type: monograph. South-Russian State Impact Polytechnic University (NPI) named after MI Platov. Novocherkassk: SRSPU (NPI). 2017, 183 c.

21. Ostanovsky A.A., Maslov E.V. To the definition of productivity and specific energy consumption in a vertical mill of dynamic self-reduction with a power closed loop. Izvestiya higher educational institutions. North - Caucasian region ", no. 3, February, 2015, pp. 59–67.

22. Ostanovskiy A.A., Drovnikov A.N., Rybal'chenko N.G., Rybal'chenko A.N., Cherkasova E.U. Stand for measuring power in a closed loop of a dynamic autogenous grinding mill. Pat for utility model of the Russian Federation, no 175753, 2018, Bull, no. 15, 6 p.

23. Certificate of state registration of computer programs № 2018661841. "The program for calculating the angle of twist of the shaft of the electromechanical system of the stand for measuring power in a closed loop of a dynamic self-grinding mill." Ostanovskiy A.A., Alekhin A.S., Kozyrev P.P., Sheirich V.S. Application: 2018616246, claimed. 14.06.2018; Registered in the registry of computer programs 19.09 2018. The patentee: Federal State Budget Educational Institution of Higher Professional Education "Don State Technical University" (DSTU).

Information about the authors

Ostanovsky, Alexander. A. PhD, Assistant professor, chief engineer. E-mail: ostanovskiy51@mail.ru. LLC "Optimastroy". Russia, 141130, Ruza, Moscow Region, st. Shkolnaya 28.

Received in December 2018

Для цитирования:

Остановский А.А. Анализ и выбор рациональной структурной схемы двухкаскадной мельницы динамического самоизмельчения // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2019. №1. С. 130–141. DOI: 10.12737/article_5c506253855313.91225812

For citation:

Ostanovsky A.A. Analysis and selection of rational structural scheme of two-stage dynamic self-grinding mills. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov, 2019, no. 1, pp. 130–141. DOI: 10.12737/article_5c506253855313.91225812

DOI: 10.12737/article_5c50625ddaff78.50515602

^{1,*}Стрельников В.Н., ²Волошин А.И., ²Суков М.Г.¹Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова
Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46²Частное акционерное общество «Новокраматорский машиностроительный завод»
Украина, 84305, Донецкая обл., г. Краматорск, ул. Орджоникидзе, 5

*E-mail: viktor.strelnickov2017@yandex.ru

ИНТЕРФЕРЕНЦИЯ ЗУБЬЕВ В ЗАЦЕПЛЕНИИ КРУПНОЙ ВОЛНОВОЙ ПЕРЕДАЧИ

Аннотация. Среди большого разнообразия научно-технических задач, одной из наиболее актуальных является повышение нагрузочной способности, долговечности, снижение габаритно-весовых характеристик механического привода. Для повышения нагрузочной способности передающих механизмов используют многопоточные кинематические схемы, в т. ч. с гибкими звеньями, упругие деформации которых упрощают технику дифференцирования силовых потоков. Представлены наиболее актуальные вопросы повышения нагрузочной способности волновых зубчатых передач применительно к тяжелому машиностроению. При передаче больших по величине вращающих моментов и малом модуле зубьев, деформации гибкого колеса выходят далеко за пределы установленных зазоров в зубчатом зацеплении волновой передачи. Это приводит к негативным явлениям, таким как интерференция, заклинивание и проскок зубьев в зубчатом зацеплении, активизирующиеся с повышением величины передаваемого вращающего момента. Выполненные исследования позволили установить зависимости численных значений зазоров и интерференции зубьев в зацеплении крупной волновой передачи, в зависимости от ее геометрических параметров, характера и величины деформаций гибкого колеса и др. несущих элементов от приложенной нагрузки.

Ключевые слова: волновая передача, зазоры, интерференция, проскок зубьев, заклинивание.

Введение. Современные тенденции наращивания производительности крупного высокотехнологичного оборудования, сталкиваются с определенными сложностями, вызванными непомерным ростом габаритно – весовых характеристик. Требуются новые подходы и оригинальные научно-технические решения подобных задач. Например, комплектация приводов тяжелых машин волновыми зубчатыми редукторами, доведенными до наиболее высокого технического уровня. Исследование геометрии и кинематики зубчатого зацепления, устранение интерференции зубьев, является актуальной научно-производственной задачей создания крупных волновых редукторов. Решение этой задачи позволяет снизить металлоёмкость и габариты тяжёлых машин, повысить их технический уровень и конкурентные свойства, в том числе нагрузочную способность, к.п.д., и ресурс работы, уменьшить себестоимость и эксплуатационные расходы. Однако, промышленное применение получили волновые зубчатые передачи преимущественно кинематического назначения [1, 2], ввиду высокой податливости гибкого зубчатого колеса и невозможности передачи больших вращающих моментов несущими элементами конструкции.

