

Научно-теоретический журнал
ВЕСТНИК

БГТУ им. В.Г. Шухова

ISSN 2071-7318

12

2021

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**

№ 12, 2021 год

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

Vol. 12. 2021

Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова

научно-теоретический журнал

К рассмотрению и публикации в НТЖ «Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова» принимаются научные статьи и обзоры по фундаментальным и прикладным вопросам в области строительства, архитектуры, производства строительных материалов и композитов специального назначения, химических технологий, машиностроения и машиноведения, освещающие актуальные проблемы отраслей знания, имеющие теоретическую или практическую значимость, а также направленные на внедрение результатов научных исследований в образовательную деятельность.

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

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

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

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

Наименование органа, зарегистрировавшего издание:	Журнал зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций Свидетельство о регистрации ПИ № ФС77-80909 от 21 апреля 2021 г.
Учредитель/Издатель:	Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова» (БГТУ им. В.Г. Шухова) Россия, 308012, Белгородская обл., г. Белгород, ул. Костюкова, д. 46
Адрес редакции:	Россия, 308012, Белгородская обл., г. Белгород, ул. Костюкова, д. 46, БГТУ им. В.Г. Шухова, оф. 724/4 Гк
Адрес типографии:	Россия, 308012, Белгородская обл., г. Белгород, ул. Костюкова, д. 46, Издательский центр БГТУ им. В.Г. Шухова
Тел:	+7 (4722) 30-99-77
E-mail:	VESTNIK@intbel.ru
Официальный сайт журнала:	https://bulletinbstu.editorum.ru
Подписка и распространение	Журнал распространяется бесплатно в открытом доступе и по подписке. Подписной индекс в Объединенном каталоге «Пресса России» – 44446. (+12) Online подписка: http://www.akc.ru/itm/2558104627/ Цена свободная.
Подписан в печать	15.12.2021
Выход в свет	24.12.2021

Формат 60×84/8. Усл. печ. л. 12,32. Уч.-изд. л. 13,25. Тираж 40 экз. Заказ № 135

Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov

scientific and theoretical journal

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

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

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

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

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

Founder / Publisher:	Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov” (BSTU named after V.G. Shukhov) 46 Kostyukova street, Belgorod, 308012, Russian Federation
Editorial office address:	46 Kostyukova street, Belgorod, 308012, Russian Federation BSTU named after V.G. Shukhov, of. 724/4
Printing house address:	46 Kostyukova street, Belgorod, 308012, Russian Federation Publishing Center, BSTU named after V.G. Shukhov
Tel:	+7 (4722) 30-99-77
E-mail:	VESTNIK@intbel.ru
Official website of the journal	https://bulletinbstu.editorum.ru
Подписка и распространение	Subscription index in the united catalogue of "Press of Russia" – 44446. Online subscription: http://www.akc.ru/itm/2558104627/
Signed for printing:	15.12.2021

Главный редактор

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

Заместитель главного редактора

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

Члены редакционной коллегии

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Кожухова Марина Ивановна, PhD, научный сотрудник кафедры гражданского строительства и охраны окружающей среды, Школа инжиниринга и прикладных наук, Университет Висконсин-Милуоки, штат Висконсин

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

CHIEF EDITOR

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

DEPUTY OF CHIEF EDITOR

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

MEMBER OF EDITORIAL BOARD

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

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

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

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

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

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

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

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

Petr G. 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).

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

Ядыкина В.В., Тоболенко С.С., Гридчин А.М., Выродова К.С. ВЛИЯНИЕ СТАБИЛИЗИРУЮЩИХ ДОБАВОК НА УСТОЙЧИВОСТЬ АСФАЛЬТОБЕТОНА К ВОЗДЕЙСТВИЮ ПОГОДНО-КЛИМАТИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ	8
Шестаков Н.И., Алексеева Д.С., Полосина Д.В. ПРИМЕНЕНИЕ ФОТОКАТАЛИТИЧЕСКИХ БЕТОНОВ В ДОРОЖНОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ	16
Бондаренко Д.О. ПОДБОР И АНАЛИЗ СЫРЬЕВЫХ КОМПОНЕНТОВ ДЛЯ ЗАЩИТНОГО И ДЕКОРАТИВНОГО СЛОЯ КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА	27
Чернильник А.А., Ельшаева Д.М., Жеребцов Ю.В., Доценко Н.А., Самофалова М.С. ВЫБОР РАЦИОНАЛЬНОЙ РЕЦЕПТУРЫ ОБЛЕГЧЕННЫХ БЕТОНОВ НА СМЕСИ КЕРАМЗИТОВОГО ГРАВИЯ, ПРИРОДНОГО ЩЕБНЯ И ГРАНУЛИРОВАННОГО ШЛАКА	34
Гульбинас А.С., Широкова Д.Н. ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМЫ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СВЕТОТЕХНИЧЕСКОГО РЕЖИМА	43
Перькова М.В., Дубино А.М. ВЫЯВЛЕНИЕ И КЛАССИФИКАЦИЯ ГРАДОСТРОИТЕЛЬНЫХ КОНФЛИКТОВ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ В Г. БЕЛГОРОДЕ	54
Огиенко Е.Л. ОТЕЧЕСТВЕННЫЕ И ЗАРУБЕЖНЫЕ ВИДЫ ОБЪЕКТОВ РЕДЕВЕЛОПМЕНТА ПОД ЖИЛЬЕ	63
Галдин Р.Е., Алейникова Н.В., Ярмош Т.С. ФОРМИРОВАНИЕ РЕКРЕАЦИОННЫХ ЗОН ПУТЕМ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НАРУШЕННЫХ ГОРОДСКИХ ЗЕМЕЛЬ	73

ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ

Трубицын М.А., Воловичева Н.А., Фурда Л.В., Скрыпников Н.С. ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ НА ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СУБМИКРОННОГО ОКСИДА АЛЮМИНИЯ В α -ФОРМЕ	84
--	----

МАШИНОСТРОЕНИЕ И МАШИНОВЕДЕНИЕ

Семикопенко И.А., Воронов В.П., Латышев С.С., Севостьянов В.С., Рыбак Л.А., Севостьянов А.Э., Вавилов Д.В. ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОНСТРУКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ СТУПЕНЧАТОЙ ДИСКОВОЙ МЕЛЬНИЦЫ	98
---	----

CONSTRUCTION AND ARCHITECTURE

Yadykina V.V., Tobolenko S.S., Gridchin A.M., Vyrodova K.S. THE EFFECT OF STABILIZING ADDITIVES ON THE STABILITY OF ASPHALT CONCRETE TO THE EFFECTS OF WEATHER AND CLIMATIC FACTORS	8
Shestakov N.I., Alekseeva D.S., Polosina D.V. THE USE OF PHOTOCATALYTIC CONCRETES IN ROAD CONSTRUCTION	16
Bondarenko D.O. SELECTION AND ANALYSIS OF RAW MATERIALS FOR A PROTECTIVE AND DECORATIVE LAYER OF COMPOSITE MATERIAL	27
Chernil'nik A.A., El'shaeva D.M., Zherebtsov Yu.V., Dotsenko N.A., Samofalova M.S. SELECTION OF A RATIONAL RECIPE OF LIGHTWEIGHT CONCRETE ON A MIXTURE OF CERAMSITE GRAVEL, NATURAL CRUSHED STONE AND GRANULAR SLAG	34
Gulbinas A.S., Shirokova D.N. RESEARCH OF THE FUNCTIONING SYSTEM OF THE LIGHTING MODE	43
Perkova M.V., Dubino A.M. IDENTIFICATION AND CLASSIFICATION OF URBAN PLANNING CONFLICTS IN THE USE OF WATER RESOURCES IN BELGOROD	54
Ogienko E.L. DOMESTIC AND FOREIGN TYPES OF REDEVELOPMENT OBJECTS FOR HOUSING	63
Galdin R.E., Aleynikova N.V., Yarmosh T.S. FORMATION OF RECREATIONAL AREAS BY USING DISTURBED URBAN LANDS	73

CHEMICAL TECHNOLOGY

Troubitsin M.A., Volovicheva N.A., Furda L.V., Skrypnikov N.S. STUDY OF THE INFLUENCE OF TECHNOLOGICAL PARAMETERS ON THE GRANULOMETRIC CHARACTERISTICS OF SUBMICRON OXIDE IN α -FORM	84
---	----

MACHINE BUILDING AND ENGINEERING SCIENCE

Semikopenko I.A., Voronov V.P., Latyshev S.S., Sevostyanov V.S., Rybak L.A., Sevostyanov A.E., Vavilov D.V. DETERMINATION OF DESIGN PARAMETERS OF A STEP DISK MILL	98
--	----

СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

DOI: 10.34031/2071-7318-2021-6-12-8-15

¹Ядыкина В.В., ²Тоболенко С.С., ¹Гриджин А.М., ^{1,*}Выродова К.С.¹Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова²МБУ "ОКС Белгородского района"

*E-mail: vyrodova.christina@yandex.ru

ВЛИЯНИЕ СТАБИЛИЗИРУЮЩИХ ДОБАВОК НА УСТОЙЧИВОСТЬ АСФАЛЬТОБЕТОНА К ВОЗДЕЙСТВИЮ ПОГОДНО-КЛИМАТИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ

Аннотация. В статье приведены результаты исследований по влиянию стабилизирующих добавок из отходов промышленности на изменение физико-механических свойств асфальтобетона в результате воздействия погодных-климатических факторов. В качестве исходных компонентов использованы микропористые отходы целлюлозно-бумажной промышленности (ЦБО) высокой плотности (гофрокартон), минеральные наполнители из известняка и отходов мокрой магнитной сепарации железистых кварцитов (ММС) в стабильном и активированном состоянии и битумная эмульсия. В качестве критерия оценки влияния погодных-климатических факторов на физико-механические свойства ЩМА использовали коэффициент деградации их значений. Установлено, что после одного и трёх лет условного воздействия погодных-климатических факторов произошло увеличение прочности на растяжение при расколе и снижение предела прочности при сжатии при температурах 20 и 50 °С образцов всех составов ЩМА, что связано со старением вяжущего и отслоением битумной плёнки от поверхности минеральных материалов и компонентов стабилизирующей добавки. Показано, что в результате введения минеральных наполнителей в состав стабилизирующих добавок повышается их битумоудерживающая способность, что свидетельствует об увеличении структурирующего эффекта стабилизатора и способствует замедлению старения. Наибольшую эффективность показала стабилизирующая добавка, содержащая свежеземельченные отходы ММС, что объясняется их высокой адсорбционной способностью по отношению к органическому вяжущему. Установлено, что ЩМА с использованием разработанной стабилизирующей добавки подвергается значительно меньшей деградации в результате воздействия погодных-климатических факторов, чем асфальтобетон на традиционном стабилизаторе Viator.

Ключевые слова: асфальтобетон, щебеночно-мастичный асфальтобетон, стабилизирующие добавки, старение, погодные-климатические факторы.

Введение. Покрытия автомобильных дорог в процессе эксплуатации находятся под воздействием, главным образом, двух групп факторов – погодных-климатических и механических, обусловленных нагрузками от транспортных средств. В результате этого происходят необратимые изменения структуры и свойств асфальтобетона в слое покрытия, снижающие его долговечность. По данным [1–2] по степени разрушающего влияния на асфальтобетон на первом месте в общей группе воздействий стоят влажностный и температурный режимы работы материала. При воздействии влаги, высокой температуры и ультрафиолета, связи между минеральными зёрнами ослабевают, что ведет к уменьшению прочности [3], в результате чего на покрытии появляются сдвиговые деформации в виде волн и наплывов.

В настоящее время одним из основных материалов, обеспечивающих необходимую долговечность дорожного покрытия, является щебеночно-мастичный асфальтобетон (ЩМА) [4–8].

При эксплуатации климатические воздействия, особенно циклические изменения температуры, вызывают разуплотнение структуры асфальтобетона, в том числе и щебеночно-мастичного, обусловленное старением вяжущего и накоплением дефектов, что с течением времени приводит к деградации физико-механических свойств материала [9]. Старение органического вяжущего связано с термоокислительными процессами и сорбционными изменениями на поверхности минеральных материалов.

Одним из структурообразующих компонентов ЩМА являются стабилизирующие добавки, состав которых достаточно разнообразен [10–16]. Их составляющие, наряду с минеральным порошком, являются тонкодисперсными, поэтому следует ожидать, что состав стабилизирующих добавок будет оказывать существенное влияние на степень структурированности битума и на деградационные процессы, происходящие в композите.

В связи с этим, одним из способов прогнозирования срока службы асфальтобетонных покрытий, представляющих значительный интерес для ЦМА с использованием различных стабилизирующих добавок, является оценка влияния погодноклиматических факторов на свойства композита.

Целью настоящей работы явилось изучение влияния разработанных стабилизирующих добавок из отходов целлюлозно-бумажной промышленности на изменение физико-механических характеристик ЦМА в результате воздействия погодноклиматических факторов и оценка эффек-

тивности стабилизаторов для обеспечения долговечности покрытия из щебеночно-мастичного асфальтобетона.

Материалы и методология. Для испытаний были использованы разработанные стабилизирующие добавки, включающие микропористые отходы целлюлозно-бумажной промышленности (ЦБО) высокой плотности (гофрокартон), минеральные наполнители из известняка и отходов мокрой магнитной сепарации железистых кварцитов (ММС) в стабильном и активированном состоянии и битумную эмульсию. Составы стабилизирующих добавок представлены в таблице 1.

Таблица 1

Составы стабилизирующих добавок

№ состава	Картон, %	Минеральный порошок, %			Битумная эмульсия, %
		Известняк	Отходы ММС		
			в стабильном состоянии	в активированном	
1	75	5	–	–	20
2	75	–	5	–	20
3	75	–	–	5	20

Структурирующую способность стабилизирующих добавок оценивали по коэффициенту битумоудерживающей способности [17].

Влияние исследуемых стабилизирующих добавок на устойчивость асфальтобетона к воздействию погодноклиматических факторов проводили на образцах ЦМА-16 с использованием климатической камеры «Фойтрон», в которой моделировали воздействие ультрафиолетового и инфракрасного излучений, попеременного водонасыщения и высушивания, а также замораживания и оттаивания по методике, изложенной в работе [18]. Оценку влияния погодноклиматических факторов проводили по изменению предела прочности при сжатии при 20 и 50 °С, прочности на растяжение при расколе при 0 °С. Испытания проводили в течение 1 и 3 условных лет эксплуатации покрытия.

В качестве критерия оценки влияния погодноклиматических факторов на физико-механические свойства ЦМА использовали коэффициент деградации их значений [9]:

$$k_{AR} = \frac{2}{\Delta R_{20} + \Delta R_{50}} + \frac{1}{\Delta R_p} \rightarrow \max, \quad (1)$$

где ΔR_{20} – изменение предела прочности при сжатии при температуре 20 °С; ΔR_{50} – изменение предела прочности при сжатии при температуре 50 °С; ΔR_p – изменение предела прочности на растяжение при расколе при температуре 0 °С.

Основная часть. Граница раздела фаз «стабилизирующая добавка – вяжущее» в составе ЦМАС занимает значительное место и оказывает существенное влияние на процессы структурообразования, физико-механические и эксплуатационные характеристики асфальтобетона и дорожного покрытия.

Комплексное влияние микропористых ЦБО высокой плотности и различных наполнителей в составе стабилизирующей добавки на ее структурирующую способность оценивалось по коэффициенту битумоудерживающей способности (табл. 2).

Таблица 2

Битумоудерживающая способность исследуемых стабилизирующих добавок в асфальтовязущем

Показатель	Viator	Гофрокартон без наполнителя	Известняк + гофрокартон	ММС в стабильном состоянии + гофрокартон	ММС активированный + гофрокартон
Коэффициент битумоудерживающей способности, Кбс	1,148	1,037	1,111	1,074	1,222

Как и следовало ожидать, наличие тонкодисперсных наполнителей в составах стабилизирующих добавок из гофрокартона повышает их структурирующую (битумоудерживающую) способность. Так, увеличение Кбс стабилизатора при введении порошка из известняка составило 6,75 %, из отходов ММС в стабильном состоянии – 3,86 %. Наибольшую эффективность, даже по сравнению с Viator, показала стабилизирующая добавка, содержащая свежемельченые отходы ММС, при использовании которой битумоудерживающая способность повысилась на 18,32 % по сравнению со стабилизатором без наполнителя. Это объясняется высокой адсорбционной способностью исследуемого механоактивированного порошка по отношению к органиче-

скому вяжущему [19]. Закономерно предположить, что это положительно отразится на физико-механических характеристиках и долговечности ЩМА. Результаты дальнейших исследований подтвердили это предположение.

Установлено, что после одного и трёх лет условного воздействия погодно-климатических факторов произошло увеличение прочности на растяжение при расколе и снижение предела прочности при сжатии при температурах 20 и 50 °С образцов всех составов ЩМА (таблицы 3-5). Это можно объяснить старением вяжущего в процессе эксплуатации, а также отслоением битумной плёнки от поверхности минеральных материалов и компонентов стабилизирующей добавки под воздействием погодно-климатических факторов.

Таблица 3

Изменение прочности при сжатии при 20 °С ЩМА-15 под влиянием погодно-климатических факторов

Название добавки	R ₂₀ , МПа	R ₂₀ , после 1 условного года, МПа	Потеря прочности, %	R ₂₀ , после 3 лет моделирования, МПа	Потеря прочности, %
Viator-66	3,7	3,1	16,2	2,5	32,4
№ 1	3,6	3,0	16,7	2,2	38,9
№ 2	3,5	2,8	20,0	2,0	42,9
№ 3	3,8	3,2	15,7	2,6	31,6

Результаты исследований изменения прочности при сжатии при 20 °С показали, что после одного условного года испытаний падение прочности составило от 15,7 до 20 %, а после 3 лет – от 31,6 до 42,9 %.

Потеря прочности при сжатии при 50 °С составила 16,1 – 23,3 и 25,9 – 43,3 % после одного и трех условных лет испытаний соответственно.

Таблица 4

Изменение прочности при сжатии при 50 °С ЩМА-15 под влиянием погодно-климатических факторов

Название добавок	R ₅₀ , МПа	R ₅₀ , после 1 условного года, МПа	Потеря прочности, %	R ₅₀ , после 3 лет моделирования, МПа	Потеря прочности, %
Viator-66	1,3	1,08	16,9	0,9	30,7
№ 1	1,24	1,02	17,7	0,8	35,4
№ 2	1,2	0,92	23,3	0,68	43,3
№ 3	1,43	1,20	16,1	1,06	25,9

Таблица 5

Изменение прочности на растяжение при расколе при 0 °С ЩМА-15 под влиянием погодно-климатических факторов

Название добавки	R ₀ , МПа	R ₀ , после 1 условного года, МПа	Изменение прочности, %	R ₀ , после 3 лет моделирования, МПа	Изменение прочности, %
Viator-66	4,3	4,4	3,3	4,6	7,0
№ 1	4,4	4,6	4,5	4,7	6,8
№ 2	4,3	4,7	9,3	4,9	14,0
№ 3	4,5	4,6	2,2	4,8	6,6

Прочность при расколе претерпела значительно меньшие изменения.

Анализ результатов, представленных в таблицах 3–5, свидетельствует о том, что наибольшее отрицательное влияние погодно-климатические факторы оказали на ЩМА, в состав которого входила стабилизирующая добавка № 2, не содержащая минеральных наполнителей. Как и следовало ожидать, наименьшие изменения исследуемых показателей наблюдались при использовании в составе ЩМА стабилизатора, включающего волокна из гофрокартона и активированный порошок из отхода ММС.

Это произошло из-за улучшения структурирования битума активной стабилизирующей добавкой, благодаря чему он полнее переводится в плёночное состояние, что согласно исследованиям [20], приводит к замедлению деградиционных процессов в вяжущем.

Интегральная оценка изменения структуры ЩМА с разными стабилизирующими добавками через 1 и 3 года моделирования погодно-климатического воздействия, характеризуемая коэффициентом дегградации [9, 21], приведена на рисунке 1.

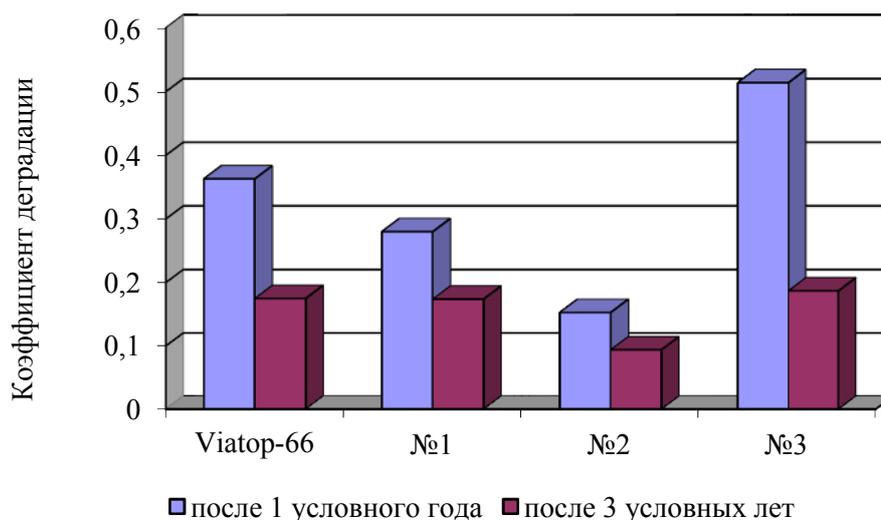


Рис. 1. Значения коэффициента дегградации для ЩМА с разными стабилизирующими добавками через 1 и 3 года моделирования погодно-климатического воздействия

Наибольшее значение коэффициента дегградации, а, следовательно, наименьшее изменение характеристик при воздействии погодно-климатических факторов, имеет ЩМА со стабилизирующей добавкой № 3 и Viatorp. Таким образом, добавки с высоким структурирующим эффектом обеспечивают высокую долговечность композита, причем ЩМА с использованием стабилизирующей добавки, содержащей гофрокартон и активированные отходы ММС, подвергается значительно меньшей дегградации, чем асфальтобетон на традиционном стабилизаторе Viatorp.

Выводы. Введение тонкодисперсных наполнителей в состав стабилизирующих добавок из гофрокартона повышает их структурирующую (битумоудерживающую) способность. Наибольший структурирующий эффект показала стабилизирующая добавка, содержащая свежизмельченные отходы ММС, что объясняется их высокой адсорбционной способностью по отношению к органическому вяжущему.

Установлено, что стабилизирующие добавки, обладающие высокой структурирующей способностью, замедляют процессы дегградации при воздействии погодно-климатических факторов.

Результаты исследований свидетельствуют об эффективности разработанных стабилизирующих добавок из отходов целлюлозно-бумажной промышленности для щебеночно-мастичного асфальтобетона, особенно с использованием механически активированных отходов ММС. В покрытии автомобильных дорог такой материал будет обладать высокой прочностью, водостойкостью, сдвигоустойчивостью при высоких летних температурах и трещиностойкостью зимой.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бондарев Б.А., Прозорова Л.А., Бутузов Г.М. Прогнозирование долговечности асфальтобетонных покрытий городских автомобильных дорог на основе щебеночно-мастичного асфальтобетона // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2013. № 30(49). С. 328–335.
2. Иливанов В.Ю., Салихов М.Г. Исследование долговечности модифицированного щебеночно-мастичного асфальтобетона при действии агрессивной среды // Вестник поволжского государственного технологического университета.

Серия: Лес. Экология. Природопользование. 2013. № 2(18). С. 38–45.

3. Салихов М.Г., Иливанов В.Ю., Малянова Л.И. Изучение температурного старения модифицированного щебеночно-мастичного асфальтобетона с отходами дробления известняков // Модернизация и научные исследования в транспортном комплексе. 2017. Т.1. С. 216–220.

4. Дормидонтова Т.В., Лосев Д.А., Андреев Ф.С. Преимущества использования щебеночно-мастичного асфальтобетона при капитальном ремонте автомобильных дорог // Тенденции развития науки и образования. 2021. № 74-3. С. 47–50.

5. Ульмгрен Н., Дымов С. Зарубежный опыт применения щебеночно-мастичных асфальтобетонных смесей (на примере шведского концерна NCC) // Материалы и конструкции. Дорожная техника. Санкт-Петербург: издательский дом «Славутич». 2003. С. 22–31.

6. Тарановская Е.А., Гончаров В.О., Туркова Н.Ю. и др. Устройство нежестких дорожных одежд с применением щебеночно-мастичного асфальтобетона (ЩМА) // Тенденции развития науки и образования. 2017. № 23-3. С. 31–33.

7. Оев А.М., Оев С.А. Щебеночно-мастичный асфальтобетон – эффективный материал для дорожных покрытий // Вестник Таджикского технического университета. 2014. № 1(25). С. 98–100.

8. Бойко С.А., Калгин Ю.И., Строкин А.С. Разработка щебеночно-мастичных асфальтобетонных смесей с улучшенной удобоукладываемостью для устройства и ремонта дорожных покрытий // Научный журнал строительства и архитектуры. 2017. № 1 (45). С. 93–99.

9. Иноземцев С.С. Королёв Е.В. Эксплуатационные свойства наномодифицированных щебеночно-мастичных асфальтобетонов // Вестник МГСУ. 2015. № 3. С. 29–39.

10. Айзенштадт А.М., Тутыгин А.С., Шинкарук А.А., Бабаева В.А. Сравнение физико-механических характеристик щебеночно-мастичных асфальтобетонов с применением стабилизирующих добавок // Электронный сборник докладов Международной научно-практической конференции, посвященной 65-летию БГТУ им. В.Г. Шухова. Наукоемкие технологии и инновации. 2019. С. 4–8.

11. Ядыкина В.В., Гридчин А.М., Тоболенько С.С. Стабилизирующая добавка для щебеночно-

мастичного асфальтобетона из отходов промышленности // Строительные материалы. 2012. № 8. С. 64–65.

12. Смирнов Д.С., Ягунд Э.М., Броднева В.Е. Оценка воздействия целлюлозных примесей на свойства щебеночно-мастичного асфальтобетона // Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. 2020. №4 (54). С. 80–87.

13. Trautvain A.I., Yadykina V.V., Tobolenko S.S. Study of the Influence of Thin-Dispersed Powders on the Structuring Ability of Stabilizing Additives // Material Science Forum. 2020. № 974. Pp. 37–42.

14. Вачиев С.Е. Щебеночно-мастичный асфальтобетон с применением стабилизирующей добавки "Хризопро" // Научному прогрессу – творчество молодых. 2019. №4. С. 90–92.

15. Борисенко Ю.Г., Казарян С.О. Особенности напряженно-деформированного состояния покрытий из щебеночно-мастичного асфальтобетона, модифицированных керамзитовым порошком // Научный журнал строительства и архитектуры. 2019. №3 (55). С. 36–43.

16. Минь Дат Л.Ч., Балабанов В.Б., Проценко М.Ю. Применение гидролизного лигнина в качестве стабилизирующей добавки для щебеночно-мастичного асфальтобетона // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2019. Т.9. №2 (29). С. 334–341.

17. Соломенцев А.Б., Баранов И.А. Оценка битумоудерживающей способности стабилизирующих добавок для щебеночно-мастичного асфальтобетона в асфальтовяжущем // Строительство и реконструкция. Орел: Госуниверситет УНПК. 2010. №4(30). С. 53–58.

18. Соколов Б.Ф., Маслов С.М. Моделирование эксплуатационно-климатических воздействий на асфальтобетон. Воронеж: Изд-во ВГТУ. 1987. 104 с.

19. Траутвайн А.И., Ядыкина В.В., Гридчин А.М. Повышение реакционной способности наполнителей в результате помола // Строительные материалы. 2010. №12. С. 82–85.

20. Печеный Б.Г. Битумы и битумные композиции. М.: Химия. 1990. 256 с.

21. Баженов Ю.М., Гарькина И.А., Данилов А.М., Королев Е.В. Системный анализ в строительном материаловедении: монография. Москва: МГСУ. 2012. 432 с.

Информация об авторах

Ядыкина Валентина Васильевна, доктор технических наук, профессор кафедры автомобильных и железных дорог. E-mail: vvyua@intbel.ru. Белгородский государственный технологический университет имени В. Г. Шухова. Россия, 308012, г. Белгород, ул. Костюкова, 46.

Тоболенько Сергей Сергеевич, инженер по строительному контролю. E-mail: tobolenko-ss@yandex.ru. МБУ "ОКС Белгородского района". Россия, 308501, Белгородская обл., Белгородский р-н, п. Дубовое, улица Ягодная, 1.

Гриджин Анатолий Митрофанович, доктор технических наук, профессор кафедры автомобильных и железных дорог. E-mail: agd@intbel.ru. Белгородский государственный технологический университет имени В. Г. Шухова. Россия, 308012, г. Белгород, ул. Костюкова, 46.

Выродова Кристина Сергеевна, аспирант кафедры автомобильных и железных дорог. E-mail: vyrodova.christina@yandex.ru. Белгородский государственный технологический университет имени В. Г. Шухова. Россия, 308012, г. Белгород, ул. Костюкова, 46.

Поступила в мае 2021 г.

© Ядыкина В.В., Тоболенько С.С., Гриджин А.М., Выродова К.С., 2021

¹Yadykina V.V., ²Tobolenko S.S., ¹Gridchin A.M., ^{1,*}Vyrodova K.S.

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

²MBU "ACS of the Belgorod district"

*E-mail: vyrodova.christina@yandex.ru

THE EFFECT OF STABILIZING ADDITIVES ON THE STABILITY OF ASPHALT CONCRETE TO THE EFFECTS OF WEATHER AND CLIMATIC FACTORS

Abstract. The article presents the results of studies on the influence of stabilizing additives from industrial waste on the change in the physical and mechanical properties of asphalt concrete as a result of the influence of weather and climatic factors. Microporous waste from the pulp and paper industry of high density (corrugated cardboard), mineral fillers from limestone and waste from wet magnetic separation of ferruginous quartzites in a stable and activated state and a bituminous emulsion are used as initial components. As a criterion for assessing the influence of weather and climatic factors on the physical and mechanical properties of the stone mastic asphalt, the coefficient of degradation of their values was used. It is found that after one and three years of conditional exposure to weather and climatic factors, there was an increase in the tensile strength at splitting and a decrease in the compressive strength at temperatures of 20 and 50 °C of samples of all compositions of the stone mastic asphalt, which is associated with the aging of the binder and the separation of the bitumen film from the surface of mineral materials and components of the stabilizing additive. It is shown that as a result of the introduction of mineral fillers into the composition of stabilizing additives, their bitumen-retaining ability increases, which indicates an increase in the structuring effect of the stabilizer and helps to slow down aging. The most effective was shown by a stabilizing additive containing freshly ground wet magnetic separation waste, which is explained by their high adsorption capacity in relation to an organic binder. It is found that the stone mastic asphalt using the developed stabilizing additive undergoes significantly less degradation as a result of the influence of weather and climatic factors than asphalt concrete on a traditional Viatop stabilizer.

Keywords. Asphalt concrete, crushed stone-mastic asphalt concrete, stabilizing additives, aging, weather and climatic factors.

REFERENCES

1. Bondarev B.A., Prozorova L.A., Butuzov G. M. Forecasting the durability of asphalt concrete coverings of urban highways based on crushed stone-mastic asphalt concrete [Prognozirovanie dolgovechnosti asfal'tobetonnyh pokrytij gorodskih avtomobil'nyh dorog na osnove shchebyonochno-mastichnogo asfal'tobetona]. Bulletin of the Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Construction and Architecture. 2013. No. 30(49). Pp. 328–335. (rus)
2. Ilivanov V.Yu., Salikhov M.G. Study of the durability of modified crushed-mastic asphalt concrete under the action of an aggressive environment

[Issledovanie dolgovechnosti modifitsirovannogo shchebyonochno-mastichnogo asfal'tobetona pri dejstvii agressivnoj sredy]. Bulletin of the Volga State Technological University. Series: Forest. Ecology. Environmental management. 2013. No. 2(18). Pp. 38–45. (rus)

3. Salikhov M.G., Ilivanov V.Yu., Malianova L.I. Study of temperature aging of modified crushed-mastic asphalt concrete with limestone crushing waste [Izuchenie temperaturnogo stareniya modifitsirovannogo shchebenochno-mastichnogo asfal'tobetona s othodami drobleniya izvestnyakov]. Modernization and scientific research in the transport complex. 2017. Vol. 1. Pp. 216–220. (rus)

4. Dormidontova T.V., Losev D.A., Andreev F.S. Advantages of using crushed-mastic asphalt concrete during major repairs of highways [Premushchestva ispol'zovaniya shchebenochno-mastichnogo asfal'tobetona pri kapital'nom remonte avtomobil'nyh dorog]. Trends in the development of science and education. 2021. No. 74-3. Pp. 47–50. (rus)
5. Ulmgren N., Dymov S. Foreign experience in the use of crushed stone-mastic asphalt concrete mixtures (on the example of the Swedish concern NCC) [Zarubezhnyj opyt primeneniya shchebenochno-mastichnyh asfal'tobetonnyh smesey (na primere shvedskogo koncerna NCC)]. Materials and structures. Road equipment. St. Petersburg: Slavutich Publishing House. 2003. Pp. 22–31. (rus)
6. Taranovskaya E. A., Goncharov V. O., Turkova N. Yu., etc. The device of non-rigid road clothes with the use of crushed-mastic asphalt concrete (SHCHMA) [Ustrojstvo nezhyostkih dorozhnyh odezhd s primeneniem shchebyonochno-mastichnogo asfal'tobetona (SHCHMA)]. Trends in the development of science and education. 2017. No. 23-3. Pp. 31–33. (rus)
7. Oev A.M., Oev S. A. Crushed-mastic asphalt concrete is an effective material for road surfaces [SHCHebyonochno-mastichnyj asfal'tobeton – effektivnyj material dlya dorozhnyh pokrytij]. Bulletin of the Tajik Technical University. 2014. No. 1(25). Pp. 98–100. (rus)
8. Boyko S.A., Kalgin Yu.I., Strokin A.S. Development of crushed-mastic asphalt-concrete mixtures with improved workability for the device and repair of road surfaces [Razrabotka shchebyonochno-mastichnyh asfal'tobetonnyh smesey s uluchshennoj udoboukladyvaemost'yu dlya ustrojstva i remonta dorozhnyh pokrytij]. Scientific Journal of Construction and Architecture. 2017. No. 1 (45). Pp. 93–99. (rus)
9. Inozemtsev S.S. Korolev E.V. Operational properties of nanomodified crushed-mastic asphalt concrete [Ekspluatacionnye svoystva nanomodifirovannyh shchebyonochno-mastichnyh asfal'tobetonov]. Vestnik MGSU. 2015. No. 3. Pp. 29–39. (rus)
10. Aisenstadt A.M., Tutygin A.S., Shinkaruk A. A., Babaeva V. A. Comparison of physical and mechanical characteristics of crushed-mastic asphalt concrete with the use of stabilizing additives [Svrnenie fiziko-mekhanicheskikh harakteristik shchebenochno-mastichnyh asfal'tobetonov s primeneniem stabiliziruyushchih dobavok]. Electronic collection of reports of the International Scientific and Practical Conference dedicated to the 65th anniversary of the V. G. Shukhov BSTU. High-tech technologies and innovations. 2019. Pp. 4-8. (rus)
11. Yadykina V.V., Gridchin A.M., Tobolenko S. S. Stabilizing additive for crushed-mastic asphalt concrete from industrial waste [Stabiliziruyushchaya dobavka dlya shchebenochno-mastichnogo asfal'tobetona iz othodov promyshlennosti]. Construction materials. 2012. No. 8. Pp. 64–65. (rus)
12. Smirnov D.S., Yagund E.M., Brodneva V.E. Assessment of the impact of cellulose impurities on the properties of crushed-mastic asphalt concrete [Ocenka vozdejstviya cellyuloznyh primesej na svoystva shchebenochno-mastichnogo asfal'tobetona]. Proceedings of the Kazan State University of Architecture and Civil Engineering. 2020. No. 4 (54). Pp. 80–87. (rus)
13. Trautvain A.I., Yadykina V.V., Tobolenko S.S. Study of the Influence of Thin-Dispersed Powders on the Structuring Ability of Stabilizing Additives. Materials Science Forum. 2020. No. 974. Pp. 37–42.
14. Achiev S.E. stone mastic asphalt with the use of a stabilizing additive "Chrysopa" [SHCHebyonochno-mastichnyj asfal'tobeton s primeneniem stabiliziruyushchej dobavki "Hrizopro"]. Scientific progress – work young. 2019. No. 4. Pp. 90–92. (rus)
15. Borisenko Yu.G., Kazaryan S.O. Features of the stress-strain state of coatings made of crushed-mastic asphalt concrete modified with expanded clay powder [Osobennosti napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya pokrytij iz shchebenochno-mastichnogo asfal'tobetona, modifirovannyh keramzitovym poroshkom]. Scientific Journal of Construction and Architecture. 2019. No. 3 (55). Pp. 36–43. (rus)
16. Min Dat L. Ch., Balabanov V.B., Protsenko M.Yu. Application of hydrolyzed lignin as a stabilizing additive for crushed-mastic asphalt concrete [Primenenie gidroliznogo lignina v kachestve stabiliziruyushchej dobavki dlya shchebenochno-mastichnogo asfal'tobetona]. Izvestiya vuzov. Investment. Construction. Realty. 2019. Vol. 9. No. 2 (29). Pp. 334–341. (rus)
17. Solomentsev A.B., Baranov I.A. Assessment of the bitumen-retaining ability of stabilizing additives for crushed-mastic asphalt concrete in an asphalt binder [Ocenka bitumouderzhivayushchej sposobnosti stabiliziruyushchih dobavok dlya shchebenochno-mastichnogo asfal'tobetona v asfal'tovyazhushchem]. Construction and reconstruction. Orel: UNPK State University. 2010. No. 4(30). Pp. 53–58. (rus)
18. Sokolov B. F., Maslov S. M. Modeling of operational and climatic impacts on asphalt concrete [Modelirovanie ekspluatacionno-klimaticeskikh vozdejstvij na asfal'tobeton]. Voronezh: VSTU Publishing house. 1987. 104 p. (rus)

19. Trautvain A.I., Yadykina V.V., Gridchin A.M. Increase in the reactivity of fillers as a result of grinding [Povyshenie reakcionnoj sposobnosti napolnitelej v rezul'tate pomola]. Construction materials. 2010. No. 12. Pp. 82–85. (rus)

20. Pechenyi B.G. Bitumens and bitumen compositions [Bitумы i bitumnye kompozicii]. M.: Chemistry. 1990. 256 p. (rus)

21. Bazhenov Yu.M., Garkina I.A., Danilov A.M., Korolev E.V. System analysis in construction materials science: monograph [Sistemnyj analiz v stroitel'nom materialovedenii]. Moscow: MGSU. 2012. 432 p. (rus)

Information about the authors

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

Tobolenko, Sergey S. Construction control engineer. E-mail: tobolenko-ss@yandex.ru. MBU "ACS of the Belgorod district". Russia, 308501, Belgorod region, Belgorod district, Dubovoye village, st. Yagodnaya, 1

Gridchin, Anatoly M. DSc, Professor. E-mail: agd@intbel.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Vyrodova, Kristina S. Postgraduate student. E-mail: vyrodova.christina@yandex.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Received 30.07.2021

Для цитирования:

Ядыкина В.В., Тоболенко С.С., Гридчин А.М., Выродова К.С. Влияние стабилизирующих добавок на устойчивость асфальтобетона к воздействию погодных-климатических факторов // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2021. № 12. С. 8–115. DOI: 10.34031/2071-7318-2021-6-12-8-15

For citation:

Yadykina V.V., Tobolenko S.S., Gridchin A.M., Vyrodova K.S. The effect of stabilizing additives on the stability of asphalt concrete to the effects of weather and climatic factors. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2021. No. 12. Pp. 8–15. DOI: 10.34031/2071-7318-2021-6-12-8-15

DOI: 10.34031/2071-7318-2021-6-12-16-26

Шестаков Н.И., Алексеева Д.С., Полосина Д.В.Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет***E-mail: SHestakovNI@mgsu.ru*

ПРИМЕНЕНИЕ ФОТОКАТАЛИТИЧЕСКИХ БЕТОНОВ В ДОРОЖНОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ

Аннотация. В статье рассматривается возможность снижения атмосферной экологической нагрузки автомобильных дорог путем нанесения на акустические экраны составов, обладающих фотокаталитическими свойствами. Установлено, что количество оксидов азота на территории города Москвы превышает нормы ПДК, в связи с чем предложен потенциальный способ снижения уровня среднесуточной и максимально разовой ПДК оксидов азота при использовании покрытий традиционных акустических экранов фотокаталитическими составами. В качестве фотокаталитического агента рассматривается диоксид титана в анатазной форме. Для снижения плотности и повышения пористости цементных составов вводится целлюлозная суспензия, полученная методом насыщения в водной среде с последующей гомогенизацией. Исследовано влияние целлюлозы в рассматриваемых цементных системах в комплексе с фотокаталитическим агентом. Методом математического планирования составлен двухфакторный композиционный эксперимент, в результате анализа которого установлены параметры влияния добавок диоксида титана и целлюлозы на прочность, плотность и водопоглощение изучаемых композитов. Исследование структуры полученных композитов показывает, что TiO_2 в основном располагается на поверхности целлюлозных волокон, что теоретически повышает полезную поверхность для фотокаталитических реакций и как следствие итоговую эффективность составов.

Ключевые слова: акустические экраны, автомобильные дороги, окружающая среда, фотокаталитические материалы, цементные композиты, диоксид титана, целлюлозные волокна.

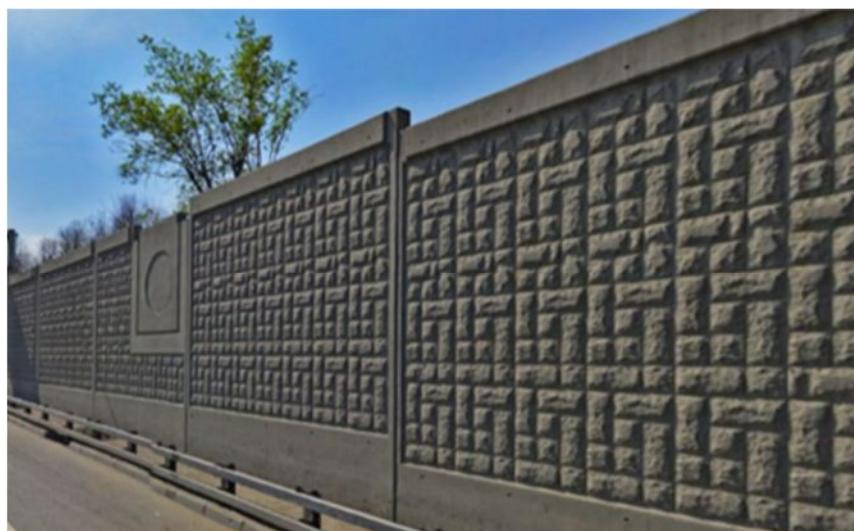
Введение. Одним из главных приоритетов современного общества является поддержание и улучшение качества окружающей среды. По мере развития человечества происходит увеличение площадей занимаемых городами, которое закономерно сопровождается нарастанием протяженности автомобильных дорог, что, в свою очередь, ведет к интенсивному загрязнению атмосферного воздуха.

По данным экологического мониторинга [1] Департамента природопользования и охраны окружающей среды города Москвы, загрязнение воздуха на территории мегаполиса является весьма неоднородным и имеет локальные участки. Среди наиболее концентрированных очагов загрязнения активно выделяются автомобильные дороги с высокой интенсивностью движения и прилегающие к ним территории. При этом на значения удельных выбросов загрязняющих веществ для автомобильных дорог большое влияние оказывает тот факт, что в городских условиях автомобиль на участках дорог с малой интенсивностью постоянно совершает разгоны и торможения, увеличивая тем самым количество выбросов. На жилых территориях содержание загрязняющих веществ в среднем в 1,2 раза ниже, чем в центре Москвы, и почти в 1,5 раза, чем вблизи автотрасс.