При разработке и освоении редукторов с гибкими зубчатыми колесами для тяжелой промышленности возникло множество серьезных вопросов, вызванных невозможностью использования линейного геометрического масштабирования для тяжело нагруженных волновых редукторов. Промышленность не выпускает гибкие подшипники

больших диаметров и для таких редукторов невозможно использовать кулачковые волнообразователи. В тяжелом машиностроении используют дисковые генераторы волн, которые принципиальным образом изменяют условия формообразования гибкого колеса. Это касается не только количественных, но прежде всего, качественных особенностей взаимодействия сопряженных звеньев. Например, области гибкого колеса свободные от действия дисков генератора волн, негативное влияние которых связано с интерференцией, заклиниванием и проскоком зубьев в зацеплении, снижением нагрузочной способности, дополнительными расходами энергии. В известных расчётных методиках не существуют объективные решения подобных задач. Создание тяжело нагруженных волновых передач, с качественно новыми техническими характеристиками, в том числе сниженными габаритами и массой, удовлетворяющих техническим условиям тяжелого машиностроения, представляет актуальную научно-техническую проблему, решение которой позволяет повысить конкурентный уровень выпускаемой продукции, обеспечивает возможность наращивания единичных мощностей и производительность машин тяжелой индустрии.

Малая разность зубьев внутреннего зацепления волновой передачи нарушает условия зацепления зубчатой пары, вызывает интерференцию зубьев. Перманентная деформация гибкого колеса нарушает начальные условия сопряжения

кинематических звеньев, накладывает дополнительные требования на геометрические параметры их взаимодействия [3, 4] и вносит дополнительные элементы в исходную структуру математической модели деформированного зубчатого зацепления [5]. Это усложняет решение задачи моделирования синтеза зацепления высших кинематических пар с гибким звеном [6, 7]. Установлены зависимости зазоров между зубьями от геометрических, силовых и конструктивных особенностей волновой зубчатой передачи, а также определены зазоры в наиболее опасных, с точки

зрения интерференции, зонах на входе и выходе зубьев из зацепления.

Основная часть. При разработке математического моделирования зазоров в зубчатом зацеплении крупной волновой передачи использовались расчетные схемы, приведенные в следующих работах [8, 9]. Стендовые испытания волновых редукторов ВЗ–1120 и ВЗ–1120А выполнялись на универсальном стенде (табл. 1) (рис. 1). Результаты экспериментов кинематических волновых передач изложены в работах [10–14].

Таблица 1

Технические характеристики волновых редукторов привода наклона передвижного миксера МП – 600АС емкостью 600 тонн расплавленного металла и перефутеровки рудоразмольной мельницы МГР 5500×7500 полезным объёмом 160 м³, массой загружаемой руды 220 т

Наименование параметра	Редуктор миксера ВЗ – 1120	Редуктор мельницы ВЗ – 1120А
Габаритные размеры, мм	2865×1660×1870	2680×1600×1554
Масса, кг	8406	7495
Передаточное число редуктора	2163,07	275
Передаточное число волновой передачи	380	275
Передаточное число цилиндрической передачи	5,69	-
Модуль зубьев волновой передачи, мм	1,5	2
Угол зацепления α , град	20°	20°
Числа зубьев гибкого и жесткого колёс	760; 762	550; 552
Длина, внешний диаметр, толщина оболочки, мм	590; 1148; 12	550; 1110; 13,5
Ширина зубчатого венца гибкого колеса, мм	110	100
Максимальный вращающий момент на тихоходном валу, $M_{2\max}$, Нм	$5 \cdot 10^5$	$5 \cdot 10^5$
Номинальный вращающий момент на тихоходном валу, M_2 , Нм	$3 \cdot 10^5$	$3 \cdot 10^5$
Радиальная деформация гибкого колеса, w_0 , мм	1,69	2,43
Текущие угловые параметры β , θ^* , χ	105°; 34°; 12°	115°; 32°; 14°
Текущие линейные параметры a , d , мм	535; 1157,8	545; 1122,1
Генератор волн	трехдисковый	
Материал дисков, гибкого и жесткого колёс	Сталь 34ХНЗМА с объёмной термообработкой	
Смазка волновых редукторов	жидкая, принудительная подача масла МС–20 на генератор волн, зубчатое зацепление и на подшипники	