Полностью исключить отрицательное воздействие автомобильного транспорта на состояние атмосферы невозможно, но снизить негативное воздействие вполне реально. Одной из наиболее перспективных технологий является применение на участках с повышенным содержанием оксидов азота специальных материалов, обладающих фотокаталитическими свойствами.

В настоящее время многими учеными предложено большое количество вариантов применения фотокаталитических бетонов в дорожном строительстве. Их использование предлагается для устройства верхних слоев покрытий автомобильных дорог [2-4] или для устройства автодорожных тоннелей [5]. Тем не менее, существуют некоторые элементы автомобильных дорог, эффективность которых, в виду их конструктивного решения, будут значительно выше для фотокатализа, как, например, акустические экраны.

Типовой акустический экран представляет собой сборную конструкцию, которая состоит из фундамента, несущей конструкции и панелей. На участках Московской кольцевой автомобильной дороги (МКАД) установлены такие экраны, основная функция которых отстранить негативное воздействие от автомобильной дороги на жилые участки. Акустические экраны могут быть отражающими или отражающе-поглощающими в зависимости от применяемых материалов и конфигурации составных панелей (рис. 1).



а)



б)



в)

Рис. 1. Акустические экраны из различных материалов, установленные на МКАД:
а) железобетонные, б) металлические, в) полимерные

Сумма полезной площади участков акустических экранов, обращенные к автомобильной дороге, на дороге протяженностью 108,9 км со-

ставляет 77039 м². Из них полезная площадь акустических экранов, выполненных из железобетона, составляет – 23040 м², что составляет почти

30 % от общей площади. В качестве объекта исследований рассматриваются только железобетонные акустические экраны, так как их поверхностная обработка является наиболее рациональной за счет родства структур «бетон - цементная композиция», а нанесение цементных составов на металлические и полимерные поверхности считается технологически сложной и не эффективной.

За счет выполнения поверхностной обработки железобетонных акустических экранов составами с фотокаталитическими свойствами, предполагается потенциальное снижение количества оксидов азота и, как следствие, уменьшения нагрузки на атмосферу, вблизи автомобильной дороги. Таким образом, целью данного исследования является разработка и исследования цементных составов для акустических экранов автомобильных дорог с комплексным применением диоксида титана и целлюлозы.

Материалы и методы. Для изучения влияния количества добавок в цементной композиции на свойства фотокаталитических составов использовался портландцемент марки ЦЕМ I 32,5Н. В качестве фотокаталитической добавки применялся наиболее распространенный и общедоступный катализатор – диоксид титана, с насыпной плотностью 760 кг/м³ и удельной поверхностью 480 м²/кг.

Проведение качественного и количественного фазового анализа фотокаталитической добавки проводилось на рентгеновском дифрактометре ARL X'TRA методом порошковой рентгеновской дифракции. Результаты анализа приведены в таблицах 1 и 2. Выполненный анализ исследуемой фотокаталитической добавки показал наличие кристаллов TiO₂ с тетрагональной сингонией в виде анатазной модификации – 98,3 % и рутильной – 1,7 %.

Таблица 1

Химический состав (по элементам) фотокаталитической добавки

Элементы	Ti	O	V	Si	P	Ca	K	Al	Другие
Содержание, %	58,85	40,11	0,31	0,17	0,14	0,13	0,01	0,07	0,21

Таблица 2

Химический состав (по оксидам) фотокаталитической добавки

Оксиды	TiO ₂	V ₂ O ₅	SiO ₂	P ₂ O ₅	CaO	K ₂ O	Al ₂ O ₃	Другие
Содержание, %	97,96	0,56	0,37	0,32	0,18	0,17	0,13	0,31

Фотокаталитическая добавка содержит в своем составе оксиды кремния и алюминия, которые являются веществами поверхностного покрытия. Известно, [6-8] что при использовании TiO₂ в качестве белого пигмента нежелательные фотокаталитические реакции, генерируемые при поглощении УФ-излучения, приводят к разложению пигментированного материала. При этом TiO₂ поглощает свет в ближней ультрафиолетовой области, что приводит к возникновению пары электрон-дырка, которая генерирует на поверхности оксида свободные радикалы с высокой реакционной способностью. Производители TiO₂ снижают его фотоактивность за счет обработки SiO₂ и Al₂O₃, которые в дальнейшем могут смываться с поверхности зерен диоксида титана при механическом воздействии в водной среде.

Главным ограничением использования TiO₂ в качестве фотокатализатора является то, что его действие проявляется лишь при облучении ближним УФ-диапазоном с длиной волны менее 388 нм, что приблизительно равно всего 5 % солнечного спектра, достигающего поверхности Земли [9-11]. В связи, с чем встает необходимость корректировки модифицирующих компонентов для TiO₂, при которых происходит увеличения его активности в УФ-облучении. Известны способы

[12-16] повышения эффективности TiO₂ за счет обработки его поверхности оксидом кремния, а так как SiO₂ присутствует в составе минеральных вяжущих, это дополнительно будет способствовать усилению фотокаталитической активности.

Эффективность фотокаталитических процессов зависит от нескольких факторов, наиболее значимым из которых является площадь поверхности, участвующей в этих процессах. В связи, с чем для повышения площади поверхности реакции фотокатализа вводили целлюлозную суспензию, полученную методом механической гомогенизации вторичной целлюлозы в водной среде. Длина исследуемых волокон не превышает 3 мм. Диаметр целлюлозных волокон после насыщения водой составляет 10-40 мкм (рис. 2 а). Диаметр целлюлозных волокон после потери части водной среды значительно уменьшается и находится в диапазоне 3-10 мкм (рис. 2 б).

Снимки были получены методом оптической микроскопии с помощью Комплекса оптической микроскопии Nikon Eclipse MA200 (с возможностью цветокоррекции и интегрированной виртуальной линейки. Максимальное увеличение 2000 крат).

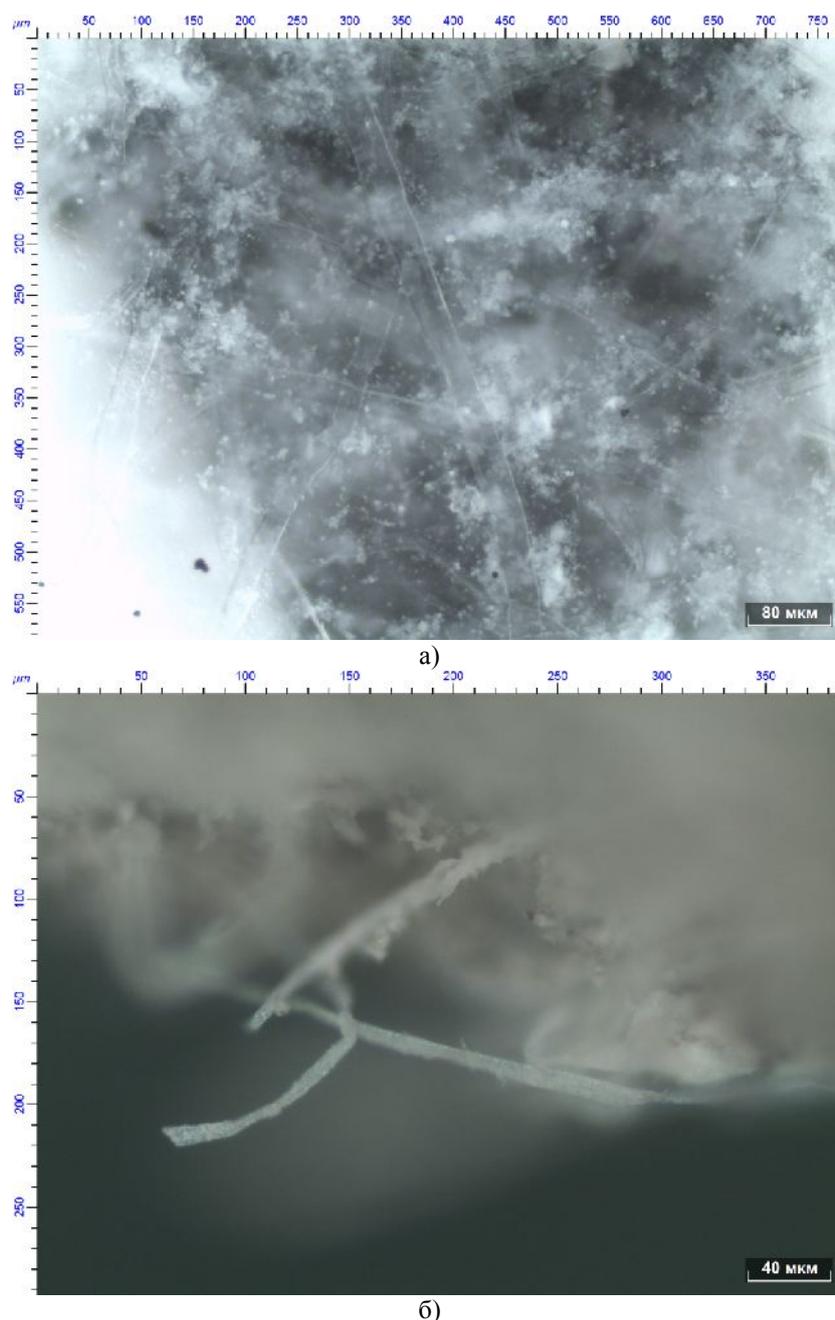


Рис. 2. Микрофотоснимок целлюлозных волокон:

а) в насыщенном водой состоянии (в суспензии), б) в структуре цементного камня в возрасте 28 суток.

Известно [17, 18], что вода разрушает слабые водородные связи в целлюлозе и вызывает её набухание в водной среде. Такие процессы ведут к увеличению удельной поверхности целлюлозы, увеличению общего объема пор и их размеров, а также количества свободных гидроксильных групп, что положительно сказывается на их реакционной способности. Межфибриллярное и межкристаллитное набухание целлюлозы в воде приводит к образованию более развитой поверхности целлюлозных волокон, что приведет к образованию крупных пор в структуре полученного композита.

Определение плотности проводилось согласно ГОСТ 12730.1-78 «Бетон. Методы определения плотности». Определение водопоглощения

проводилось по требованиям ГОСТ 12730.3-78 «Бетоны. Метод определения водопоглощения». Определение прочности проводилось согласно ГОСТ 10180-2012 «Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам».

Основная часть. Для установления верхней границы варьирования количества добавок диоксида титана и целлюлозы посредством планирования эксперимента был составлен двухфакторный композиционный ротатбельный эксперимент. В качестве факторов были выбраны: X_1 – количество фотокаталитической добавки по отношению к массе портландцемента; X_2 – количество целлюлозы (в сухом веществе) по отношению к массе портландцемента. Основные уровни факторов X_1 и X_2 – 1,0 и 0,75, а шаг варьирования

– 0,5 и 0,25, соответственно. В качестве функции отклика рассматривается предел прочности на сжатие в возрасте 28 суток.

Изменение средней плотности и величины водопоглощения косвенно характеризуют параметры пористости полученных композитов, что в

свою очередь сказывается на площади поверхности для проведения фотокаталитических реакций. Поэтому для установления зависимости пористости от состава полученных композитов фиксировались показатели плотности и водопоглощение.

Таблица 1

Составы и свойства композиционных вяжущих

№ состава	Кодовая матрица		Содержание добавок, % от массы ПЦ		Выходные параметры		
	X ₁	X ₂	TiO ₂	Целлюлоза	Плотность, кг/м ³	Прочность на сжатие, МПа	Водопоглощение по массе, %
К	-	-	0	0	2064	93,5	5,3
1	-1	-1	0,5	0,5	2129	99,7	4,8
2	+1	-1	1,5	0,5	2069	101,5	4,6
3	-1	+1	0,5	1	2057	74,9	4,4
4	+1	+1	1,5	1	2054	68,7	4,7
5	-1,42	0	0,3	0,75	2036	85,3	3,0
6	+1,42	0	1,7	0,75	2005	87,7	3,2
7	0	-1,42	1	0,4	2048	93,4	4,8
8	0	+1,42	1	1,1	2026	55,9	4,6
9	0	0	1	0,75	2073	75,5	4,8

На основе полученных результатов лабораторных испытаний цементного камня с различ-

ным содержанием TiO₂ и целлюлозы искомая зависимость функции отклика имеет следующий вид:

$$R_{сж} = 75,43 - 0,12X_1 - 13,75X_2 - 1,89 X_1X_2 + 6,95 X_1^2 + 0,98 X_2^2. \quad (1)$$

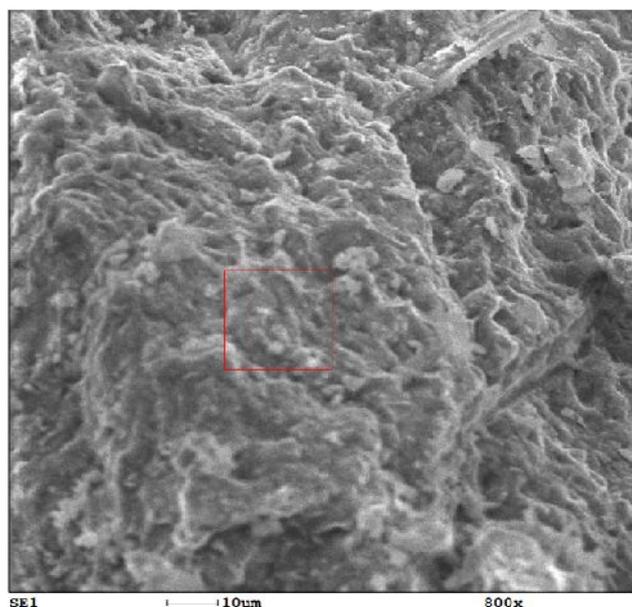
Полученное уравнение регрессии показывает незначительное влияние диоксида титана на снижение прочности. Варьирование количеством целлюлозы значительно сказывается на прочности композиционных образцов, снижая ее при максимальной концентрации добавки почти на 40 % относительно контрольного образца. При содержании целлюлозы свыше 0,75 % происходит ее агрегация в свободном состоянии, что приводит к снижению плотности и прочности полученных композитов. Волокна целлюлозы, набухая, впитывают значительное количество воды, тем самым увеличивая вязкость цементного теста. Затем, в процессе твердения вяжущего, вода отделяется из набухшей целлюлозы за счет диффузионных процессов и способствует образованию концентрированных пор в составе композита. Диоксид титана, в свою очередь, являясь водонерастворимым компонентом, снижает показатель водопоглощения за счет заполнения капиллярных пор, что объективно коррелирует с данными проведенного математического планирования эксперимента.

Формирование структуры цементного камня, величина общей пористости, а также параметры капиллярно-пористой структуры зависят не только от величины водовязущего отношения и степени гидратации [19], но и от вида

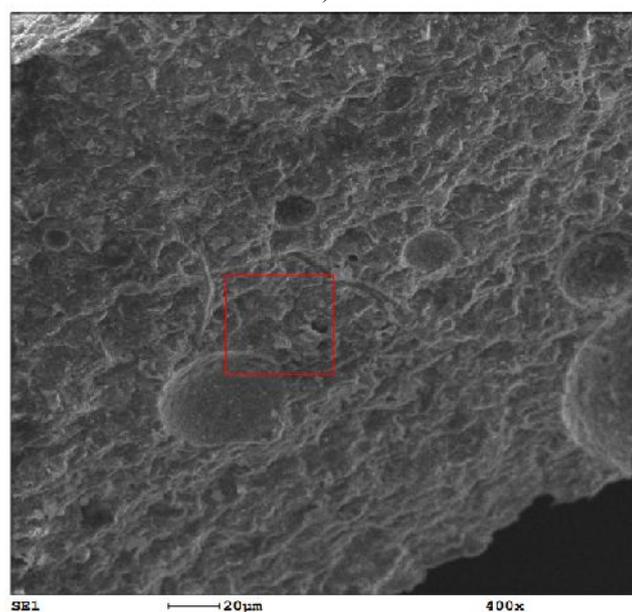
микронаполнителей, которым является добавленная целлюлоза. Для изучения морфологии модифицированного цементного камня была изучена микроструктура вяжущего в возрасте 28 суток на растровом электронном микроскопе FEI Quanta 250.

Микроструктура цементного камня (рис. 3) характеризуется наличием в микропорах развитых новообразований гидросиликатов кальция, которые способствуют повышению плотности. Диоксид титана в кристаллической форме в этом случае присутствует на сколах при исследовании поверхности на всех участках, однако его количество значительно уступает элементам продуктов гидратации портландцемента. Образованию крупных кратерообразных пор на сколе цементного камня объясняется межфибрилярным и межкристаллитным набуханием целлюлозы в воде, что приводит к образованию более развитой поверхности целлюлозных волокон.

С помощью рентгеновского спектрометра, которым оснащен растровый электронный микроскоп, получен микроанализ элементов (рис. 4), находящихся в структуре цементного камня. Выполненный элементный анализ подтверждает предложенные предположения о взаимодействии компонентов модифицированной цементной системы.



а)



б)

Рис. 3. Микрофотоснимок цементного камня с добавками в возрасте 28 суток:
а) 10 мкм, б) 20 мкм

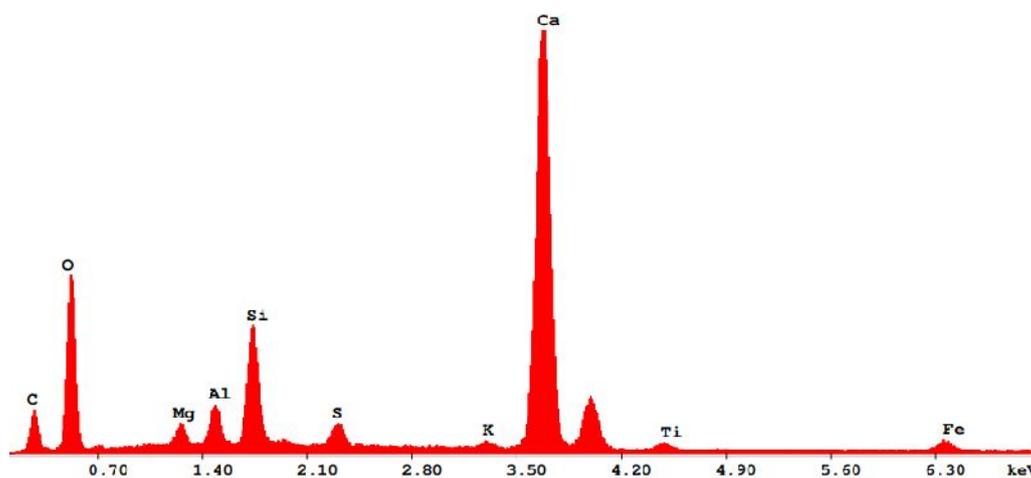


Рис. 4. Элементный микроанализ поверхности модифицированного цементного камня

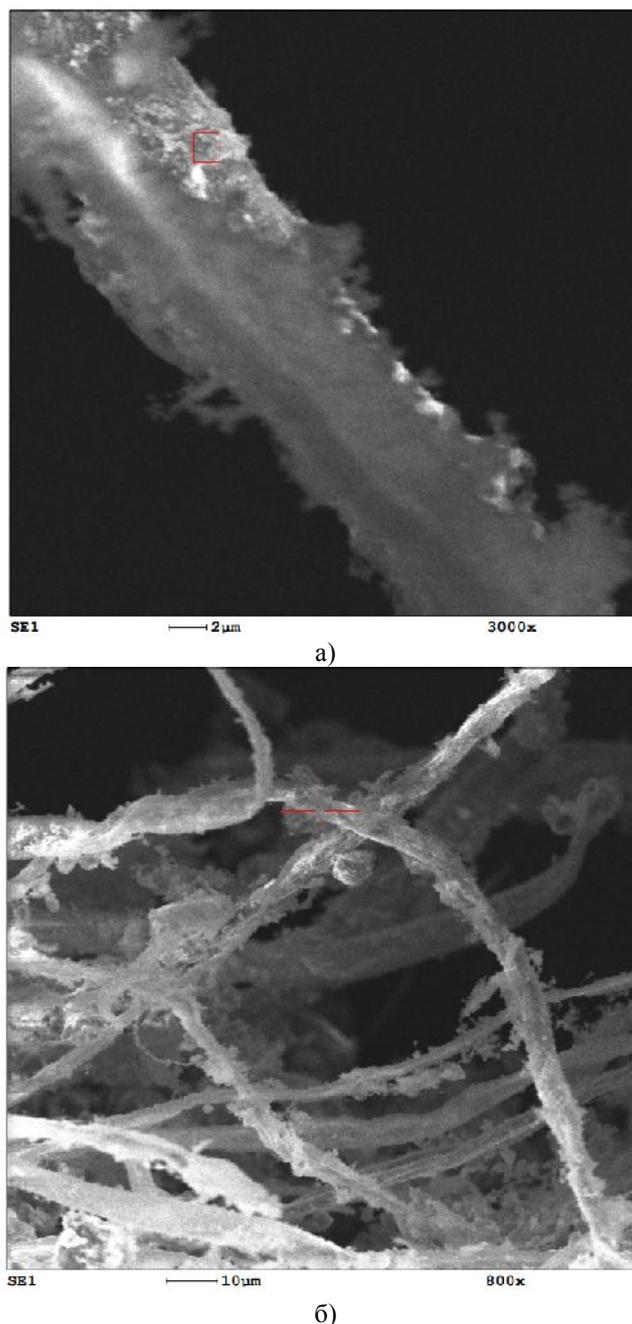


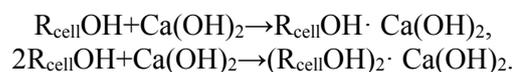
Рис. 5. Микрофотоснимок волокон целлюлозы в составе цементного камня:
а) 2 мкм, б) 10 мкм

По теоретическим и экспериментальным данным авторов [16] установлено, что целлюлозные макромолекулы имеют сильную тенденцию к агрегированию в высокоупорядоченные структурные элементы благодаря своему химическому строению, спиральной конформации и стереорегулярности.