Определяем параметр γ — половина угла прилегания гибкого колеса к диску генератора волн

$$\cos \gamma = 1 - \frac{W_0}{\varepsilon}, \quad (1)$$

где W_0 — максимальная радиальная деформация гибкого колеса у большой оси генератора волн; ε — эксцентриситет установки дисков генератора

волн.

Безразмерные коэффициенты A_1 , B_1 , характеризующие деформацию гибкого колеса

$$A_1 = \frac{\pi}{2} - \gamma - \sin \gamma \cos \gamma, \quad (2)$$

$$B_1 = \frac{4}{\pi} \left[\cos \gamma - \left(\frac{\pi}{2} - \gamma \right) \sin \gamma \right]. \quad (3)$$

Перемещения W , V , θ участка зубчатого венца гибкого колеса удаленного на угол $0 \leq \varphi \leq \gamma$ от большой оси генератора волн

$$\left. \begin{aligned} W &= \frac{W_o}{A_1 - B_1} (A_1 \cos \varphi - B_1), \\ V &= -\frac{W_o}{A_1 - B_1} (A_1 \sin \varphi - B_1 \varphi), \\ \theta &= \frac{W_o B_1 \varphi}{r(A_1 - B_1)}, \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

где $\varphi = \frac{\pi}{2} - \omega_h t$ — текущее положение большой оси генератора волн; r — радиус срединной линии обода гибкого колеса

Для угла $\gamma \leq \varphi \leq \frac{\pi}{2}$ имеем

$$\left. \begin{aligned} W &= \frac{W_o}{A_1 - B_1} \left[(1 + \sin^2 \gamma) \sin \varphi + \left(\frac{\pi}{2} - \varphi \right) \cos \varphi - 2 \sin \gamma - B_1 \right], \\ V &= -\frac{W_o}{A_1 - B_1} \left[\left(\frac{\pi}{2} - \varphi \right) \sin \varphi - (2 + \sin^2 \gamma) \cos \varphi - (2 \sin \gamma + B_1) \varphi + 2(\cos \gamma + \gamma \sin \gamma) \right], \\ \theta &= \frac{W_o}{r(A_1 - B_1)} [2 \cos \varphi + (2 \sin \gamma + B_1) \varphi - 2(\cos \gamma + \gamma \sin \gamma)]. \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