Высокая удельная поверхность волокон целлюлозы является значительным фактором при заполнении капилляров, пор и сорбции молекул из водных сред, за счет чего приводит ее набуханию. Изменение размеров и формы волокон целлюлозы обуславливается межфибрилярным и внутрифибрилярным набуханием целлюлозы и включает три основных момента: заполнение жидкостью капиллярного пространства между

фибриллами, заполнение пор на поверхности волокон и взаимодействие жидкости с макромолекулами целлюлозы.

Из микроснимков (рис. 5) видно, что на поверхности волокон целлюлозы располагаются минеральные вещества, которые образовались в процессе гидратации портландцемента. Известно [20], что гидроксид кальция, взаимодействуя с поверхностным слоем целлюлозы, присоединяется к гидроксильным группам целлюлозы с образованием аддитивных или молекулярных соединений по схеме:



Такие соединения образуются в результате взаимодействия в стехиометрических соотношениях двух компонентов за счет межмолекулярных связей, в частности водородных. Таким образом, целлюлоза образует с гидроксидом кальция $(C_6H_{10}O_5)_2 \cdot Ca(OH)_2$ и $(C_6H_{10}O_5) \cdot Ca(OH)_2$. Подобные соединения известны для других многоатомных спиртов: глицерина, маннита и простых сахаров.

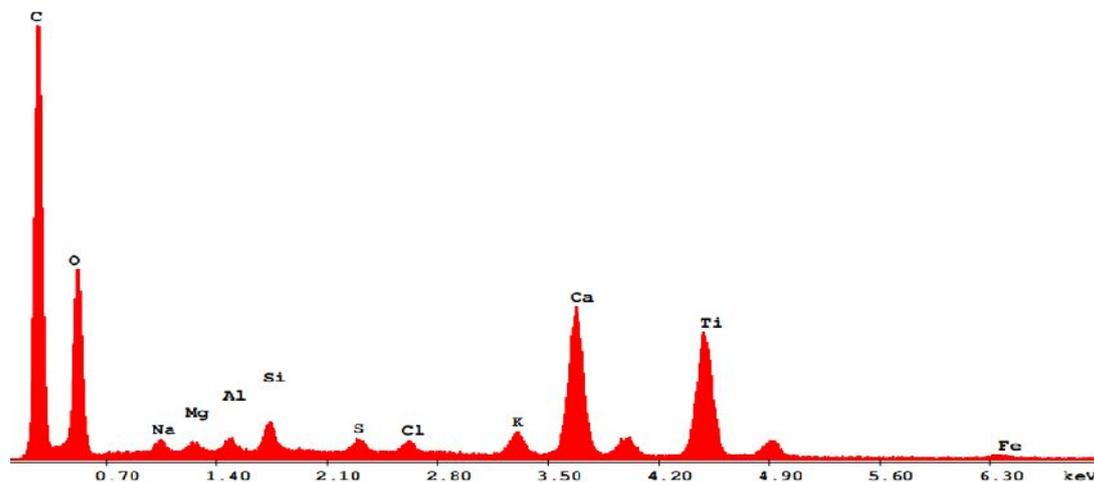


Рис. 6. Элементный микроанализ поверхности волокон целлюлозы в цементном камне

Выводы.

1. По приведенным результатам исследований установлено, что прочность, плотность и водопоглощение полученных композитов в большей степени зависит от количества введённой целлюлозной суспензии и в меньшей от количества TiO_2 .

2. При исследовании структуры композитов установлено, что диоксид титана сорбируется на поверхности набухших волокон целлюлозы и остается там после процессов гидратации. Вследствие повышения пористости цементного камня увеличивается потенциальная полезная площадь поверхности для проведения фотокаталитических реакций.

При условии замены существующих акустических экранов на фотокаталитические произойдет снижение экологической нагрузки на воздушный бассейн МКАД и повлияет на снижение уровня ПДКс.с. по оксидам азота до допустимого уровня.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Каргаполов Н.В. Технология оценки загрязнения атмосферного воздуха автомобильным транспортом. // Евразийское Научное Объединение. 2019. № 10-4 (56). С. 351–356.

В связи со способностью волокон целлюлозы набухать в жидкостях, поверхность фибрилл целлюлозы становится более доступной для микрочастиц, которые равномерно распределяются внутри волокон. Выполненный микроанализ компонентов (рис. 6) показывает, что кроме образовавшегося гидроксида кальция, присутствует диоксид титана.

2. Ляпидевская О.Б., Фрайнт М.А. Фотокаталитический бетон для дорожного строительства // Вестник МГСУ. 2014. № 2. С. 125–130.

3. Li H., Zhang M. H., Ou J. P. Abrasion resistance of concrete containing nano-particles for pavement // Wear. 2006. Vol. 260. № 11–12. Pp. 1262–1266.

4. Sija A., Tongrong D., Hao D., Ying Ch., Wanting Ch. Preparation of nano- TiO_2 -coated SiO_2 microsphere composite material and evaluation of its self-cleaning property // Nanomaterials. 2017. Vol. 7. № 11. 367 p.

5. Слесарев М.Ю., Попов К.В. Исследование эффективности применения фотокаталитических бетонов в городском строительстве // Современное строительство и архитектура. 2017. №3 (07). С. 18–20.

6. Ханова Е.А., Коробочкин В.В. Исследование параметров пористой структуры диоксида титана, полученного электрохимическим синтезом на переменном токе // Известия ТПУ. 2003. №4. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/issledovanie-parametrov-poristoy-struktury-dioksida-titana-poluchennogo-elektrohimicheskim-sintezom-na-peremennom-toke> (дата обращения: 15.07.21).11.20

7. Васильева К.Л., Ищенко О.М., Захарова Н.В., Малков А.А., Малыгин А.А. Изучение фа-

зовых превращений в поверхностном слое диоксида титана // Журн. прикл. химии. 2009. Т. 82, Ч. 5. С. 731–736.

8. Пат. 2367673С2, Российская Федерация, МПК С 09 С1/36. Способ обработки диоксида титана и пигмент на его основе/ Блюмель З.; заявитель и патентообладатель Кронос Интернациональ, Инк. (DE). №20071107491; заявл. 08.07.2005; опубл. 20.09.2020.

9. Хела Р., Боднарлова Л. Исследование возможности тестирования эффективности фотокатализа TiO_2 в бетоне // Строительные материалы. 2015. № 2. С. 77–81.

10. Кузьмичёва Г.М. Наноразмерные системы с оксидами титана(IV). Получение. Характеризация. Свойства // Тонкие химические технологии. 2015. Т. 10. № 6. С. 5–36.

11. Поживина К.А. Новые фотокаталитические нанодобавки на основе диоксида титана и диоксида кремния для самоочищающихся бетонов // Труды Кольского научного центра РАН. 2020. Т. 11. № 3-4. С. 145-151.

12. Вахрушев А.Ю., Крайнов Д.С., Бойцова Т.Б., Горбунова В.В., Пак В.Н. Фотокаталитические свойства материалов на основе оксида титана(IV) и наночастиц серебра // Журнал прикладной химии. 2020. Т. 93. №2. С. 282–289.

13. Беликов М.Л., Седнева Т.А., Локшин Э.П. Адсорбционные и фотокаталитические свойства диоксида титана, модифицированного вольфрамом // Неорганические материалы. 2021. Т. 57. № 2. С. 154-162.

14. Садовников А.А., Нечаев Е.Г., Бельтюков А.Н., Гаврилов А.И., Макаревич А.М., Бойцова

О.В. Мезокристаллы диоксида титана. Рабочая поверхность в фотокаталитических реакциях // Журнал неорганической химии. 2021. Т. 66. № 4. С. 432–439.

15. Yu X., Kang S., Long X. Compressive strength of concrete reinforced by TiO_2 nanoparticles // AIP Conference Proceedings. 2018. Vol. 2036. № 030006. Pp. 1–5.

16. Аутлов С.А., Базарнова Н.Г., Кушнир Е.Ю. Микроразмерная целлюлоза: структура, свойства и области применения (обзор) // Химия растительного сырья. 2013. № 3. С. 33–41.

17. Алешина Л.А., Гуртова В.А., Мелех Н.В. Структура и физико-химические свойства целлюлозы и нанокмозитов на их основе. Монография. Петрозаводск. ПетрГУ, 2014. 240 с.

18. Алексеев В.А., Баженова С.И. Оптимизация бетонных составов для набрызгбетонирования при сооружении подземных конструкций // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2020. №1. С. 8–17.

19. Boonen E., Akylas V., Barmpas F., Boréave A. et al. Photocatalytic de-pollution in the Leopold II tunnel in Brussels // Journal of Environmental Management. 2015. Pp. 136–144.

20. Hunger M., Hüsken G., Brouwers H.J.H. Photocatalysis applied to concrete products – Part 1: Principles and test procedure // ZKG International. 2008. Vol. 61. Pp. 77–85.

21. Magdalena J., Kamila Z. Concretes with Photocatalytic Activity // High Performance Concrete Technology and Applications. 2016. Pp. 141-161. DOI: 10.5772/64779.

Информация об авторах

Шестаков Николай Игоревич, кандидат технических наук, доцент кафедры строительного материаловедения. E-mail: SHestakovNI@mgsu.ru. Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет. Россия, 129337, Москва, Ярославское шоссе, д. 26.

Алексеева Дарья Сергеевна, студент. E-mail: alekseevadariasier@gmail.com. Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет. Россия, 129337, Москва, Ярославское шоссе, д. 26.

Полосина Диана Владимировна, студент. E-mail: Polosina.di@yandex.ru. Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет. Россия, 129337, Москва, Ярославское шоссе, д. 26.

Поступила 13.08.2021 г.

© Шестаков Н.И., Алексеева Д.С., Полосина Д.В., 2021

***Shestakov N.I., Alekseeva D.S., Polosina D.V.**

Moscow State University of Civil Engineering

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

THE USE OF PHOTOCATALYTIC CONCRETES IN ROAD CONSTRUCTION

Abstract. The article discusses the possibility of reducing the atmospheric environmental load of highways by applying compositions with photocatalytic properties to acoustic screens. It is found that the amount

of nitrogen oxides on the territory of the city of Moscow exceeds the MPC norms. Therefore, a potential way to reduce the level of the average daily and maximum one-time MPC of nitrogen oxides is proposed, when using coatings of traditional acoustic screens with photocatalytic compositions. Titanium dioxide in anatase form is considered as a photocatalytic agent. To reduce the density and increase the porosity of cement compositions, a cellulosic suspension obtained by saturation in an aqueous medium with subsequent homogenization is introduced. The effect of cellulose in the considered cement systems in combination with a photocatalytic agent has been investigated. By the method of mathematical planning, a two-factor compositional experiment is compiled. In result, the degrees of influence of titanium dioxide and cellulose additives on the strength, density and water absorption of the composites under study are established. The study of the structure of the obtained composites shows that TiO_2 is mainly located on the surface of cellulose fibers, which theoretically increases the useful surface for photocatalytic reactions and, as a consequence, the final efficiency of the compositions.

Keywords: acoustic screens, highways, environment, photocatalytic materials, cement composites, titanium dioxide, cellulose fibers.

REFERENCES

1. Kargapolov N.V. Technology for assessing atmospheric air pollution by road transport [Texnologiya ocenki zagryazneniya atmosfernogo vozduxa avtomobilnym transportom]. Eurasian Scientific Association. 2019. No. 10-4 (56). Pp. 351–356. (rus)
2. Lyapidevskaya O.B., Frait M.A. Photocatalytic paving concrete [Fotokataliticheskij beton dlya dorodnogo stroitelstva]. Bulletin of the MGSU. 2014. Pp. 125-130. (rus)
3. Li H., Zhang M. H., Ou J.P. Abrasion resistance of concrete containing nano-particles for pavement. Wear. 2006. Vol. 260. No. 11–12. Pp. 1262–1266.
4. Sija A., Tongrong D., Hao D., Ying Ch., Wanting Ch. Preparation of nano- TiO_2 - SiO_2 microsphere coated composite material and evaluation of its self-cleaning property. Nanomaterials. 2017. Vol. 7, No. 11. 367 p.
5. Slesarev M.Yu., Popov K.V. Study of the efficiency of photo-catalytic concrete application in urban construction [Issledovanie effektivnosti primeneniya fotokataliticheskix betonov v gorodskom stroitelstve]. Modern building and architecture. 2017. No. 3 (07). Pp. 18–20. (rus)
6. Khanova E.A., Korobochkin V.V. Investigation of the parameters of the porous structure of titanium dioxide obtained by electrochemical synthesis on alternating current [Issledovanie parametrov poristoj struktury` dioksida titana, poluchennogo e`lektroximicheskim sintezom na peremennom toke]. Izvestiya TPU. 2003. No. 4. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/issledovanie-parametrov-poristoy-struktury-dioksida-titana-poluchennogo-elektroximicheskim-sintezom-na-peremennom-toke>. (rus)
7. Vasilyeva K.L., Ishchenko O.M., Zakharova N.V., Malkov A.A., Malygin A.A. Study of phase transformations in the surface layer of titanium dioxide [Izuchenie fazovykh prevrashhenij v poverxnostnom sloe dioksida titana]. Journal. prikl. chemistry. 2009. Vol. 82. Issue 5. Pp. 731–736. (rus)
8. Blumel Zh. A method for processing titanium dioxide and a pigment based on it. Patent RF, no. 2367673C2, 2020.
9. Hela R., Bodnarova L. Research of Possibilities of Testing Effectiveness of Photoactive TiO_2 in Concrete [Issledovanie vozmozhnosti testirovaniya e`ffektivnosti fotokataliza TiO_2 v betone]. Building materials. 2015. No. 2. Pp. 77–81. (rus)
10. Kuzmicheva G.M. Nanosized phases with titanium (IV) oxides. Preparation. Characterisation. Properties [Nanorazmernye sistemy s oksidami titana(IV). Poluchenie. Xarakterizaciya. Svoystva.]. Fine Chemical Technologies. 2015. Vol. 10. No. 6. Pp. 5–36. (rus)
11. Pozhivina K.A. New photocatalytic nano-additives based on titanium dioxide and silicon dioxide for self-cleaning concrete. [Novyye fotokataliticheskiye nanodobavki na osnove dioksida titana i dioksida kremniya dlya samoochishchayushchikhsya betonov]. Proceedings of the Kola Scientific Center of the Russian Academy of Sciences. 2020. Vol. 11. No. 3-4. Pp. 145–151. (rus)
12. Vakhrushev A.Yu., Krainov D.S., Boitsova T.B., Gorbunova V.V., Pak V.N. Photocatalytic properties of materials based on titanium(IV) oxide and silver nanoparticles. [Fotokataliticheskiye svoystva materialov na osnove oksida titana(IV) i nanochastits serebra]. Journal of Applied Chemistry. 2020. Vol. 93. No. 2. Pp. 282–289. (rus)
13. Belikov M.L., Sedneva T.A., Lokshin E.P. Adsorption and photocatalytic properties of titanium dioxide modified with tungsten [Adsorbtsionnyye i fotokataliticheskiye svoystva dioksida titana, modifitsirovannogo volframom]. Inorganic materials. 2021. Vol. 57. No. 2. Pp. 154–162. (rus)
14. Sadovnikov A.A., Nechaev E.G., Beltyukov A.N., Gavrilov A.I., Makarevich A.M., Boitsova O.V. Mesocrystals of titanium dioxide. Working surface in photocatalytic reactions [Mezokristally dioksida titana. Rabochaya poverkhnost v

fotokataliticheskikh reaktsiyakh]. Journal of Inorganic Chemistry. 2021. Vol. 66. No. 4. Pp. 432–439. (rus)

15. Yu X., Kang S., Long X. Compressive strength of concrete reinforced by TiO₂ nanoparticles. AIP Conference Proceedings. 2018. Vol. 2036, No. 030006. Pp. 1–5.

16. Outlov S.A., Bazarnova N.G., Kushnir E.Yu. Microcrystalline cellulose: structure, properties and applications (review) [Mikrokristallicheskaya tsellyuloza: struktura, svoystva i oblasti primeneniya (obzor)]. Chemistry of vegetable raw materials. 2013. No. 3. Pp. 33–41. (rus)

17. Aleshina L.A., Gurtova V.A., Melekh N.V. Structure and physico-chemical properties of celluloses and nanocomposites based on them [Struktura i fiziko-khimicheskiye svoystva tsellyuloz i nanokompozitov na ikh osnove]. Monograph. Petrozavodsk: PetrSU, 2014. 240 p. (rus)

18. Alekseev V.A., Bazhenova S.I. [Optimizatsiya betonnykh sostavov dlya nabryzgbetonirovaniya pri sooruzhenii podzemnykh konstruktsiy] Vestnik BSTU named after V. G. Shukhov. 2020. No. 1. Pp. 8–17. DOI: 10.34031/2071-7318-2020-5-1-8-17(rus)

19. Boonen E., Akylas V., Barmpas F., Boréave A. et al. Photocatalytic de-pollution in the Leopold II tunnel in Brussels. Journal of Environmental Management. 2015. Pp. 136–144.

20. Hunger M., Hüsken G., Brouwers H.J.H. Photocatalysis applied to concrete products – Part 1: Principles and test procedure. ZKG International. 2008. Vol. 61. Pp. 77–85.

21. Magdalena J., Kamila Z. Concretes with Photocatalytic Activity. High Performance Concrete Technology and Applications. 2016. Pp. 141–161. DOI: 10.5772/64779.

Information about the authors

Shestakov, Nikolay I. PhD, Assistant professor. E-mail: SHeStakovNI@mgsu.ru. Moscow State University of Civil Engineering. Russia, 129337, Moscow, Yaroslavskoe shosse, 26.

Alekseeva, Darya S. Bachelor student. E-mail: Alekseevadariasier@gmail.com. Moscow State University of Civil Engineering. Russia, 129337, Moscow, Yaroslavskoe shosse, 26.

Polosina, Diana V. Bachelor student. E-mail: Polosina.di@yandex.ru. Moscow State University of Civil Engineering. Russia, 129337, Moscow, Yaroslavskoe shosse, 26.

Received 13.08.2021

Для цитирования:

Шестаков Н.И., Алексеева Д.С., Полосина Д.В. Применение фотокаталитических бетонов в дорожном строительстве // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2021. № 12. С. 16–26. DOI: 10.34031/2071-7318-2021-6-12-16-26

For citation:

Shestakov N.I., Alekseeva D.S., Polosina D.V. The use of photocatalytic concretes in road construction. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2021. No. 12. Pp. 16–26. DOI: 10.34031/2071-7318-2021-6-12-16-26

DOI: 10.34031/2071-7318-2021-6-12-27-33

Бондаренко Д.О.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

E-mail: di_bondarenko@mail.ru

ПОДБОР И АНАЛИЗ СЫРЬЕВЫХ КОМПОНЕНТОВ ДЛЯ ЗАЩИТНОГО И ДЕКОРАТИВНОГО СЛОЯ КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА

Аннотация. В связи с тем, что при современном жилищном строительстве значительно выросли расходы на отделочные работы, необходима разработка защитно-декоративных покрытий, обладающих архитектурно-художественными достоинствами и высокими эксплуатационными свойствами при незначительном удорожании. Необходима разработка качественного многослойного монолитизированного композита с высокой степенью адгезии функциональных слоев друг к другу. Отходы стекольной промышленности различных фракций и красящие соли металлов предложено использовать для декоративного слоя, что позволяет получать практически неограниченную цветовую гамму покрытия при плазмохимическом модифицировании. Обоснован выбор применения боя высокоглинозёмистого огнеупора и глинозёмистого цемента в защитном слое ввиду их высокой термической устойчивости к резким перепадам температур. Предложены составы защитного слоя на основе вяжущих компонентов и декоративного слоя с использованием измельченного цветного тарного стекла и красящих солей металлов, увлажненных 5-% водным раствором жидкого стекла, что даёт возможность значительно расширить сырьевую базу для получения функциональных покрытий на бетоне. Определена температура разогрева расплава и кинетика его остывания с целью выявления рациональных скоростей и длительности высокотемпературной обработки для дальнейшего создания покрытий. Выявлены рациональные скорости плазменной обработки композиционного материала для формирования покрытий различной фактуры.

Ключевые слова: цементный композит, защитно-декоративные покрытия, цветные стеклянные бытовые отходы, цветные соли металлов, глинозёмистый цемент, бой высокоглинозёмистого огнеупора.

Введение. При всем многообразии выпускаемых строительных материалов и изделий спектр применяемых сырьевых компонентов остается весьма ограниченным, а повышение качества продукции и придание им эмерджентных (несвойственных) свойств, происходит в основном за счет применения различных видов модифицирования. Анализ современных научных исследований позволяет предположить, что оптимизировать структуру и улучшить эксплуатационные характеристики композитов возможно путем применения эпигенетической модификации поверхности материалов [1–6]. Наиболее распространенным способом данной модификации является пропитка готовых изделий различными функциональными растворами, обеспечивающими гидрофобные, биозащитные и другие свойства, однако при этом происходит удорожание конечного продукта.

Недостаточно распространенными являются методы химической и термической обработки поверхности, которые позволяют достичь уникальных характеристик материалов, но обладающих рядом недостатков [7–14]. Плазмохимическое модифицирование приводит к значительному термоудару, дегидратации гидросиликатов в цементном камне и его разупрочнению, что снижает эксплуатационные показатели защитно-декоративного покрытия на изделиях из бетона и

силикатных материалах, в частности прочность сцепления и морозостойкость, а использование специально подобранных глазурей и пигментов могут существенно повысить себестоимость готового изделия [15–17].

Совокупность данных проблем, а также различные фазово-структурные трансформации при эпигенетической плазмохимической модификации требуют тщательного подбора состава (наполнителей и агентов) как матрицы композита, так и покрытия. Решение данной проблемы возможно за счёт рационального выбора сырьевых компонентов и варьирования рецептурно-технологических факторов.