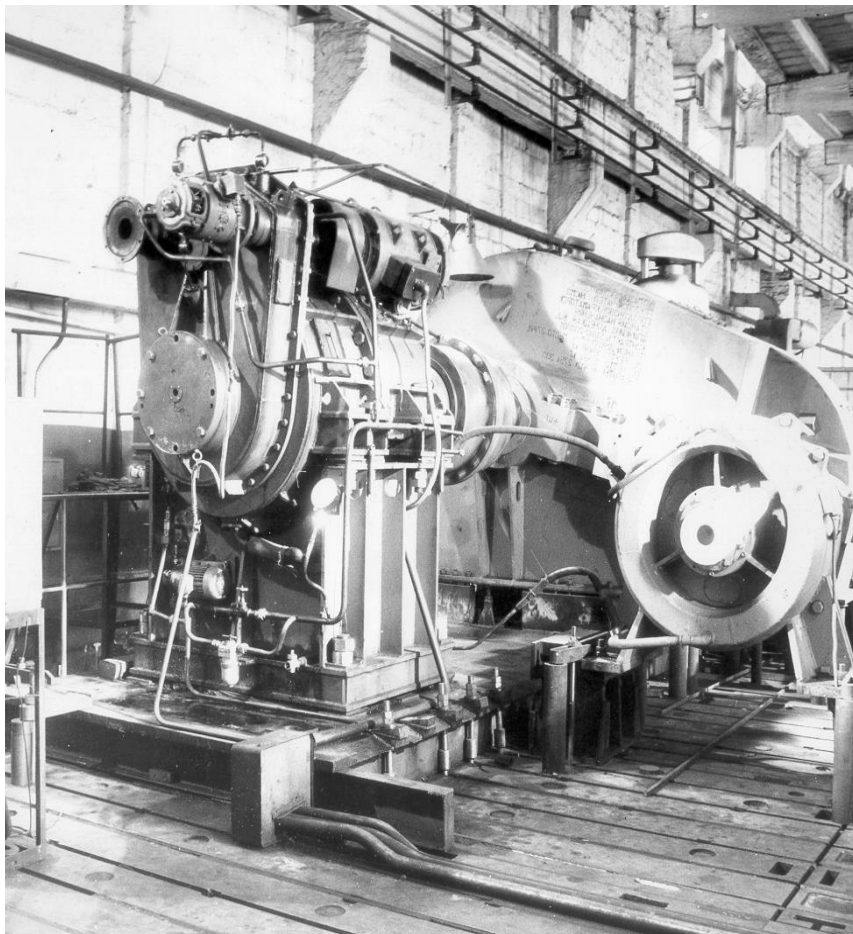


Рис. 1. Стенд с разомкнутым силовым контуром для исследования крупных волновых редукторов

Проекции радиальных перемещений вершин и впадин зубьев гибкого колеса W_{aq} , W_{fq} на направление оси симметрии зуба n

$$\left. \begin{aligned} W_{aq} &= (r_{aq} + W) \cos \varphi_q - r - W_b, \\ W_{fq} &= (r_{fq} + W) \cos \varphi_q - r - W_b, \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

где r_{aq} , r_{fq} – радиусы окружностей вершин и впадин зубьев; $\varphi_q = \frac{\omega_n t}{U} = \left(\frac{\pi}{2} - \varphi \right) / \frac{U}{U}$ – угол поворота гибкого колеса относительно жесткого.

Проекция окружных перемещений вершин и впадин зубьев гибкого колеса V_{aq} , V_{fq} на направление ортогональное к оси n

$$V_{aq} = V + (r_{aq} - r) \theta - (r_{aq} + W) \varphi_b - V_b \quad \left\{ \begin{array}{l} r_{yq} = r_{fq} + r_{ab} \cos \left(\frac{2\pi}{z_q} \right) \psi - (r_{fq} + W) \cos \varphi_b, \\ r_{yb} = r_{fb} + r_{ab} \cos \left(\frac{2\pi}{z_q} \right) \psi - (r_{aq} + W) \cos \varphi_b, \end{array} \right. \quad (9)$$

где r_{ab} – радиус окружности вершин зубьев жесткого колеса.

Диаметры основных окружностей d_b гибкого и жесткого колес $d_b = m \cdot Z \cos \alpha$

Угол профиля зуба в произвольном сечении α_y : $\cos \alpha_y = \frac{d_b}{d_y}$.

Толщина зубьев S_y по дуге произвольного диаметра

$$S_y = d_y \left(\frac{\pi}{2Z} \pm 2x \frac{\tan \alpha}{Z} + \text{inv} \alpha \pm \text{inv} \alpha_y \right), \quad (11)$$

где x – коэффициент смещения инструмента.

$$J'_{aq} = (r + W_{aq}) \frac{2\pi}{Z_b} - |V_{aq}| - 0,5 (S_{aq} + S_{yb}) \cos \alpha_y, \quad (14)$$

$$J'_{ab} = (r + W_{aq}) \frac{2\pi}{Z_b} - |V_{yq}| - 0,5 (S_{ab} + S_{yq}) \cos \alpha_y. \quad (15)$$

Диски генератора волн установлены на роликовых радиальных двухрядных подшипниках.

Суммарная величина упругой деформации по внутреннему и наружному кольцам подшипника

$$\delta_{ko} = 56 \cdot 10^{-7} \frac{R}{Z \cdot l_p \cdot \cos \beta} \lg \left(\frac{7,6 \cdot 10^6 \cdot d_p \cdot l_p \cdot z \cdot \cos \beta}{R} \right). \quad (16)$$

Максимальный радиальный зазор в подшипнике с учетом износа $\delta = k \frac{\Delta}{2}$, где $k = 1,1 \dots 1,3$ – коэффициент, учитывающий износ; Δ – начальный радиальный зазор в подшипнике.