Использование плазменной струи позволит существенно интенсифицировать процессы образования стекловидного защитно-декоративного покрытия с повышенными техническими и эксплуатационными показателями, а применение различных отходов стекольной промышленности и красящих солей металлов предоставит возможность значительно расширить базу получения разнообразных видов декора на лицевой поверхности материалов.

Материалы и методы. Для получения различных составов защитного покрытия были использованы цемент ЦЕМ I 42,5Н производства ЗАО «Белгородский цемент» и глинозёмистый

цемент ВГЦ-1-35 производства ОАО «Пашийский металлургическо-цементный завод» (табл. 1), а также бой высокоглинозёмистого огнеупора

КЛ-1,1 производства АО «Теплохиммонтаж» (табл. 2).

Таблица 1

Химический состав цементного клинкера

Цемент	Содержание оксидов, масс. %					
	Al ₂ O ₃	CaO	SiO ₂	MgO	Fe ₂ O ₃	Прочее
ЦЕМ I 42,5Н	5,16	66,34	22,33	0,51	4,42	1,24
ВГЦ-1-35	63,57	17,91	2,43	15,27	0,15	0,67

Таблица 2

Химический состав огнеупора

Содержание оксидов, масс. %		
Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Прочее
90	1	9

Для получения различных составов декоративного покрытия были использованы тарные стёкла различной цветовой гаммы, выпускаемые отечественной промышленностью, химический

состав которых исследован рентгенофлуоресцентным методом на спектрометре APL 9900 «Thermo scientific» (табл. 3).

Таблица 3

Химический состав цветных тарных стёкол

Цвет тарного стекла	Массовое содержание, масс. %									
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	SO ₃	TiO ₂	Co ₃ O ₄
Зелёное	70,5	3,3	10,0	2,0	13,2	0,2	0,3	0,3	0,4	–
Коричневое	71,7	1,9	8,0	4,0	13,0	0,3	0,7	0,2	–	–
Синее	67,5	5,2	4,7	2,2	17,2	0,9	2,0	0,12	0,03	0,062
Оливковое	72,0	2,3	5,8	4,0	15,5	0,2	–	0,5	–	–

Также для расширения цветовых характеристик покрытий использовали красящие соли металлов – кобальта, никеля, меди и хрома согласно нормативным документам и жидкое натриевое стекло с силикатным модулем 2,8 по ГОСТ 13078–81.

В качестве высокотемпературного источника в работе использован многофункциональный плазменный комплекс с температурой плазменной струи 6000 °С.

Кинетику остывания расплава определяли с помощью платино-платинородиевых термопар, которые заформовывали на глубину 2000 и 4000 мкм от поверхности композита. Температуру разогрева расплава на поверхности композита определяли оптическим пирометром «Проминь».

Основная часть. Формирование качественного многослойного монолитизированного композита с высокой степенью адгезии функциональных слоев друг к другу, в первую очередь, зависит от характеристик базовой матрицы композита. Основой композиционного отделочного материала является стеклбетон, на который один за другим будут наноситься защитный и декоративный слои. Ранее были подобраны эффективные составы цементных композитов с использованием отходов стекольной промышленности.

Рассмотрен состав стеклбетона с соотношением «цемент : наполнитель» 1:3, наполнитель (бой стекла) брали разного фракционного состава. Наилучшие результаты на прочность получены для составов с фракцией стекла 0,63–0,8 и 0,8–1,25, которые взяты в качестве матрицы композита для получения защитно-декоративных покрытий путем плазмохимического модифицирования (табл. 4). Кроме того, теплопроводность стеклбетона ниже, чем у мелкозернистого бетона, а прочностные характеристики являются достаточными для отделочного материала. Таким образом, использование боя цветных тарных стёкол в композиционных материалах, подвергаемых высокотемпературной обработке, будет способствовать уменьшению отвода тепла в бетонную матрицу и, как следствие, позволит увеличить термостойкость и прочность готовых изделий.

С целью минимизации последствий термического удара разработаны составы защитного покрытия на основе глинозёмистого цемента и портландцемента с боем высокоглинозёмистого огнеупора разного фракционного состава. Также подобраны составы декоративного покрытия с использованием измельченного цветного тар-

ного стекла и красящих солей металлов, увлажненных 5-% водным раствором жидкого стекла

(табл. 5). Это даёт возможность значительно расширить сырьевую базу для получения функциональных покрытий на бетоне.

Таблица 4

Составы и характеристики стеклобетона

№ состава	Состав стеклобетона, %		В/Ц	Характеристики стеклобетона			
	Портландцемент (ЦЕМ I 42,5Н)	Бой стекла (фр. стекла)		Прочность на сжатие, МПа	Прочность на изгиб, МПа	Плотность, кг/м ³	Теплопроводность, Вт/(м·К)
1	25	75 (0,63–0,8)	0,4	20,6	1,75	1676	0,226
2	25	75 (0,8–1,25)	0,4	19,8	1,72	1643	0,276

Таблица 5

Составы защитного и декоративного покрытий

№ состава	Защитное покрытие, %			Декоративное покрытие, увлажненное 5-% водным раствором жидкого стекла		
	Портландцемент	Бой высокоглинозёмистого огнеупорного состава (фракционный состав, мм)	Глинозёмистый цемент	Присыпка боем высокоглинозёмистого огнеупорного состава (фракционный состав, мм)	Присыпка смесью цветных тарных стёкол (фракционный состав, мм)	Красящие соли металлов, мас. %
1	25	75 (0,25–0,63)	–	0,25–0,63	–	0,5–3,0
2	25	75 (0,25–0,63)	–	0,63–0,8	–	0,5–3,0
3	25	75 (0,63–0,8)	–	0,63–0,8	–	0,5–3,0
4	25	75 (0,63–0,8)	–	0,8–1,25	–	0,5–3,0
5	–	–	100	–	0,25–0,63	–
6	–	–	100	–	0,63–0,8	–
7	–	–	100	–	0,8–1,25	–

Перед оплавлением на стеклобетон наносили защитный и декоративный слои, затем оплавливали со скоростью 1 мм/с и определяли температуру расплава по толщине покрытия

(табл. 6) и кинетику его остывания (рис. 1). Для изучения данных характеристик были выбраны составы № 3 и № 6 (табл. 5).

Таблица 6

Распределение температур по толщине покрытия

№ состава	Температура расплава на поверхности, °С	Температура на глубине 2000 мкм, °С	Температура на глубине 4000 мкм, °С
3	2075	1543	471
6	2010	1498	386

Анализ измерения температуры (рис. 1) показал, что поверхность композита разогревается до 2000 °С с образованием расплава за считанные секунды, остывание лицевой поверхности до 200 °С осуществляется в течение 6–7 минут. Образование расплава и формирование покрытия происходит как на поверхности композита, так и

на глубине 2000 мкм. Поверхностный слой стеклобетона (4000 мкм) при минимальной скорости плазменной обработки не прогревается выше 500 °С, что является безопасным и прочностные характеристики композиционного материала не ухудшаются.

Анализ влияния скорости оплавления показал, что для формирования сплошного покрытия

с ровным разливом рациональными скоростями являются 5 и 10 мм/с, при этом композит прогревается на 3000–4000 мкм, а для формирования

волнистого или бугристого покрытия – 20 и 25 мм/с, композит прогревается на 2000–2500 мкм.

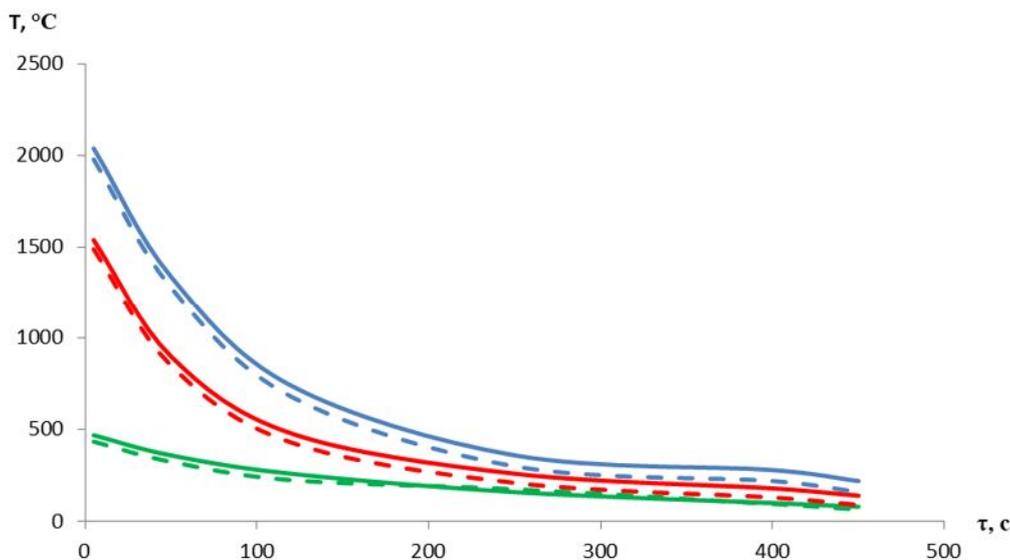


Рис. 1. Кинетика остывания расплава по толщине:

— состав № 3; --- состав № 6;
— (---) на поверхности; — (---) на глубине 2000 мкм; — (---) на глубине 4000 мкм

Выводы. В ходе работы предложены составы защитного и декоративного покрытий на основе различных сырьевых компонентов. Определена температура разогрева расплава и кинетика его остывания с целью выявления рациональных скоростей и длительности высокотемпературной обработки для дальнейшего создания защитно-декоративных покрытий.

Выявлены рациональные скорости плазменной обработки композиционного материала для формирования покрытий различной фактуры: для формирования сплошного покрытия с ровным разливом – 5 и 10 мм/с, для формирования волнистого или бугристого покрытия – 20 и 25 мм/с.

Источник финансирования. Работа выполнена в рамках реализации Стипендии Президента РФ СП-3948.2021.1 с использованием оборудования Центра высоких технологий БГТУ им. В.Г. Шухова.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Strokova V.V., Ogurtsova Y.N., Botsman L.N. Epicrystal modification of construction composites of different purpose with application of granulated nanostructured aggregate // *Nanotechnologies in Construction-a Scientific Internet-journal*. 2016. Vol. 8. Issue 5. P. 42–59. DOI: 10.15828/2075-8545-2016-8-5-42-59.

2. Строкова В.В., Огурцова Ю.Н., Ботман Л.Н. Влияние характеристик активного компо-

нента на степень пропитки мелкозернистого бетона при эпикристаллизационном модифицировании // *Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова*. 2015. № 6. С. 97–101.

3. Кожухова М.И., Флорес-вивиан И., Рао С., Строкова В.В., Соболев К.Г. Комплексное силосановое покрытие для супергидрофобизации бетонных поверхностей // *Строительные материалы*. 2014. № 3. С. 26–30.

4. Strokova V.V., Baskakov P.S., Ayzenshtadt A.M., Nelyubova V.V. Creation of biocidal coatings using the stabilization of silver nanoparticles in aqueous acrylic dispersions // *International Journal of Technology*. 2020. Vol. 11. Issue 1. P. 5–14. DOI: 10.14716/ijtech.v11i1.3346.

5. Бондаренко Д.О., Бондаренко Н.И. Способы окрашивания лицевой поверхности строительных материалов // *Ресурсоэнергоэффективные технологии в строительном комплексе региона*. 2019. № 11. С. 174–178.

6. Strokova V., Nelyubova V., Rykunova M. Investigation of fungicidal activity of biocides by method of direct contact with test cultures // *MATEC Web of Conferences*. 2018. Vol. 251. Article number 01018. DOI: 10.1051/mateconf/201825101018.

7. Shekhovtsov V.V., Volokitin O.G., Skripnikova N.K., Volokitin G.G., Semenovych M.A. Thermal plasma in construction industry // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2021. Vol. 688. Article number 012010. DOI:10.1088/1755-1315/688/1/012010.

8. Volokitin O., Volokitin G., Skripnikova N., Shekhovtsov V. Plasma technology for creation of protective and decorative coatings for building materials // AIP Conference Proceedings. 2016. Vol. 1698. Article number 070022. DOI: 10.1063/1.4937892.

9. Volokitin O.G., Shekhovtsov V.V. Prospects of application of low-temperature plasma in construction and architecture // Glass Physics and Chemistry. 2018. Vol. 44. Issue 3. P. 251–253. DOI: 10.1134/S1087659618030185.

10. Volokitin G., Vlasov V., Skripnikova N., Volokitin O., Shekhovtsov V. Plasma technologies in construction industry // Key Engineering Materials. 2018. Vol. 781. P. 143–148. DOI: 10.4028/www.scientific.net/KEM.781.143.

11. Бондаренко Н.И., Бондаренко Д.О., Кочурин Д.В., Брагина Л.Л., Яловенко Т.А. Листовые строительные стёкла с защитно-декоративными покрытиями // Строительные материалы и изделия. 2019. Т. 2. № 1. С. 11–16. DOI: 10.34031/2618-7183-2019-2-1-11-16.

12. Bondarenko N.I., Chuev S.A., Dogaeva L.A., Jalovenko T.A. Chipboards with plasma protective decorative coatings // Materials Science Forum. 2020. Vol. 974. P. 90–95. DOI: 10.4028/www.scientific.net/MSF.974.90.

13. Volokitin G.G., Skripnikova N.K., Volokitin O.G., Shekhovtsov V.V., Sinitsyn V.A., Vaschenko S.P., Kuz'min V.I. Plasma treatment of

wood. Thermophysics and Aeromechanics. 2016. Vol. 23. Issue 1. P. 119–124. DOI: 10.1134/S0869864316010121.

14. Fedosov S.V., Akulova M.V., Shchepochkina Yu.A. Tinting glaze with iron-containing compounds on nonfired inorganic materials // Glass and Ceramics. 2005. Vol. 62. Issue 1–2. P. 30–31. DOI: 10.1007/S10717-005-0026-0.

15. Бондаренко Н.И., Бондаренко Д.О., Бурлаков Н.М., Брагина Л.Л. Исследование влияния плазмохимического модифицирования на макро- и микроструктуру поверхностного слоя автоклавных стеновых материалов // Строительные материалы и изделия. 2018. Т. 1. № 2. С. 4–10. DOI: 10.34031/2618-7183-2018-1-2-4-10.

16. Zdorenko N.M., Bondarenko N.I., Borisov I.N., Izofatova D.I., Dorokhova E.S. Increase of competitiveness of wall construction materials with use of plasma technologies // International Journal of Applied and Fundamental Research. 2014. Issue 2. 2 p.

17. Бессмертный В.С., Соколова О.Н., Бондаренко Н.И., Бондаренко Д.О., Брагина Л.Л., Макаров А.В., Кочурин Д.В. Плазмохимическое модифицирование блочных теплоизоляционных материалов с декоративным покрытием // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2019. № 3. С. 85–92. DOI: 10.34031/article_5ca1f6331ec888.51255959.

Информация об авторах

Бондаренко Диана Олеговна, кандидат технических наук, доцент кафедры материаловедения и технологии материалов. E-mail: di_bondarenko@mail.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Поступила 23.08.2021 г.

© Бондаренко Д.О., 2021

Bondarenko D.O.

Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov

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

SELECTION AND ANALYSIS OF RAW MATERIALS FOR A PROTECTIVE AND DECORATIVE LAYER OF COMPOSITE MATERIAL

Abstract. *With modern housing construction, the cost of finishing work has increased significantly. The development of protective and decorative coatings is necessary, with architectural and artistic advantages and high performance properties with a slight increase in cost. It is necessary to develop a high-quality multilayer monolithic composite with a high degree of adhesion of functional layers to each other. Glass industry waste of various fractions and coloring salts of metals are proposed to be used for a decorative layer, which allows to obtain an almost unlimited color gamut of the coating during plasma chemical modification. The choice of application of high-alumina refractory and alumina cement in the protective layer is justified due to their high thermal resistance to sudden temperature changes. Compositions of a protective layer based on binders and a decorative layer using crushed colored container glass and coloring metal salts moistened with a 5% aqueous solution of liquid glass have been proposed, which makes it possible to significantly expand the raw material base for obtaining functional coatings on concrete. The melt heating temperature and the kinetics of its*

cooling are determined in order to identify rational rates and duration of high-temperature treatment for further coating creation. Rational rates of plasma processing of composite material for the formation of coatings of various textures are revealed.

Keywords: cement composite, protective and decorative coatings, non-ferrous glass household waste, non-ferrous metal salts, alumina cement, breakage of high-alumina refractory.

REFERENCES

1. Stroková V.V., Ogurtsova Y.N., Botsman L.N. Epicrystal modification of construction composites of different purpose with application of granulated nanostructured aggregate. *Nanotechnologies in Construction-a Scientific Internet-journal*. 2016. Vol. 8. No. 5. Pp. 42–59. DOI: 10.15828/2075-8545-2016-8-5-42-59.
2. Stroková V.V., Ogurtsova Y.N., Botsman L.N. Influence of active component characteristics on the degree of impregnation of fine-grained concrete in the epicrystalline modification [Vliyaniye kharakteristik aktivnogo komponenta na stepen' propitki melkozernistogo betona pri epikristallizatsionnom modifitsirovani]. *Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov*. 2015. Vol. 6. Pp. 97–101. (rus)
3. Kozhukhova M.I., Flores-Vivian I., Rao S., Stroková V.V., Sobolev K.G. Complex siloxane coating for super-hydrophobicity of concrete surfaces [Kompleksnoye siloksanovoye pokrytiye dlya supergidrofobizatsii betonnykh poverkhnostey]. *Construction Materials*. 2014. No. 3. Pp. 26–30. (rus)
4. Stroková V.V., Baskakov P.S., Ayzenshtadt A.M., Nelyubova V.V. Creation of biocidal coatings using the stabilization of silver nanoparticles in aqueous acrylic dispersions. *International Journal of Technology*. 2020. Vol. 11. No. 1. Pp. 5–14. DOI: 10.14716/ijtech.v11i1.3346.
5. Bondarenko D.O., Bondarenko N.I. Methods of coloring the facial surface of construction materials [Sposoby okrashivaniya litsevoy poverkhnosti stroitel'nykh materialov]. *Resource-energy efficient technologies in the construction complex of the region*. 2019. No 11. Pp. 174–178. (rus)
6. Stroková V., Nelyubova V., Rykunova M. Investigation of fungicidal activity of biocides by method of direct contact with test cultures. *MATEC Web of Conferences*. 2018. Vol. 251. Article number 01018. DOI: 10.1051/mateconf/201825101018.
7. Shekhovtsov V.V., Volokitin O.G., Skripnikova N.K., Volokitin G.G., Semenovych M.A. Thermal plasma in construction industry. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2021. Vol. 688. Article number 012010. DOI:10.1088/1755-1315/688/1/012010.
8. Volokitin O., Volokitin G., Skripnikova N., Shekhovtsov V. Plasma technology for creation of protective and decorative coatings for building materials. *AIP Conference Proceedings*. 2016. Vol. 1698. Article number 070022. DOI: 10.1063/1.4937892.
9. Volokitin O.G., Shekhovtsov V.V. Prospects of application of low-temperature plasma in construction and architecture. *Glass Physics and Chemistry*. 2018. Vol. 44. No. 3. Pp. 251–253. DOI: 10.1134/S1087659618030185.
10. Volokitin G., Vlasov V., Skripnikova N., Volokitin O., Shekhovtsov V. Plasma technologies in construction industry. *Key Engineering Materials*. 2018. Vol. 781. Pp. 143–148. DOI:10.4028/www.scientific.net/KEM.781.143.
11. Bondarenko N.I., Bondarenko D.O., Kochurin D.V., Bragina L.L., Yakovenko T.A. Sheet construction glass with protective and decorative coatings [Listovyye stroitel'nyye stokla s zashchitno-dekorativnymi pokrytiyami]. *Construction Materials and Products*. 2019. Vol. 2. No. 1. Pp. 11–16. DOI: 10.34031/2618-7183-2019-2-1-11-16. (rus)
12. Bondarenko N.I., Chuev S.A., Dogaeva L.A., Jalovenko T.A. Chipboards with plasma protective decorative coatings. *Materials Science Forum*. 2020. Vol. 974. Pp. 90–95. DOI: 10.4028/www.scientific.net/MSF.974.90.
13. Volokitin G.G., Skripnikova N.K., Volokitin O.G., Shekhovtsov V.V., Sinitsyn V.A., Vaschenko S.P., Kuz'min V.I. Plasma treatment of wood. *Thermophysics and Aeromechanics*. 2016. Vol. 23. No. 1. Pp. 119–124. DOI: 10.1134/S0869864316010121.
14. Fedosov S.V., Akulova M.V., Shchepochkina Yu.A. Tinting glaze with iron-containing compounds on nonfired inorganic materials. *Glass and Ceramics*. 2005. Vol. 62. No. 1–2. Pp. 30–31. DOI: 10.1007/S10717-005-0026-0.
15. Bondarenko N.I., Bondarenko D.O., Burlakov N.M., Bragina L.L. Investigation of influence of plasmochemical modification on macro- and microstructure of surface layer of autoclave wall materials [Issledovaniye vliyaniya plazmokhimicheskogo modifitsirovaniya na makro- i mikrostrukturu poverkhnostnogo sloya avtoklavnykh stenovykh materialov]. *Construction Materials and Products*. 2018. Vol. 1. No. 2. Pp. 4–10. DOI: 10.34031/2618-7183-2018-1-2-4-10. (rus)
16. Zdorenko N.M., Bondarenko N.I., Borisov I.N., Izofatova D.I., Dorokhova E.S. Increase of competitiveness of wall construction materials with use of plasma technologies. *International Journal of Applied and Fundamental Research*. 2014. No. 2. Pp. 2.

17. Bessmertnyy V.S., Sokolova O.N., Bondarenko N.I., Bondarenko D.O., Bragina L.L., Makarov A.V., Kochurin D.V. Plasmachemical modification of thermal insulated blocks with deco-

rative coating [Plazmokhimicheskoye modifitsirovaniye blochnykh teploizolyatsionnykh materialov s dekorativnym pokrytiyem]. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2019. Vol. 3. Pp. 85–92. (rus)

Information about the authors

Bondarenko, Diana O. PhD. E-mail: di_bondarenko@mail.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov, Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Received 23.08.2021

Для цитирования:

Бондаренко Д.О. Подбор и анализ сырьевых компонентов для защитного и декоративного слоя композиционного материала // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2021. № 12. С. 27–33. DOI: 10.34031/2071-7318-2021-6-12-27-33

For citation:

Bondarenko D.O. Selection and analysis of raw materials for a protective and decorative layer of composite material. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2021. No. 12. Pp. 27–33. DOI: 10.34031/2071-7318-2021-6-12-27-33

DOI: 10.34031/2071-7318-2021-6-12-34-42

¹Чернильник А.А., ²*Ельшаева Д.М., ²Жеребцов Ю.В., ²Доценко Н.А., ²Самофалова М.С.¹Ростовский государственный университет путей сообщения

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

ВЫБОР РАЦИОНАЛЬНОЙ РЕЦЕПТУРЫ ОБЛЕГЧЕННЫХ БЕТОНОВ НА СМЕСИ КЕРАМЗИТОВОГО ГРАВИЯ, ПРИРОДНОГО ЩЕБНЯ И ГРАНУЛИРОВАННОГО ШЛАКА

Аннотация. В условиях плотной городской застройки и разнообразия инженерно-геологических условий применение бетонов с комбинированным заполнителем рационально подобранного состава позволит решить существующую проблему снижения массы железобетонных конструкций зданий и сооружений и сохранения при этом требуемых прочности и деформативности. В данной работе проведены исследования по выбору рациональной рецептуры облегченного бетона на основе керамзитового гравия, природного щебня и гранулированного доменного шлака посредством варьирования объёмного содержания пористого крупного заполнителя и объёмного содержания мелкого заполнителя по отношению к смеси. Всего изготовлено и испытано 9 серий опытных образцов и 1 серия контрольных образцов. Одна серия образцов включает в себя три куба с размерами 10×10×10 см. Все образцы испытаны по показателям плотность и прочность при сжатии определен коэффициент конструктивного качества. По результатам исследования установлено, что введение в состав тяжелого бетона керамзитового гравия вместо части плотного крупного заполнителя и замена мелкого плотного заполнителя на гранулированный доменный шлак приводит к повышению коэффициента конструктивного качества, то есть снижению прочности при сжатии бетона компенсируется еще более существенным снижением плотности материала, а значит снижением массы конструкций. Прирост коэффициента конструктивного качества бетона на основе керамзитового гравия, природного щебня и гранулированного доменного шлака в сравнении с контрольным составом составил 15,6 %.

Ключевые слова: облегченный бетон, коэффициент конструктивного качества, плотность, прочность, объёмное содержание, плотный заполнитель, пористый заполнитель.

Введение. В современных условиях строительства особую роль приобретают конструкции из облегченного бетона. Плотная застройка городов и разнообразие инженерно-геологических условий приводят к необходимости возведения зданий и сооружений со сниженной массой. При этом с увеличением этажности, а также созданием новых большепролетных и высотных зданий и сооружений с повышенными требованиями к прочности и деформативности применяемых строительных материалов, изделий и конструкций, встаёт острая проблема нехватки достаточно прочных и при этом облегченных изделий.

В сравнении с тяжелыми бетонами бетоны на легких пористых заполнителях (керамзитовый гравий, керамзитовый щебень, шлаковая пемза, шлаковый щебень, доменный гранулированный шлак) обладают рядом преимуществ, а именно низкой плотностью и теплопроводностью, более высоким сцеплением цементно-песчаного раствора и заполнителя и высокой трещиностойкостью [1–3]. В связи с дефицитом природных заполнителей в ряде регионов применение искусственных пористых заполнителей в экономическом и экологическом плане является более выгодным [4–6].

Основными недостатками легких бетонов в сравнении с тяжелыми являются худшие физико-механические показатели, а именно низкий модуль упругости, повышенные усадка и ползучесть [7, 8].

Применение комбинированных (смеси пористых и плотных) заполнителей для бетона является одним из перспективных направлений повышения их эффективности. Известно, что полная замена плотного заполнителя пористым приводит к потере прочности [9–12]. При необходимости снижения плотности бетона и дефиците плотных заполнителей используют бетоны с частичной заменой плотного заполнителя пористым. Занимая промежуточное положение между тяжелыми и легкими бетонами, бетоны на смешанных заполнителях мало отличаются от первых по прочности на сжатие и одновременно обладают положительными качествами вторых: высокой трещиностойкостью и прочностью на растяжение, выносливостью и долговечностью [13–16].

Таким образом, разработка оптимальной рецептуры, проектных решений, технологии возведения и заводского производства изделий и конструкций из облегченного бетона является актуальным направлением.

Целью настоящего исследования стало получение облегченного бетона на комбинации разноплотных заполнителей в рациональном сочетании по предварительно выбранной рецептуре, обоснованной теоретически и экспериментально.

Методы и материалы.

При проведении исследований был использован бездобавочный портландцемент марки ПЦ 400 Д0 производства ООО «Топкинский цемент», физико-механические характеристики которого представлены в таблице 1.

Таблица 1

Физико-механические характеристики портландцемента ПЦ 400 Д0

Наименование свойства	Значение
Тонкость помола, проход через сито № 008, %	95,8
Удельная поверхность, см ² /г	2988,5
Нормальная густота цементного теста, %	26,5
Сроки схватывания, час: мин	
- начало	0: 48
- конец	4: 00
Предел прочности при сжатии в возрасте 28 суток, МПа	42,5

В качестве крупного плотного заполнителя применялся щебень природный из кварцитовых пород, а в качестве крупного пористого заполнителя применялся керамзитовый гравий. Физико-

механические характеристики плотного и пористого крупного заполнителя представлены в таблице 2.

Таблица 2

Физико-механические характеристики крупного заполнителя

Наименование	Насыпная плотность, кг/м ³	Прочность по ГОСТ 9758, МПа	Дробимость по ГОСТ 8269, %	Плотность зерен, г/см ³	Пустотность, %
Керамзитовый гравий фракции 5–20 мм	500	1,7	–	0,85	48
Щебень фракции 5–20 мм	1380	–	12,1	2,57	47

В качестве мелкого плотного заполнителя применялся кварцевый песок, а в качестве мелкого пористого заполнителя применялся грану-

лированный шлак. Физико-механические характеристики мелкого плотного и пористого заполнителей представлены в таблице 3.

Таблица 3

Физико-механические характеристики мелкого заполнителя

Наименование	Насыпная плотность, кг/м ³	Модуль крупности	Плотность зерен, г/см ³	Пустотность, %
Гранулированный шлак	1021	3,8	1,95	50
Песок	1480	1,4	2,61	43,3

Приготовление бетонной смеси осуществлялось в лабораторном бетоносмесителе принудительного действия БЛ-10. Для изготовления кубов были применены стандартные формы марки 2ФК-100. Уплотнение бетонной смеси в процессе формования образцов осуществлялось на лабораторной виброплощадке СМЖ-539-220А с механическим креплением, время вибрирования в среднем составляло 70 секунд. Для уплотнения легкобетонных смесей использовался пригруз. На следующие сутки после формования образцы были распалублены и помещены в камеру нормального твердения на 28 суток до набора проектной прочности.

Также для исследований нами было применено: испытательное оборудование (пресс гидравлический ИП-1000), средства измерения (линейка измерительная металлическая, весы лабораторные, прибор для измерения отклонений от плоскости НПЛ-1, прибор для измерения отклонений от перпендикулярности НПП-1).

Всего изготовлено и испытано 9 серий опытных образцов и 1 серия контрольных образцов. Одна серия образцов включает в себя три куба с размерами 10×10×10 см.

Испытания образцов на сжатие проводились в соответствии с требованиями ГОСТ 10180 «Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам» [17–20].

Результаты и их обсуждение. В качестве контрольного состава запроектирован тяжелый бетон на плотных заполнителях класса В30 с требуемой маркой по удобоукладываемости П1

(осадка конуса 1-4 см). Полученные в результате расчетов параметры состава бетонной смеси отражены в таблице 4.

Таблица 4

Параметры состава бетонной смеси

Наименование параметра	Цемент, кг/м ³	Вода, л/м ³	Щебень, кг/м ³	Песок, кг/м ³	$\rho_{бс}$, кг/м ³
Значение параметра	378	203	1198	721	2500

Выбор оптимальных объёмных содержаний крупного и мелкого пористых заполнителей по отношению к смеси крупных заполнителей осуществлялся посредством проведения расчетов методом математического планирования эксперимента с использованием программы «MathCAD».

В качестве функций были приняты изменяющиеся в зависимости от различных объёмных содержаний крупного и мелкого пористых заполнителей по отношению к смеси крупных заполнителей следующие показатели: плотность, прочность на сжатие и коэффициент конструктивного качества.

За функцию отклика были приняты параметры:

- $R_{b.cub}(V_{кг}; V_{гш})$ – прочность на сжатие, МПа;
- $\rho_{бс}(V_{кг}; V_{гш})$ – плотность облегченного бетона, кг/м³;
- К.К.К. ($V_{кг}; V_{гш}$) – коэффициент конструктивного качества, $\times 10^3$ МПа·м³/кг.

В качестве же аргументов принимались объёмные содержания крупного и мелкого пористых заполнителей по отношению к смеси крупных заполнителей в абсолютных показателях с различными уровнями варьирования. Значения факторов варьирования представлены в таблице 5

Таблица 5

Значения факторов варьирования ПФЭ 2^к

№ п/п	Код фактора	Физический смысл фактора	Ед. измерения	Уровни фактора		
				-1	0	+1
1	$V_{шп}$	Объёмное содержание крупного пористого заполнителя	%	40	50	60
2	$V_{гш}$	Объёмное содержание мелкого пористого заполнителя по отношению к смеси крупных заполнителей	%	30	35	40

Результаты экспериментальных исследований влияния объёмного содержания крупного и мелкого пористых заполнителей по отношению к

смеси крупных заполнителей на плотность, прочность при сжатии и коэффициент конструктивного качества облегченного бетона представлены в таблице 6 и на рисунках 1-3.

Таблица 6

Результаты экспериментальных исследований влияния объёмного содержания пористого крупного и мелкого заполнителей по отношению к смеси крупных заполнителей на плотность, прочность на сжатие и коэффициент конструктивного качества облегченного бетона

Номер опыта	Объёмное содержание пористого крупного заполнителя, %	Объёмное содержание мелкого заполнителя по отношению к смеси крупных заполнителей, %	Плотность облегченного бетона, кг/м ³	Прочность на сжатие, МПа	Коэффициент качества облегченного бетона, (МПа·м ³ /кг)·10 ³
1	40	30	2054	38,1	18,5
2	60	30	1827	34,8	19,0
3	40	40	1997	37,9	19,0
4	60	40	1816	36,1	19,9
5	40	35	2011	38,3	19,0
6	60	35	1811	35,1	19,4
7	50	30	1958	37,0	18,9
8	50	40	1961	36,3	18,5
9	50	35	1970	36,8	18,7

По результатам исследований методом наименьших квадратов были получены базовые

уравнения регрессии, которые представлены в виде полиномов второй степени:

$$\sigma_{\text{бс}}(V_{\text{кг}}, V_{\text{гш}}) = 1934 - 101 \cdot V_{\text{кг}} - 10 \cdot V_{\text{гш}} + 11,5 \cdot V_{\text{кг}} \cdot V_{\text{гш}} - 43,7 \cdot V_{\text{кг}}^2 + 4,8 \cdot V_{\text{гш}}^2 \quad (1)$$

$$R_{b.cub}(V_{\text{кг}}, V_{\text{гш}}) = 37 - 1,38 \cdot V_{\text{кг}} + 0,067 \cdot V_{\text{гш}} + 0,37 \cdot V_{\text{кг}} \cdot V_{\text{гш}} - 0,016 \cdot V_{\text{кг}}^2 - 0,033 \cdot V_{\text{гш}}^2 \quad (2)$$

$$K.K.K.(V_{\text{кг}}, V_{\text{гш}}) = 19 + 0,3 \cdot V_{\text{кг}} + 0,16 \cdot V_{\text{гш}} + 0,1 \cdot V_{\text{кг}} \cdot V_{\text{гш}} + 0,43 \cdot V_{\text{кг}}^2 - 0,067 \cdot V_{\text{гш}}^2 \quad (3)$$

При расчете состава облегченного бетона в каждом опыте значения расхода заполнителей (таблица 7) рассчитывался по формулам:

$$M = r \cdot \sum V \quad (4)$$

$$K = \sum V - M \quad (5)$$

$$K_{\text{п}} = V_{\text{п}} \cdot K \quad (6)$$

$$K_{\text{щ}} = V_{\text{щ}} \cdot K \quad (7)$$

где M – расход мелкого заполнителя, $\text{м}^3/\text{м}^3$; r – доля песка по объему в смеси заполнителей; $\sum V$ – сумма пофракционных объемов (общий расход заполнителей на 1 м^3 бетона) – принимается по результатам исследований свойств смесей заполнителей, $\text{м}^3/\text{м}^3$; K – суммарный расход крупных заполнителей, $\text{м}^3/\text{м}^3$; $K_{\text{кг}}$ – расход керамзитового гравия, $\text{м}^3/\text{м}^3$; $K_{\text{щ}}$ – расход щебня, $\text{м}^3/\text{м}^3$; $V_{\text{кг}}$ – доля керамзитового гравия; $V_{\text{щ}}$ – доля щебня.

Таблица 7

Результаты экспериментальных исследований влияния объёмного содержания пористого крупного и мелкого заполнителей по отношению к смеси крупных заполнителей на плотность, прочность на сжатие и коэффициент конструктивного качества облегченного бетона

Номер опыта	Сумма пофракционных объемов, $\text{м}^3/\text{м}^3$	Расход гранулированного шлака, $\text{м}^3/\text{м}^3$	Расход керамзитового гравия, $\text{м}^3/\text{м}^3$	Расход щебня, $\text{м}^3/\text{м}^3$
1	1,448	0,434	0,405	0,608
2	1,418	0,425	0,596	0,397
3	1,432	0,573	0,344	0,516
4	1,408	0,563	0,507	0,338
5	1,435	0,574	0,344	0,517
6	1,421	0,497	0,554	0,369
7	1,428	0,500	0,464	0,464
8	1,420	0,426	0,497	0,497
9	1,431	0,572	0,429	0,429

При приготовлении опытных замесов бетонных смесей на комбинированном заполнителе расход цемента оставался неизменным, а расход

воды корректировался до получения требуемой подвижности бетонной смеси.

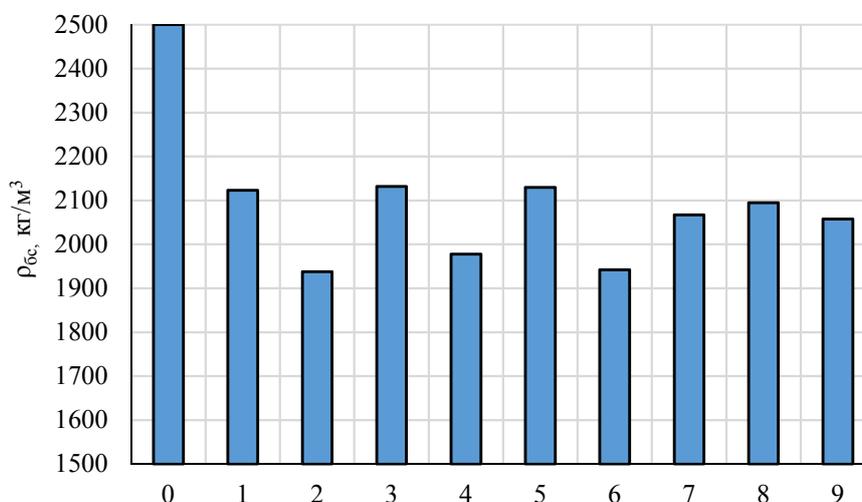


Рис. 1. Изменение плотности облегченного бетона в зависимости от объёмных содержаний крупного и мелкого пористых заполнителей (К – контрольный состав; 1, 2...9 – опытные составы)

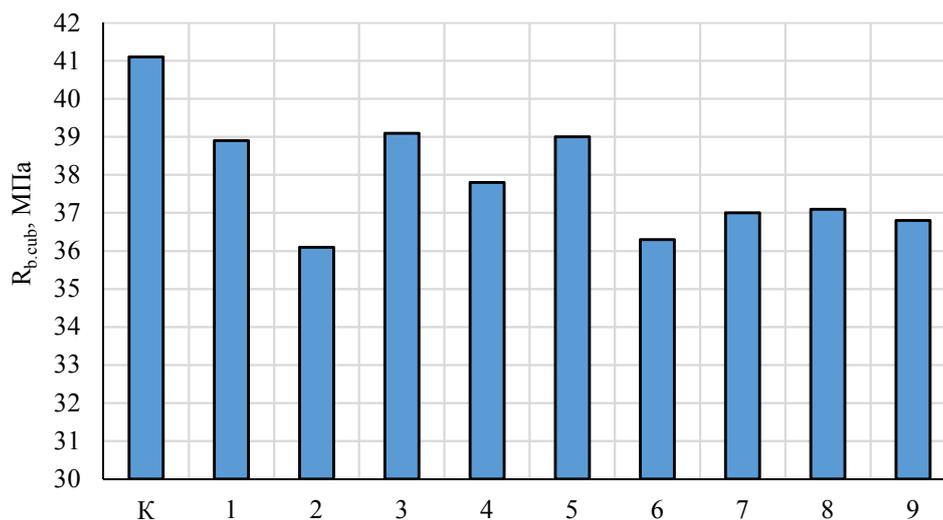


Рис. 2. Изменение прочности при сжатии облегченного бетона в зависимости от объемных содержаний крупного и мелкого пористых заполнителей (К – контрольный состав; 1, 2...9 – опытные составы)

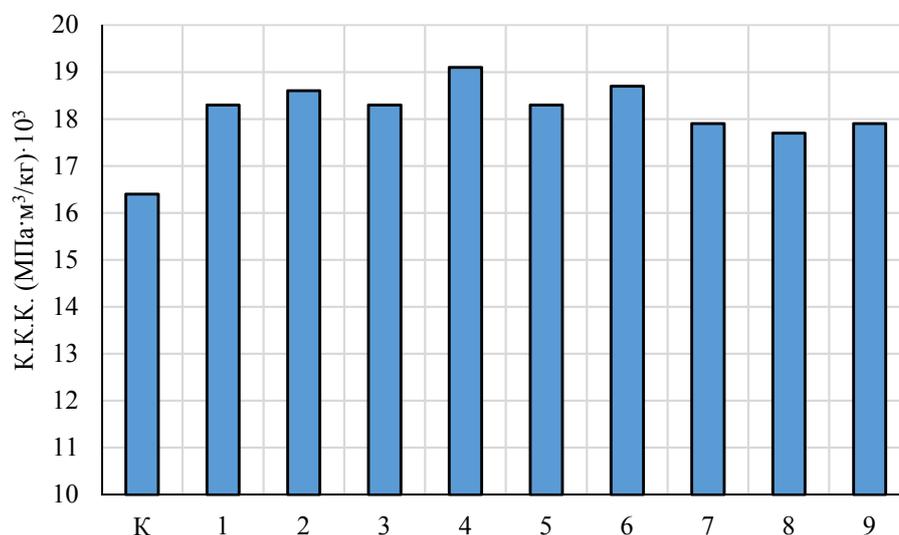


Рис. 3. Изменение коэффициента конструктивного качества облегченного бетона в зависимости от объемных содержаний крупного и мелкого пористых заполнителей (К – контрольный состав; 1, 2...9 – опытные составы)

Анализ полученных результатов свидетельствует о том, что введение в состав тяжелого бетона керамзитового гравия вместо части плотного крупного заполнителя и замена мелкого плотного заполнителя на гранулированный доменный шлак приводят к повышению коэффициента конструктивного качества, то есть снижение прочности при сжатии бетона компенсируется еще более существенным снижением плотности материала, а значит снижением массы.

Максимальное повышение коэффициента конструктивного качества бетона на основе керамзитового гравия, природного щебня и гранулированного доменного шлака наблюдается при замене части крупного плотного заполнителя керамзитового гравия в количестве 60 % от общего объема крупного заполнителя в составе бетонной

смеси и объемного содержания мелкого заполнителя по отношению к смеси крупных заполнителей в количестве 40 %.

Вывод. В результате проведенных исследований нами сделаны следующие выводы. Технология комбинирования заполнителей, то есть замена части плотного заполнителя, в нашем случае щебня из кварцитов пород и кварцевого песка, на пористые, а именно на керамзитовый гравий фракции 10-20 мм и доменный гранулированный шлак, позволяет добиться существенного снижения плотности бетона за счет уменьшения его массы в среднем на 25–30 %. Тем самым повышается коэффициент конструктивного качества таких бетонов.

Прирост коэффициента конструктивного качества бетона на основе керамзитового гравия,

природного щебня и гранулированного доменного шлака в сравнении с контрольным составом составил максимум 15,6 %.