Угол возможного входа зубьев в ненагруженном зубчатом зацеплении определяется из условия:

$$W = r_{ab} - r_{aq}.$$

Окружная сила в зубчатом зацеплении

$$F_t = \frac{T_2}{r},$$

$$V_{fq} = V + (r_{fq} - r) \theta - (r_{fq} + W) \varphi_b - V_b. \quad (7)$$

Для произвольного радиуса r_y можно переписать 2^ю формулу из (7)

$$V_{yq} = V + (r_{yq} - r) \theta - (r_{yq} + W) \varphi_b \quad (8)$$

Радиус окружности r_{yq} недеформированного гибкого колеса “q”, который у деформированного гибкого колеса совпадает с окружностью вершин жесткого колеса “b” в точке, определяемой углом φ

Зазоры у вершин зубьев гибкого j_{aq} , и жесткого j_{ab} колес при входе зубьев в зацепление

$$J_{aq} = \left(|V_{aq}| - \frac{S_{aq} + S_{yb}}{2} \right) \cos \alpha_y, \quad (12)$$

$$J_{ab} = \left(|V_{yq}| - \frac{S_{ab} + S_{yq}}{2} \right) \cos \alpha_y, \quad (13)$$

где S_{aq} , S_{ab} – толщина вершин зубьев гибкого и жесткого колес.

Зазоры у вершин зубьев гибкого j'_{aq} и жесткого j'_{ab} колес на дуге выхода из зацепления

где T_2 — нагрузочный момент на тихоходном валу волновой передачи; r — радиус срединной поверхности гибкого колеса. Радиальная сила в зубчатом зацеплении $F_r = F_t \cdot \tan 20^\circ$.

Угол φ входа зубьев в зацепление под нагрузкой определяется по условию равенства координат вершин зубьев гибкого и жесткого колес, при этом радиальное перемещение W_H определяется по приближенной формуле

$$W_H = r_{ab} - r_{aq} + \delta \quad (17)$$

С учетом приложенной нагрузки, выражение (7) приводится к виду:

$$V_{aq} = [V_H + (r_{aq} - r)\theta_H - (r_{aq} + W_H)\varphi_b] + \left[\delta \left(\frac{r_{aq}}{r} \varphi + \varphi_b \right) + \delta_{ko} (\sin \varphi + \varphi_b \cos \varphi) + \frac{r_{aq}}{r} V_p \right]. \quad (18)$$

Зазоры по торцам гибкого колеса: переднему j_{vw1} и заднему j_{vw2}

$$\left. \begin{aligned} J_{vw1} &= -\frac{b}{2l_1} (V \cos \alpha_{cp} + W \sin \alpha_{cp}), \\ J_{vw2} &= \frac{b}{2l_1} (V \cos \alpha_{cp} + W \sin \alpha_{cp}), \end{aligned} \right\} \quad (19)$$

где l_1 – расстояние расчётного сечения до конца оболочки.

заднему j_{k2} торцам от закручивания гибкого колеса

Приращение зазоров по переднему j_{k1} и

$$\left. \begin{aligned} J_{k1} &= \frac{T_2 \cdot b}{4\pi \cdot G \cdot r^2 \cdot S_1}, \\ J_{k2} &= -\frac{T_2 \cdot b}{4\pi \cdot G \cdot r^2 \cdot S_1}, \end{aligned} \right\} \quad (20)$$

где $G = 8 \cdot 10^4$ МПа – модуль упругости второго рода; S_1 – толщина зубчатого венца.

J_{aq2} зубчатого венца учитывают перекосы зубьев и закручивание гибкого колеса при входе зубьев в зацепление

Зазоры у переднего и заднего торцов J_{aq1} ,

$$\left. \begin{aligned} J_{aq1} &= J_{aq} + J_{vw1} + J_{k1}, \\ J_{aq2} &= J_{aq} + J_{vw2} + J_{k2}, \end{aligned} \right\} \quad (21)$$

и выходе зубьев из зацепления

$$\left. \begin{aligned} J'_{aq1} &= J'_{aq} + J_{vw1} + J_{k1}, \\ J'_{aq2} &= J'_{aq} + J_{vw2} + J_{k2}. \end{aligned} \right\} \quad (22)$$

Нарушение условий зубчатого зацепления крупной волновой передачи связано с малым модулем зубьев 1,5...2 мм, большой шириной зубчатых венцов 100...120 мм при таких малых значениях модулей зубьев и соответствующими значениями передаваемых вращающих моментов $M_2 = 5 \cdot 10^5$ Нм, что вызывают интерференцию зубьев. Максимальные значения интерференция зубьев 2^{го} рода приобретает в точках входа и выхода зубьев из зацепления. Влияние масштабного фактора, при наличии гибкого зубчатого колеса и высоких нагрузках, вызывает не только заклинивание зубьев, но и качественно новый негативный эффект – проскок зубьев в зацеплении.