Тем самым, применяя комплексное рецептурное решение, включающее в себя замену части плотных крупного и мелкого заполнителей на пористые, существенно снижается вес конструкции, обеспечивается ресурс- и материалосбережение, а также энергосбережение при производстве и изготовлении таких изделий и конструкций, повышаются прочностные характеристики и достигается положительный эффект при строительстве зданий и сооружений в целом.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Астраханкина О.А. Конструкционные облегченные бетоны на комбинированных заполнителях. дисс. канд. техн. наук. СПб, 1999. 174 с.
2. Абдыкалыков Т.А., Джамаева А.М. Облегченные мелкозернистые бетоны на основе композиционных вяжущих веществ // *Материаловедение*. 2017. № 2(22). С. 20–23.
3. Бугаевский С.А. Применение самоуплотняющегося бетона в технологии устройства облегченных железобетонных перекрытий // *Вестник Харьковского национального автомобильно-дорожного университета*. 2015. № 69. С. 79–90.
4. Савенков А.И., Савенков В.А. Облегченные вариатропные железобетонные перекрытия // *Сборник научных трудов Ангарского государственного технического университета*. 2016. Т. 1. № 1. С. 288–293.
5. Коянкин А.А. Облегченное сборно-монолитное перекрытие // *Вестник МГСУ*. 2017. Т. 12. № 6(105). С. 636–641.
6. Беляев А.В. К расчету трехслойных железобетонных плит перекрытий // *Инженерный вестник Дона*. 2015. № 1-2(34) [Электронный ресурс]. Систем. требования: AdobeAcrobatReader. URL: <http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1p2y2015/2815> (дата обращения: 08.07.2021).
7. Кокорина Д.В., Сумарокова Л.С., Капустин Ф.Л. Подбор состава бетона на безобжиговом зольном гравии // *Энерго- и ресурсосбережение. Энергообеспечение. Нетрадиционные и возобновляемые источники*. Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина. 2017. С. 521–523.
8. Акулова М.В., Исакулов Б.Р., Джумабаев М.Д., Толеуов Т.Ж. Получение мелкозернистого арболитобетона на основе твердых фруктовых отходов // *Научное обозрение*. 2016. № 14. С. 107–115.
9. Гаврилов А.В., Алоян К.Д., Доброхотов В.Б., Придатко Ю.М. Совершенствование технологии получения облегченных бетонов // *Шестьдесят восьмая всеросс. науч.-технич. конф. студентов, магистрантов и аспирантов высших учебных заведений с международным участием: сборник материалов конференции*. Ярославский государственный технический университет. 2015. С. 765–767.
10. Щербинина Е.О., Панова В.Ф., Панов С.А. Бетон для монолитного домостроения с применением вторичноминеральных ресурсов (ВМР) // *Материалы и технологии XXI века: сборник статей XIV Междунар. науч.-технич. конф. Автономная некоммерческая научно-образовательная организация «Приволжский Дом знаний»*. 2016. С. 247–250.
11. Маилян Д.Р., Меретуков З.А., Беляев А.В., Умаров Р.Г. Особенности деформационного расчета трехслойных железобетонных плитных конструкций // *Инженерный вестник Дона*. 2020. № 10. [Электронный ресурс]. Систем. требования: AdobeAcrobatReader. URL: <http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/n10y2020/6641> (дата обращения: 08.07.2021).
12. Лесовик В.С., Мосьпан А.В. Конструкционно-теплоизоляционные прессованные силикатные изделия на гранулированных заполнителях // *Известия КГАСУ*. 2012. № 3(21). С. 144–150.
13. Karaburc S.N., Yildizel S.A., Calis G.C. Evaluation of the basalt fiber reinforced pumice lightweight concrete // *Magazine of Civil Engineering*. 2020. 94(2). Pp. 81–92.
14. Begich Y.E., Klyuev S.V., Jos V.A., Cherkashin A.V. Fine-grained concrete with various types of fibers. // *Magazine of Civil Engineering*. 2020. № 97(5). 9702. [Электронный ресурс]. Систем. требования: AdobeAcrobatReader. URL: <https://doi.org/10.18720/MCE.97.2> (дата обращения: 09.07.2021).
15. Vieira G.B., Petrichenko M.R., Musorina T.A., Zaborova D.D. Behavior of a hollowed-wood ventilated façade during temperature changes // *Magazine of Civil Engineering*. 2018. № 3(79). Pp. 103–111.
16. Карпенко Н.И., Каприелов С.С., Петров А.Н., Безгоднов И.М., Моисеенко Г.А., Степанов М.В., Чилин И.А. Исследование физико-механических и реологических свойств высокопрочных сталефибробетонов из самоуплотняющихся смесей // *Фундаментальные, поисковые и прикладные исследования РААСН по научному обеспечению развития архитектуры, градостроительства и строительной отрасли Российской Федерации в 2017 году: Сборник научных трудов Российской академии архитектуры и строительных наук*. Издательство АСВ. 2018. С. 237–246.

17. Stel'makh S.A., Shcherban E.M., Shuyskiy A.I., Nazhnev M.P. Theoretical and practical aspects of the formation of the variational structure of centrifuged products from heavy concrete // Materials Science Forum. 2018. Т. 931. Pp. 502–507.

18. Stel'makh S.A., Shcherban E.M., Zholobova O.A. Prescription and Technological Aspects of Manufacturing High-Quality Centrifuged Products and Structures from Heavy Concrete // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2018. Т. 463. 022056. [Электронный ресурс]. Систем. требования: AdobeAcrobatReader. URL: <https://doi.org/10.1088/1757-899X/463/2/022056> (дата обращения: 09.07.2021).

19. Холодняк М.Г., Стельмах С.А., Маилян Л.Р., Щербань Е.М., Нажуев М.П. Изучение ха-

рактера механизма дрейфа компонентов бетонной смеси при производстве центрифугированных колонн вариатропной структуры на примере физической модели движения заполнителей // Строительство и архитектура. 2017. Т. 5. № 4. С. 229–233.

20. Щербань Е.М., Стельмах С.А., Холодняк М.Г., Нажуев М.П., Рымова Е.М., Лиев Р.А. Влияние вида заполнителя и дисперсного армирования на деформативность виброцентрифугированных бетонов // Вестник евразийской науки. 2018. № 5. [Электронный ресурс]. Систем. требования: AdobeAcrobatReader. URL: www.esj.today/PDF/51SAVN518.pdf (дата обращения: 09.07.2021).

Информация об авторах

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

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

Жеребцов Юрий Владимирович, магистрант кафедры технологического инжиниринга и экспертизы в стройиндустрии. E-mail: yuri.zherebtsov@gmail.com. Донской государственный технический университет. Россия, 344003, Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, д. 1.

Доценко Наталья Александровна, магистрант кафедры технологического инжиниринга и экспертизы в стройиндустрии. E-mail: natalya_1998_dotsenko@mail.ru. Донской государственный технический университет. Россия, 344003, Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, д. 1.

Самофалова Мария Сергеевна, магистрант кафедры технологического инжиниринга и экспертизы в стройиндустрии. E-mail: mary.ss17@yandex.ru. Донской государственный технический университет. Россия, 344003, Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, д. 1.

Поступила 19.07.2021 г.

© Чернильник А.А., Ельшаева Д.М., Жеребцов Ю.В., Доценко Н.А., Самофалова М.С., 2021

¹*Chernil'nik A.A.*, ²*El'shaeva D.M.*, ²*Zherebtsov Yu.V.*, ²*Dotsenko N.A.*, ²*Samofalova M.S.*

¹*Rostov State Transport University*

²*Don State Technical University*

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

SELECTION OF A RATIONAL RECIPE OF LIGHTWEIGHT CONCRETE ON A MIXTURE OF CERAMSITE GRAVEL, NATURAL CRUSHED STONE AND GRANULAR SLAG

Abstract. *In conditions of dense urban development and a variety of engineering and geological conditions, the use of concretes with a combined aggregate of a rationally selected composition will solve the existing problem of reducing the mass of reinforced concrete structures of buildings and structures and maintaining the required strength and deformability. In this paper, studies have been carried out on the choice of a rational formulation of lightweight concrete based on expanded clay gravel, natural crushed stone and granulated blast furnace slag by varying the volume content of porous coarse aggregate and the volume content of fine aggregate in relation to the mixture. In total, 9 series of prototypes and 1 series of control samples are manufactured and tested. One series of samples includes three cubes with dimensions of 10x10x10 cm. All samples are tested in terms of density and compressive strength, the coefficient of constructive quality is determined.*

The results of the study shows that the introduction of expanded clay gravel into the composition of heavy concrete instead of part of the dense coarse aggregate and the replacement of the fine dense aggregate with granular blast furnace slag leads to an increase in the structural quality factor, that is, a decrease in the compressive strength of concrete is compensated for by an even more significant decrease in the density of the material, and means weight reduction. The increase in the coefficient of constructive quality of concrete based on expanded clay gravel, natural crushed stone and granulated blast-furnace slag in comparison with the control composition is 15,6 %.

Key words: *lightweight concrete, structural quality factor, density, strength, volumetric content, dense aggregate, porous aggregate.*

REFERENCES

1. Astrakhankina O.A. Structural lightweight concrete based on combined aggregates [Konstruktsionnye oblegchennye betony na kombinirovannykh zapolnitelyakh]. SPb, 1999. 174 p. (rus)
2. Abdykalykov T.A., Dzhamayeva A.M. Lightweight fine-grained concrete based on composite binders [Oblegchennye melkozernistyie betony na osnove kompozitsionnykh vyazhushchikh veshchestv]. Materials Science. 2017. No. 2(22). Pp. 20–23. (rus)
3. Bugaevskii S.A. The use of self-compacting concrete in the technology of construction of lightweight reinforced concrete floors [Primenenie samouplotnyayushchegosya betona v tekhnologii ustroystva oblegchennykh zhelezobetonnykh perekrytii]. Bulletin of the Kharkiv National Automobile and Highway University. 2015. No. 69. Pp. 79–90. (rus)
4. Savenkov A.I., Savenkov V.A. Lightweight variatropic reinforced concrete slabs [Oblegchennye variatropnye zhelezobetonnye perekrytiya]. Collection of scientific papers of the Angarsk State Technical University. 2016. Vol. 1. No. 1. Pp. 288–293. (rus)
5. Koyankin A.A. Lightweight prefabricated monolithic floor [Oblegchennoe sborno-monolitnoe perekrytie]. Vestnik MGSU. 2017. Vol. 12. No. 6(105). Pp. 636–641. (rus)
6. Belyaev A.V. To the calculation of three-layer reinforced concrete floor slabs [K raschetu trekhsloinykh zhelezobetonnykh plit perekrytii]. Inzhenernyj vestnik Dona (Rus). 2015. No. 1-2(34). AdobeAcrobatReader. URL: <http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1p2y2015/2815> (date of treatment: 08.07.2021). (rus)
7. Kokorina D.V., Sumarokova L.S., Kapustin F.L. Selection of concrete composition on non-fired ash gravel [Podbor sostava betona na bezobzhigovom zol'nom gravii]. Energo- i resursosberezhenie. Energoobespechenie. Netraditsionnye i vozobnovlyaemye istochniki. Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin. 2017. Pp. 521–523. (rus)
8. Akulova M.V., Isakulov B.R., Dzhumabaev M.D., Toleuov T.Zh. Production of fine-grained wood concrete based on solid fruit waste [Poluchenie melkozernistogo arbolitobetona na osnove tverdykh fruktovykh otkhodov]. Scientific Review. 2016. No. 14. Pp. 107–115. (rus)
9. Gavrilov A.V., Aloyan K.D., Dobrokhoto V.B., Pridatko Yu.M. Improving the technology for producing lightweight concrete [Sovershenstvovanie tekhnologii polucheniya oblegchennykh betonov]. Shest'desyat vos'maya vsereoss. nauch.-tekhnich. konf. studentov, magistrantov i aspirantov vysshikh uchebnykh zavedenii s mezhdunarodnym uchastiem: sbornik materialov konferentsii. Yaroslavl State Technical University. 2015. Pp. 765–767. (rus)
10. Shcherbinina E.O., Panova V.F., Panov S.A. Concrete for monolithic housing construction using recycled mineral resources [Beton dlya monolitnogo domostroeniya s primeneniem vtorichnominer-al'nykh resursov]. Materialy i tekhnologii XXI veka: sbornik statei KhIV Mezhdunar. nauch.-tekhnich. konf. Autonomous non-profit scientific and educational organization "Privolzhskii Dom znaniy". 2016. Pp. 247–250. (rus)
11. Mailyan D.R., Meretukov Z.A., Belyaev A.V., Umarov R.G. Features of the deformation calculation of three-layer reinforced concrete slab structures [Osobennosti deformatsionnogo rascheta trekhsloinykh zhelezobetonnykh plitnykh konstruktsii]. Inzhenernyj vestnik Dona (Rus). 2020. No. 10. AdobeAcrobatReader. URL: <http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/n10y2020/6641> (date of treatment: 08.07.2021).
12. Lesovik V.S., Mos'pan A.V. Structural and heat-insulating pressed silicate products on granular aggregates [Konstruktsionno-teploizolyatsionnye pressovannye silikatnye izdeliya na granulirovannykh zapolnitelyakh]. News of the KSUAE. 2012. No. 3(21). Pp. 144–150. (rus)
13. Karaburc S.N., Yildizel S.A., Calis G.C. Evaluation of the basalt fiber reinforced pumice lightweight concrete. Magazine of Civil Engineering. 2020. No. 94(2). Pp. 81–92.
14. Begich Y.E., Klyuev S.V., Jos V.A., Cherkashin A.V. Fine-grained concrete with various types of fibers. Magazine of Civil Engineering. 2020. No. 97(5). 9702. AdobeAcrobatReader. URL:

<https://doi.org/10.18720/MCE.97.2> (date of treatment: 09.07.2021).

15. Vieira G.B., Petrichenko M.R., Musorina T.A., Zaborova D.D. Behavior of a hollowed-wood ventilated façade during temperature changes. Magazine of Civil Engineering. 2018. No. 3(79). Pp. 103–111.

16. Karpenko N.I., Kaprielov S.S., Petrov A.N., Bezgodov I.M., Moiseenko G.A., Stepanov M.V., Chilin I.A. Investigation of the physical-mechanical and rheological properties of high-strength steel-fiber reinforced concrete from self-compacting mixtures [Issledovanie fiziko-mekhanicheskikh i reologicheskikh svoystv vysokoprochnykh stalefibrobetonov iz samouplotnyayushchikhsya smesei]. Fundamental'nye, poiskovye i prikladnye issledovaniya RAASN po nauchnomu obespecheniyu razvitiya arkhitektury, gradostroitel'stva i stroitel'noi otrasli Rossiiskoi Federatsii v 2017 godu: Sbornik nauchnykh trudov Rossiiskoi akademii arkhitektury i stroitel'nykh nauk. ASV Publishing House. 2018. Pp. 237–246. (rus)

17. Stel'makh S.A., Shcherban E.M., Shuyskiy A.I., Nazhnev M.P. Theoretical and practical aspects of the formation of the variational structure of centrifuged products from heavy concrete. Materials Science Forum. 2018. Vol. 931. Pp. 502–507.

18. Stel'makh S.A., Shcherban E.M., Zholobova O.A. Prescription and Technological Aspects of

Manufacturing High-Quality Centrifuged Products and Structures from Heavy Concrete. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 022056. AdobeAcrobatReader. URL: <https://doi.org/10.1088/1757-899X/463/2/022056>. (date of treatment: 09.07.2021).

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

20. Shcherban' E.M., Stel'makh S.A., Kholodnyak M.G., Nazhnev M.P., Rymova E.M., Liev R.A. Influence of the type of aggregate and dispersed reinforcement on the deformability of vibrocentrifuged concretes [Vliyaniye vida zapolnitelya i dispersnogo armirovaniya na deformativnost' vibrotsentrifugirovannykh betonov]. The Eurasian Scientific Journal. 2018. Vol. 10. No. 5. AdobeAcrobatReader. URL: www.esj.today/PDF/51SAVN518.pdf (date of treatment: 09.07.2021).

Information about the authors

Chernil'nik, Andrei A. Graduate student. E-mail: chernila_a@mail.ru. Rostov State Transport University. Russian Federation, 344038, Rostov-on-Don, Rostovskogo Strelkovogo Polka Narodnogo Opolcheniya Square, 2.

El'shaeva, Diana M. Master student. E-mail: diana.elshaeva@yandex.ru. Don State Technical University Russian Federation, 344003, Rostov-on-Don, Gagarin Square, 1.

Zherebtsov, Yurii V. Master student. E-mail: yuri.zherebtsov@gmail.com. Don State Technical University Russian Federation, 344003, Rostov-on-Don, Gagarin Square, 1.

Dotsenko, Natal'ya A. Master student. E-mail: natalya_1998_dotsenko@mail.ru. Don State Technical University Russian Federation, 344003, Rostov-on-Don, Gagarin Square, 1.

Samofalova, Mariya S. Master student. E-mail: mary.ss17@yandex.ru. Don State Technical University Russian Federation, 344003, Rostov-on-Don, Gagarin Square, 1.

Received 19.07.2021

Для цитирования:

Чернильник А.А., Ельшаева Д.М., Жеребцов Ю.В., Доценко Н.А., Самофалова М.С. Выбор рациональной рецептуры облегченных бетонов на смеси керамзитового гравия, природного щебня и гранулированного шлака // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2021. № 12. С. 34–42. DOI: 10.34031/2071-7318-2021-6-12-34-42

For citation:

Chernil'nik A.A., El'shaeva D.M., Zherebtsov Yu.V., Dotsenko N.A., Samofalova M.S. Selection of a rational recipe of lightweight concrete on a mixture of ceramsite gravel, natural crushed stone and granular slag. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2021. No. 12. Pp. 34–42. DOI: 10.34031/2071-7318-2021-6-12-34-42

DOI: 10.34031/2071-7318-2021-7-12-43-53

Гульбинас А.С., Широкова Д.Н.Тюменский индустриальный университет***E-mail: gulbinasas@tyuiu.ru*

ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМЫ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СВЕТОТЕХНИЧЕСКОГО РЕЖИМА

Аннотация. В статье представлены результаты исследования системы организации и функционирования светотехнического режима. Объектом исследования является категория «светотехнический режим». Применяется символичный метод научного познания «пентаграмма у-син» и указанная категория рассматривается как некоторая система. Целью исследования является определение компонентов системного объекта, выявление закономерной системы функционирования объекта, изучение и анализ форм отношений, возникающих между компонентами категории. Предложена схема, на которой отображен жизненный цикл категории «светотехнический режим». На основании последовательности формирования потребностей в создании светотехнического режима в помещении выделены пять основных компонентов системы: инвестиционные вложения; количественные характеристики; качественные характеристики; энергетические характеристики; техобслуживание и особенности эксплуатации. В соответствии с разработанной схемой проанализированы характеристики осветительных установок и объемно-планировочные решения в основных помещениях дошкольных образовательных организаций. Приоритетными для указанных помещений компонентами являются энергетические характеристики. Соблюдение количественных показателей зависит от эффективности технического обслуживания. Потребности эстетического и эмоционального удовлетворения являются второстепенными, значительных затрат не предусматривается. Таким образом, можно судить, что в представленных помещениях развитие категории «светотехнического режима» идет по пути патологических ограничений. Сделан вывод о формах организации компонентов категории «светотехнический режим», о влиянии отношений компонентов (поддержка или ограничение) на эффективность работы осветительной установки. Результаты исследований могут быть использованы в дальнейшем при обследовании качества световой среды и мониторинге светотехнического режима в помещениях.

Ключевые слова: светотехнический режим, качественные и количественные характеристики, осветительная установка, энергоэффективность, категориально-символичный метод «пентаграмма у-син».

Введение. Естественное освещение является гармоничным и биологически эффективным. При недостаточности такого освещения в помещении добавляется искусственное освещение. Гигиеническими требованиями к искусственному освещению являются достаточность, равномерность, близость к спектральному составу солнечного света, отсутствие ослепляющего действия и отсутствие блескости [1, 2]. В соответствии ГОСТ ИСО 8995-2002 «Принципы зрительной эргономики. Освещение рабочих систем внутри помещений» большое влияние на качество воспринимаемой зрительной информации и, следовательно, на производительность и эффективность работы персонала оказывают объемно-планировочные решения помещения, рабочее пространство, светотехнический режим и особенности человеческого организма.

В настоящее время роль искусственного освещения очень высока. Неоспоримым фактом является воздействие искусственного освещения на глаза человека, и особенно детей. При неблагоприятных условиях световой среды увеличиваются риски ухудшения зрения и самочувствия

[3–6]. Совершенствование светотехнического режима в помещениях направлено на поиск оптимальных решений по созданию и содержанию осветительных установок (далее ОУ), поддерживающих зрительную систему и общее состояние организма человека на должном уровне. Оценка качества и безопасность световой среды в помещении проводится в рамках проведения специальной оценки условий труда на основании Р 2.2.2006-05 «Гигиена труда. Руководство по гигиенической оценке факторов рабочей среды и трудового процесса. Критерии и классификация условий труда». Инструментальные измерения проводят согласно ГОСТ 24940-2016 «Здания и сооружения. Методы измерения освещенности» и учитывают такие характеристики ОУ, как: уровень освещенности, яркость, сравнение фактического и нормируемого уровня освещенности и другие [1].

Искусственное освещение становится все более биологически и человекоориентированным. Разрабатываются и внедряются в жизнь световые приборы с возможностью изменения цве-

товой температуры, с возможностью диммирования, осветительные установки с автоматическим управлением и возможностью автоматизации. Исследования, проводимые в области проектирования и внедрения осветительных установок с использованием динамического освещения и близких по характеристикам и даже заменяющих естественное освещение [7–12], показывают актуальность данной тематики.

Использование экономически эффективных мер в свою очередь является одной из стратегий, сформулированных международным сообществом в целях сокращения объема потребления энергии зданиями [13]. Энергетические характеристики систем освещения зданий являются также значимыми. Принятие Федерального закона от 23.11.2009 г. № 261-ФЗ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» поставило перед организациями задачи, связанные с обеспечением рационального использования энергетических ресурсов и принятие мер, направленных на повышение энергоэффективности. Исследования в рамках энергетической эффективности проводятся в основном по следующим аспектам: внедрение энергетически эффективных технологий и источников света и мониторинг энергоэффективности осветительных установок [14–17].

Расчет, проектирование систем освещения, соблюдение гигиенических нормативных требований, энергетическая эффективность, оценка качества световой среды и эффективность технического обслуживания осветительных установок являются элементами категорий «светотехнический режим», но изучаются в настоящее время по отдельности в различных областях науки: светотехника, энергосбережение, инженерно-технические системы зданий и других. Возможность изучения объекта в целом, а не только отдельно ее составляющих, является актуальной задачей для исследования.

Материалы и методы. Методология исследования основана на системно-категориальном подходе, и предполагается, что категория «светотехнический режим» - составной объект, свойства которого не сводятся к сумме свойств его компонентов. В рамках системного подхода можно детально исследовать каждую часть объекта по отдельности и проследить взаимосвязи, появляющиеся в процессе функционирования. Достоинством выбранного подхода является изучение объекта в виде структурной схемы, в которой отражается сам объект, как целое, и части объекта.