Известные попытки устранения интерференции зубьев путем увеличения угла зацепления α до 30° не дали положительного результата. При 30° зубчатом зацеплении радиальная нагрузка на генератор волн повышается на 60 %. Растут реакции опор, масса, энергетические потери, снижается ресурс работы, активизируются колебательные процессы генератора волн. Поэтому для крупных волновых передач наиболее предпочтительным остается стандартное 20° зубчатое зацепление.

Интерференция зубьев крупных волновых передач связана с масштабным фактором и не может быть устранена известными способами. Решение подобных задач сопряжено с разработкой новых технических решений [15] на базе теоретических и экспериментальных исследований, опыте производства и эксплуатации крупных волновых редукторов.

Выводы. На основе совершенствования теоретических и экспериментальных методов исследования, стендовых и промышленных испытаний опытных образцов, получила решение наиболее актуальная комплексная задача механического привода в тяжелом машиностроении, связанная с повышением эффективности, нагрузочной способности, кинематических характеристик, снижением габаритов и массы высоко нагруженных волновых зубчатых редукторов.

Впервые синтезирована обобщённая математическая модель зубчатого зацепления крупной волновой зубчатой передачи, определяющая граничные условия проявления интерференции зубьев 2-го рода, а также заклинивание и проскок зубьев в зацеплении под нагрузкой. Установлено, с ростом нагрузки отрицательные зазоры смеща-

ются к входу зубьев в зацепление, где они достигают максимальных значений по абсолютной величине. Проведение лабораторных и промышленных испытаний опытных образцов позволило получить перспективные конструктивные решения и довести технические характеристики крупных волновых зубчатых редукторов до расчётных значений.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Stoehr J.D. Choosy about gears. Tool. and Prod, 2001, 66. no. 10, pp. 65–67. Harmonic Drive LLC. URL: <http://www.harmonicdrive.net>.
2. Timofeev G.A. Drives with harmonic gears for servo systems. Russian Engineering Research. 2016, vol. 36, no. 3, pp. 187–193.
3. Ghorbel F.H., Gandhi P.S., Alpeter F. On the Kinematic Error in Harmonic Drive Gears. Journal of Mechanical Design, 2001, vol. 123, Is. 1, pp. 90–97.
4. Gandhi P.S., Ghorbel F.H. Closed-loop compensation of kinematic error in harmonic drives for precision control applications. IEEE Transactions on Control Systems Technology, 2002, vol. 10, Is. 6, pp. 759–768.
5. Lewis J. Fast forward for harmonic-drive gearing. Glob. Des. News, 2000, vol. 4, no. 2, pp. 46–47.
6. Tuttle T.D. Understanding and Modeling the Behavior of a Harmonic Drive Gear Transmission the degree of Master of Science in Mechanical Engineering. Massachusetts, Artificial Intelligence Laboratory, 1992, 322 p.
7. Huimin Dong, Zhengdu Zhu, Weidong Zhou, Zhi Chen. Dynamic Simulation of Harmonic Gear Drives Considering Tooth Profiles Parameters Optimization. Journal of Computers, 2012, vol. 7, no. 6, pp. 1429–1436. doi:10.4304/jcp.7.6.1429–1436.
8. Slatter R., Degen R. Miniature zero-backlash gears and actuators for precision positioning applications. Proceedings of the 11th European Space Mechanisms and Tribology Symposium ESMATS 2005, Lucerne, 21–23 September 2005, Noordwijk, ESTEC, 2005, pp. 9–15.
9. Rolf S., Reinhard D. Miniature zero-backlash gears and actuators for precision positioning applications. Proceedings of the 11 European Space Mechanisms and Tribology Symposium (ESMATS 2005), Lucerne, 21–23 September, 2005. Noordwijk, ESTEC, 2005, pp. 9–15.
10. Taghirad H.D., Belanger P.R., Helmy A. An Experimental Study on Harmonic Drives. Technical Report Submitted to International Submarine Engineering Ltd., Port Coquitlam BC, V3C, 2M8. Center for Intelligent Machines. McGill University, 3480, University St., Montreal, PQ, H3A , 2A7, March 1, 1996, pp. 37.
11. Tuttle T.D. Understanding and Modeling the Behavior of a Harmonic Drive Gear Transmission the degree of Master of Science in Mechanical Engineering. Artificial Intelligence Laboratory, 545 Technology Square Cambridge, Massachusetts. 1992, pp. 322.
12. Dhaouadi R., Ghorbel F.H., Gandhi P.S. A New Dynamic Model of Hysteresis in Harmonic Drives. IEEE Transactions on Industrial Electronics, vol. 50, no. 6, December 2003, pp. 1165.
13. Taghirad H.D., Belanger P.R. An experimental study on modelling and identification of harmonic drive systems. 35th IEEE Conference on Decision and Control, 1996.
14. Hidaka Teruaki, Sasahara Masakatsu, Taniooka Yoshihiro; Okada Kouji. Torsional vibration in the robot due to wave gears. Transactions of the Japan Society of Mechanical Engineers. Series C, 1986, vol. 52, no. 480, pp. 2207–2212.
15. Tarabarin V., Tarabarina Z. Alternative in Harmonic Train Design. Proceedings of EUCOMES 08, the Second European Conference on Mechanism Science, ed. Marco Ceccarelli, Springer, 2009, pp. 397–403.

Информация об авторах

Стрельников Виктор Никитович, доктор технических наук, профессор кафедры теоретической механики и сопротивления материалов. E-mail: viktor.strelnickov2017@yandex.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Волошин Алексей Иванович, главный инженер частного акционерного общества “Новокраматорский машиностроительный завод”. Украина, Донецкая обл., г. Краматорск, ул. Орджоникидзе, 5.

Суков Максим Геннадьевич, начальник цеха частного акционерного общества “Новокраматорский машиностроительный завод”. E-mail: maxgs@yandex.ru. Украина, Донецкая обл., г. Краматорск, ул. Орджоникидзе, 5.

Поступила в декабре 2018 г.

© Стрельников В.Н., Волошин А.И., Суков М.Г., 2019

^{1,*}Strelnikov V.N., ²Voloshin A.I., ²Sukov M.G.

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

²Private Joint Stock Company "Novokramatorsky mashinostroitelny zavod"
84305, Ukraine, Kramatorsk, Ordzhonikidze street, 5

*E-mail: viktor.strelnickov2017@yandex.ru

INTERFERENCE OF COGS IN GEARING THE LARGE WAVE TRANSMISSION

Abstract. Among a wide variety of scientific and technical problems, one of the most urgent is to increase the load capacity, durability, reduction of weight characteristics of the mechanical drive. Multi-threaded kinematic schemes with flexible links, whose elastic deformations simplify the technique of differentiating the power flows are used to increase the load capacity of the transmission mechanisms. The most relevant issues of increasing the load capacity of wave gears in relation to heavy engineering are presented. When transmitting large-sized torques and a small module of cogs, the deformations of the flexible wheel go far beyond the established gaps in the gearing of the wave transmission. This leads to the negative phenomena, such as interference, jamming and slippage of the cog in the gearing, activated with an increase in the magnitude of the transmitted torque. The performed studies allow to establish the dependence of numerical values of the gaps and cogs interference in the engagement of a large wave transmission, depending on its geometric parameters, the nature and magnitude of the deformations of the flexible wheel and other bearing elements on the applied load.

Keyword: wave transmission, gaps, interference, cog skip, jamming.

REFERENCES

1. Stoehr J.D. Choosy about gears. Tool. and Prod, 2001, 66, no. 10, pp. 65–67. Harmonic Drive LLC. URL: <http://www.harmonicdrive.net>.
2. Timofeev G.A. Drives with harmonic gears for servo systems. Russian Engineering Research, 2016, vol. 36, no. 3, pp. 187–193.
3. Ghorbel F.H., Gandhi P.S., Alpeter F. On the Kinematic Error in Harmonic Drive Gears. Journal of Mechanical Design, 2001, vol. 123, is. 1, pp. 90–97.
4. Gandhi P.S., Ghorbel F.H. Closed-loop compensation of kinematic error in harmonic drives for precision control applications. IEEE Transactions on Control Systems Technology, 2002, vol. 10, is. 6, pp. 759–768.
5. Lewis J. Fast forward for harmonic-drive gearing. Glob. Des. News, 2000, vol. 4, no. 2, pp. 46–47.
6. Tuttle T.D. Understanding and Modeling the Behavior of a Harmonic Drive Gear Transmission the degree of Master of Science in Mechanical Engineering. Massachusetts, Artificial Intelligence Laboratory, 1992. 322 p.
7. Huimin Dong, Zhengdu Zhu, Weidong Zhou, Zhi Chen. Dynamic Simulation of Harmonic Gear Drives Considering Tooth Profiles Parameters Optimization. Journal of Computers, 2012, vol. 7, no. 6, pp. 1429–1436. doi:10.4304/jcp.7.6.1429–1436.
8. Slatter R., Degen R. Miniature zero-backlash gears and actuators for precision positioning applications. Proceedings of the 11th European Space Mechanisms and Tribology Symposium ESMATS 2005, Lucerne, 21–23 September 2005, Noordwijk, ESTEC, 2005, pp. 9–15.
9. Rolf S., Reinhard D. Miniature zero-backlash gears and actuators for precision positioning applications. Proceedings of the 11 European Space Mechanisms and Tribology Symposium (ESMATS 2005), Lucerne, 21–23 September, 2005. Noordwijk, ESTEC, 2005, pp. 9–15.
10. Taghirad H.D., Belanger P.R., Helmy A. An Experimental Study on Harmonic Drives. Technical Report Submitted to International Submarine Engineering Ltd., Port Coquitlam BC, V3C, 2M8. Center for Intelligent Machines. McGill University, 3480, University St., Montreal, PQ, H3A , 2A7, March 1, 1996, pp. 37.
11. Tuttle T.D. Understanding and Modeling the Behavior of a Harmonic Drive Gear Transmission the degree of Master of Science in Mechanical Engineering. Artificial Intelligence Laboratory, 545 Technology Square Cambridge, Massachusetts. 1992, pp. 322.
12. Dhaouadi R., Ghorbel F.H., Gandhi P.S. A New Dynamic Model of Hysteresis in Harmonic Drives. IEEE Transactions on Industrial Electronics. vol. 50. no. 6, December 2003, pp. 1165.
13. Taghirad H.D., Belanger P.R. An experimental study on modelling and identification of harmonic drive systems. 35th IEEE Conference on Decision and Control, 1996.
14. Hidaka Teruaki, Sasahara Masakatsu, Taniooka Yoshihiro; Okada Kouji. Torsional vibration in the robot due to wave gears. Transactions of the Japan Society of Mechanical Engineers. Series C. 1986, vol. 52, no. 480, pp. 2207–2212.

15. Tarabarin V., Tarabarina Z. Alternative in Harmonic Train Design. Proceedings of EUCOMES 08, the Second European Conference on Mechanism Science, ed. Marco Ceccarelli, Springer, 2009, pp. 397–403.

Information about the author

Strelnikov, Viktor N. DSc, Professor. E-mail: viktor.strelnikov2017@yandex.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Voloshin, Aleksey I. Chief Engineer. Private Joint Stock Company “Novokramatorsky mashinostroitelny zavod”. Ukraine, 84305, Kramatorsk, Ordzhonikidze street, 5.

Sukov, Maxim G. Postgraduate student of chair for theoretical mechanics and strength of materials of BSUT named after V.G. Shukhov, superintendent of machine assembly shop No.11. E-mail: maxgs@yandex.ru. Private Joint Stock Company “Novokramatorsky mashinostroitelny zavod”, 84305, Ukraine, Kramatorsk, Ordzhonikidze street, 5

Received in December 2018

Для цитирования:

Стрельников В.Н., Волошин А.И., Суков М.Г. Интерференция зубьев в зацеплении крупной волновой передачи // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2019. №1. С. 142–149.

For citation:

Strelnikov V.N., Voloshin A.I., Sukov M.G. Interference of cogs in gearing the large wave transmission. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov, 2019, no. 1, pp. 142–149.

Научное издание

«Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова»
№ 1, 2019 г.

Научно-теоретический журнал

Координатор журнала
Алфимова Наталия Ивановна

Редактор журнала
Агеева Марина Сергеевна

Компьютерная верстка
Яшкина Светлана Юрьевна

Перевод на английский язык
Колесник Оксана Юрьевна

Учредитель журнала – Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова»
(БГТУ им. В.Г. Шухова)

Журнал зарегистрирован Министерством РФ по делам печати, телерадиовещания и средств массовой информации ПИ №ФС77-26533

Сдано в набор 3.12.18. Подписано в печать 23.01.19. Формат 60×84/8
Усл. печ. л. 17,33. Уч.-изд. л. 18,63
Тираж 500 экз. Заказ 427. 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