Целью исследования является анализ форм отношений (система функционирования) частей объекта, возникающих между компонентами категории «светотехнический режим». Для решения поставленной задачи использован символичный метод. Такие методы для познания объекта исследования позволяют запустить механизм визуального мышления по определенным схемам, трансформируют символ таким образом, что дают возможность графическим способом представить объект исследования и взаимосвязь элементов [18], что и приводит к возможности проанализировать материал и выполнить преобразование [19]. Символьные методы познания позволяют выделить в объекте главное, обнаружить составляющие его элементы, показать их взаимосвязь. Кроме этого графическая информация, используемая в символических методах для реализации функции обобщения и абстрагирования, обладает свойством поддерживать процессы мышления, выступает средством графического моделирования и визуализации [20]. Исследования с применением символических методов показывают эффективность в разных областях научного знания, таких как психология, педагогика, философия и других [19–22].

Одним из таких символических методов системного научного подхода можно назвать метод «пентаграмма у-син». Пентаграмма может представлять собой правильный пятиугольник или звезду, в углах которого располагаются элементы.

Процесс работы над пентаграммой состоит из нескольких этапов, в числе которых выделяем следующие [18, 20]:

1. Вычленяются главные элементы – признаки, подлежащие отражению в вершинах пентаграммы и соответствующие характеру первоэлемента.
2. Выявляются отношения между этими элементами и последовательность возникновения или порождения.
3. Определяется единственный ресурс, способствующий возникновению каждого элемента.
4. Создается схема пентаграммы – графическое отображение категории и компонентов, анализируются результаты.

Основная часть. Ресурсом создания эффективного светотехнического режима в помещении является главная потребность человека в дополнительном искусственном освещении в помещениях зданий для выполнения зрительных задач. Второстепенными потребностями могут стать: 1 – потребности в финансовых и материальных затратах при выполнении главной потребности; 2 – потребности сохранения окружающей среды и

здоровья человека; 3 – удовлетворение эстетических и эмоциональных потребностей.

Все первоначальные элементы расположены в вершинах пятиугольника (пентаграммы) и им соответствуют представленные компоненты. Схема (рис. 1) графически отображает жизненный цикл категории «светотехнический режим» и предполагает существование начала и окончания процесса. Эти компоненты находятся в равновесии в разной степени важности и с разными

пропорциями. С этой точки зрения категория «светотехнический режим» представляется как эволюционирующий объект. Начальным компонентом функционирования выступают инвестиционные вложения – происходит появление светотехнического режима. А затем объект проходит последовательно по вершинам пентаграммы, обретая новые качества.

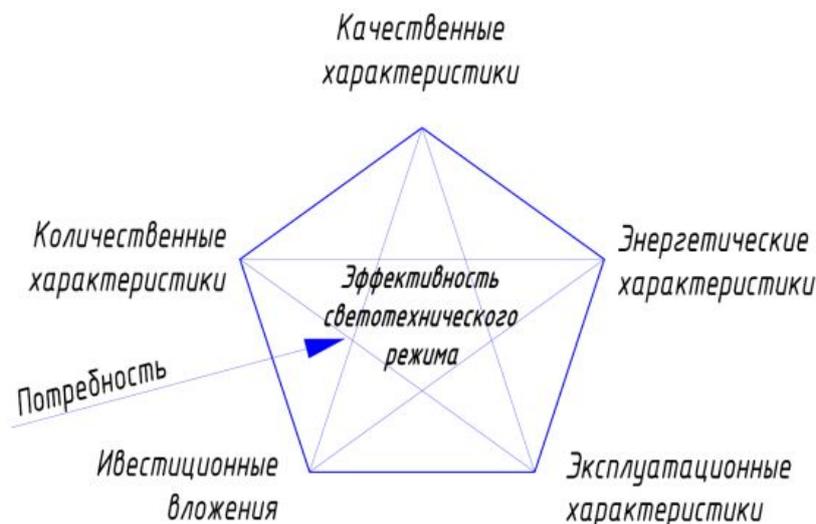


Рис. 1. Категория «светотехнический режим» представленная по методу «пентаграмма у-син»

«Начальный элемент, бесформенный источник множества форм» [18] представлен компонентом инвестиции. Инвестиционные затраты – это некоторые расходы, связанные с реализацией и существованием ОУ. Именно инвестиционные затраты являются началом создания материального объекта из умозрительных потребностей и обеспечивают работоспособность объекта в период эксплуатации.

«Расцвет объекта, выход процесса из внутреннего состояния во внешнюю среду» [18] представлен компонентом количественные характеристики. Функционирование систем освещения без достижения определенных количественных характеристик невозможно. При проектировании освещения в помещении (выбор осветительного оборудования и источников света) должны учитываться такие характеристики, как уровень освещенности (на вертикальной и горизонтальной поверхности), световой поток, световая отдача, яркость и другие (Свод Правил «СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95*», 2016 г.).

«Активный и самый ресурсозатратный элемент» [18] – качественные характеристики. Качественные характеристики, такие как цветовая температура, цветопередача и прочие, в том числе такие характеристики, которые отвечают

за внешний вид осветительного прибора, светораспределение, персонализированные настройки (например, диммирование светового потока, изменение цветовой температуры) необходимы для визуального комфорта и удобства эксплуатации систем освещения. Именно такие качественные характеристики могут удовлетворить эстетические и эмоциональные потребности человека. Проектирование качественных параметров является персонализированным и поэтому достаточно затратным.

«Элемент, выступающий в качестве оси баланса» [18] – энергетические характеристики, в связи с необходимостью соблюдения потребностей общества в сохранении окружающей среды. Количественные и качественные характеристики необходимо оптимизировать с учетом характеристик энергетической эффективности систем освещения. В качестве рассматриваемых характеристик могут выступать такие как автоматическое или индивидуальное управление освещением, удельное и фактическое потребление электроэнергии на цели освещения и другие.

«Итоговый, завершающий элемент» [18] представлен компонентом эксплуатационные характеристики. Эксплуатационная эффективность системы освещения, является гарантом долговечной и эффективной работой. Соблюдение запро-ектированных светотехнических параметров при

эксплуатации помещений является важной задачей. Здесь представляют интерес такие характеристики, как режим работы освещения, срок службы и возраст источников света, частота технического обслуживания и чистки световых приборов, сравнение фактического и нормируемого уровня освещенности и другие.

Символьный метод «пентаграмма у-син» рассматривает два возможных типа отношений между элементами: прямая и обратная поддержка; прямое и обратное ограничение.

Прямая и обратная поддержка. В случае, когда элементы расположены в порядке цикла порождения потребностей (рис. 2, а) от необходимости создания эффективного светотехнического режима, начиная с начальной точки (инвестиционные вложения), проявляются отношения прямой поддержки: каждый последующий компонент пентаграммы поддерживает предыдущий:

- Создание светотехнического режима с определенными количественными характеристиками базируется на существовании некоторого финансирования и удовлетворяет потребности человека или общества в материальных (световое оборудование) и финансовых (денежные средства) инвестициях.

- Эстетическую и эмоциональную потребность возможно удовлетворить при выполнении требуемых качественных характеристик осветительной установки, величины которых связаны с эффективными количественными характеристиками.

- Для оптимизации проектных решений по количественным и качественным характеристикам необходимо соблюдение энергетических характеристик.

- Эксплуатационные характеристики «держат в руках» энергетические характеристики, так как эксплуатационные затраты связаны с эффективностью работы осветительной установки и потребляемой для освещения электрической энергией.

- Инвестиционные вложения определяются эффективностью работы ОУ при эксплуатации.

Когда элементы расположены в отношении обратной (патологической) поддержки, выявляется неэффективность в удовлетворении потребностей (рис. 2, б). Эксплуатационные характеристики определяют некоторую проблему в эффективности работы светотехнического режима, например, высокие платежи, невозможность покупки источников света для замены и прочее. Энергетическая эффективность и характеристики потребления электроэнергии подтверждают проблему неэффективности. Качественные характеристики, находящиеся в зоне эстетического и эмоционального удовлетворения при неэффективной эксплуатации (отсутствие равномерности, несоответствие цветопередачи и прочее) также начинают вызывать сомнения пользователей и удовлетворение потребностей не происходит. Снижается эффективность и количественных характеристик. Появляется потребность в инвестициях для начала запуска цикла реконструкции или полной замены системы освещения.

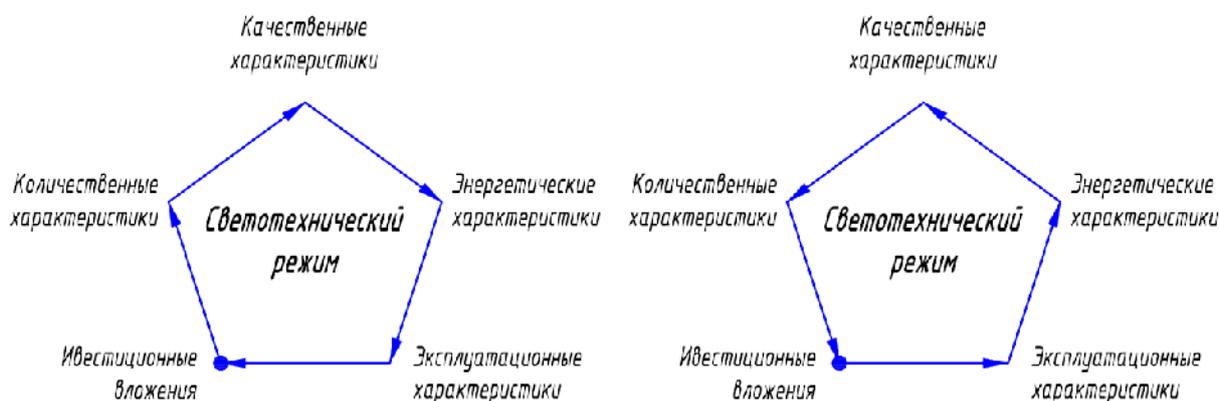


Рис. 2. Отношения прямой (а) и обратной (б) поддержки категории «светотехнический режим»

Прямое и обратное ограничение. Ограничения появляются в зависимости от потребностей человека или общества, при ограничении или при увеличении значимости некоторых компонентов категории «светотехнический режим». Развитие происходит по траектории пятиконечной звезды по ходу часовой стрелки (отношения прямого ограничения) или против хода часовой стрелки

(отношения обратного ограничения) от начальной точки.

Прямое ограничение происходит (рис. 3, а), когда инвестиционные вложения перетекают в удовлетворение эстетических и эмоциональных потребностей человека: эстетика световых приборов, индивидуальное управление каждым прибором, высокая цветопередача и прочее. Такое

прямое ограничение между компонентами чаще всего наблюдается в частных домашних интерьерах, значимых и культовых общественных зданиях (театры, загсы, холлы музеев и прочее). В таких помещениях потребности в сохранении окружающей среды и здоровья человека (ось ста-

бильности количественные и энергетические характеристики) не являются обязательными. В таких помещениях человека необходимо завлечь, заинтриговать и показать все особенности функционала помещения, в том числе при помощи освещения.

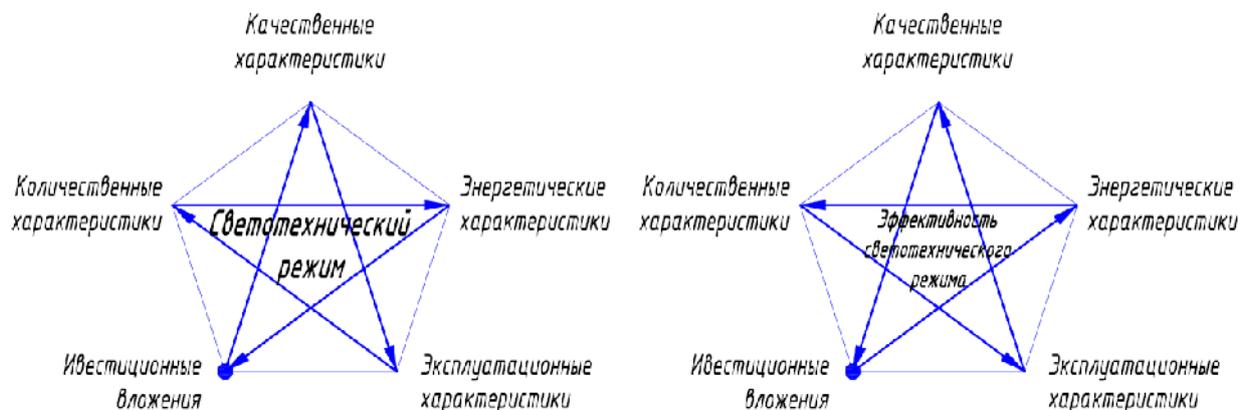


Рис. 3. Отношения прямого (а) и обратного ограничения (б) категории «светотехнический режим»

Обратные или патологические ограничения (рис. 3, б) возникают, когда происходит увеличение значимости характеристик энергетической эффективности, в том числе из-за нормативных требований и потребностей сохранения окружающей среды. После компонента энергетические характеристики по траектории пятиконечной звезды против часовой стрелки следуют количественные характеристики. Количественные характеристики при значительном увеличении значимости энергетических характеристик могут быть неосознанно сведены на минимум (частичное выключение световых приборов, использование источников света с меньшим световым потоком) для сохранения оси баланса. Следующим компонентом, поддерживающим количественные характеристики при эксплуатации системы освещения с повышенными требованиями энергоэффективности, становятся эксплуатационные характеристики: возникает потребность в эффективности эксплуатации, текущем техобслуживании и прочие. И только затем происходит осознание необходимости удовлетворения эстетических и эмоциональных потребностей: качественные характеристики поддерживают эксплуатационные характеристики и требуют дополнительных финансовых вложений. Такие обратные ограничения можно наблюдать в помещениях муниципальных образовательных и спортивно-оздоровительных организаций. Ежегодно такие организации должны добиваться сокращения потребления электроэнергии на 3 % от показателей предыдущего года.

Обсуждение. Рассмотрим на примерах (табл. 1) взаимодействие компонентов символического метода «пентаграмма у-син». В основных помещениях (групповые и игровые помещения) зданий дошкольных образовательных организаций (далее помещения ДОО) были проведены обследования в соответствии с МУК 4.3.2812–10 «Инструментальный контроль и оценка освещения рабочих мест». Помещения ДОО располагаются в различных зданиях. Реконструкция систем освещения в течение прошедших 5 лет была проведена только в одном из помещений. Подготовка к обследованию (замена неработающих источников света) не производилась. В помещениях установлены различные осветительные установки с применением светодиодных или люминесцентных источников света. Во всех помещениях были определены уровни освещенности (в соответствии с ГОСТ 24940-96. «Здания и сооружения. Методы измерения освещенности»), типы и характеристики осветительных приборов и особенности цветового и объемно-планировочного решения помещений. Для каждого помещения были определены максимально допустимые удельные установленные мощности в зависимости от индекса помещения и нормируемого уровня освещенности (в соответствии с СП 52.13330.2016 «Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95*», далее СНиП), произведены расчеты энергетических характеристик, инвестиционных и финансовых затрат.

Таблица 1

Характеристики осветительных установок и объемно-планировочных решений помещений

Наименование характеристики	Номер помещений				
	№1	№2	№3	№4	№5
Особенности объемно-планировочных решений помещений, характеристики осветительных приборов (ОП) и источников света (ИС)					
Площадь помещения, м ²	58,8	48,8	48,5	72,9	58,3
Индекс помещения	1,2	1,1	1,2	1,4	1,2
Условия окружающей среды в помещениях (СНиП)	Нормальные	Нормальные	Нормальные	Нормальные	Нормальные
Разряд и подразряд зрительной среды (СНиП)	II-a	II-a	II-a	II-a	II-a
Вид ОП	Потолочный	Потолочный	Встраиваемый	Потолочный	Потолочный
Рассеиватель ОП	Зеркальная экранизирующая решетка	Призматический рассеиватель	Опаловый рассеиватель	Опаловый рассеиватель	Опаловый рассеиватель
Тип ИС / Номинальная мощность ИС, Вт	ЛЛ, Т8 / 18	ЛЛ, Т8 / 36	LED / 16	ЛЛ, Т8 / 18	ЛЛ, Т8 / 36
Количество ИС в ОП / Количество ОП в помещении, шт.	4 / 10	2 / 12	1 / 10	4 / 10	2 / 5
Инвестиционные и финансовые затраты					
Стоимость оборудования (ОП без ИС) в ценах 2021г., руб. за шт./всего для помещения	7000 / 70000	5300 / 63600	5100 / 51000	5400 / 54000	6200 / 31000
Тариф на электроэнергию для пиковой зоны (руб./кВтч) в ценах 2021г.	3,04	3,04	3,04	3,04	3,04
Затраты на электроэнергию в год, руб.	5806,40	6931,20	1276,80	5806,40	2888,00
Затраты на электроэнергию в год, руб./м ²	98,75	142,03	26,33	79,65	49,53
Количественные характеристики: уровень освещенности					
Средний Еср / Нормируемый Еср, лк	300 / 300	250 / 300	300 / 300	150 / 300	120 / 300
Качественные характеристики осветительных приборов (ОП) и источников света (ИС)					
Цветопередача ИС	70	70	80	70	70
Цветовая температура, К	6500 и 3000	6500	6500	6000	6500
Возможность управления	Мануальное	Мануальное	Мануальное	Мануальное	Мануальное
Энергетические характеристики					
Суммарная установленная мощность, кВт	0,72	0,86	0,16	0,72	0,36
Удельная мощность энергопотребления по установленной мощности, Вт/м ²	12,2	21,3	3,3	11,9	7,4
Максимально допустимая удельная установленная мощность (СНиП), Вт/м ²	10	11	10	9	10
Суммарный объем потребления электроэнергии, тыс. кВт за год	1,91	2,28	0,42	1,91	0,95
Техобслуживание и особенности эксплуатации					
Уборка пыли, протирание поверхностей	Два раза в год	Два раза в год	Два раза в год	Два раза в год	Два раза в год
Замена источников света	Персоналом ДОО	Персоналом ДОО	Персоналом ДОО	Персоналом ДОО	Персоналом ДОО
Количество часов работы в день/ в год	10,2 / 2652	10,2 / 2652	10,2 / 2652	10,2 / 2652	10,2 / 2652
Тип ПРА	ЭмПРА	ЭмПРА	Драйвер	ЭмПРА	ЭмПРА

В таблице 1 приведены характеристики осветительных установок (далее ОУ) и объемно-планировочных решений помещений. Все характеристики ОУ распределены в соответствии с «пентаграммой у-син»: техобслуживание и особенности эксплуатации, в том числе характеристики осветительных приборов (далее ОП) и источников света (далее ИС); качественные характеристики; количественные характеристики; энергетические характеристики и инвестиционные вложения. При проведении замеров и составлении таблицы были приняты некоторые допущения: принято значение «эквивалентного уровня напряжения», под которым понимают неизменное по значению напряжение; фактический средний уровень освещенности округлялся до целых значений рядов освещенности; информация по техническому обслуживанию и особенностей эксплуатации приведена со слов заведующих хозяйством ДОО; финансовые затраты приведены к стоимостным значениям подобных приборов в ценах 2021 г.

Для анализа данных таблицы 1 рассмотрим элементы системы под призмой разработанной выше пентаграммы.

1. При сравнении фактического среднего уровня освещенности с нормативными (ГОСТ Р 55710–2013. «Национальный стандарт Российской Федерации. Освещение рабочих мест внутри зданий. Нормы и методы измерений»), делаем вывод, что в помещениях № 2, № 4 и № 5 фактический средний уровень значительно меньше нормативного.

2. При сравнении энергетических характеристик (удельная мощность энергопотребления по установленной мощности) с нормативными можно сделать вывод, что удельная мощность энергопотребления только в помещениях № 3 и № 5 не превышает нормативных значений (СП 52.13330.2016 «Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95*»).

3. Анализируем качественные характеристики ОУ. В помещениях № 1, № 2, № 3 и № 5 ОУ не проходят по параметрам цветопередачи (должно быть равным или более 80 в соответствии с ГОСТ Р 55710–2013 «Национальный стандарт Российской Федерации. Освещение рабочих мест внутри зданий. Нормы и методы измерений») и использованию электромагнитной пускорегулирующей аппаратуры (СП 52.13330.2016 «Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95*»). Только в помещении № 4 указанные качественные параметры учтены, но ОУ выпол-

нена с использованием светодиодных источников света: при этом в соответствии с СП 52.13330.2016 «Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95*» не рекомендуется использование светодиодных источников света в основных помещениях ДОО (групповые и игральные). Таким образом, можно судить, что все пять помещений не соответствуют полностью или частично нормативным требованиям по соответствию качественных характеристик и требуют полной или частичной реконструкции ОУ.

4. Анализируем техническое обслуживание ОУ. Замена источников света и дополнительного оборудования производится по мере их непригодности или выхода ИС из строя и наличия в организации (на момент обследования лампы не были заменены, наблюдалось несоответствие уровня освещенности нормативным параметрам), отсутствует автоматическое управление освещением, замена источников невозможна в рабочее время в связи с присутствием детей в помещении и производится в основном самостоятельно силами организации. Стоимость затрат на техническое обслуживания ОУ не установлена.

5. Анализируя финансовые затраты по стоимости оборудования в ценах одного поставщика и затраты на электроэнергию, делаем вывод о примерно равных инвестиционных затратах на покупку оборудования в начале цикла. В свою очередь затраты на электроэнергию в помещении № 3 значительно ниже в связи с использованием в нем энергетически эффективных светодиодных источников света.

Таким образом, можно судить, что в представленных помещениях ДОО развитие категории «светотехнического режима» идет по пути патологических ограничений. Светотехнический режим внедряется в помещения ДОО для удовлетворения человеческих потребностей в достаточности освещения. Соблюдение количественных и энергетических характеристик является осью баланса и определяется потребностями человека в сохранении окружающей среды и своего здоровья. Приоритетными для помещений ДОО компонентами являются энергетические характеристики: показатели энергоэффективности (по всему энергохозяйству объекта) ежегодно декларируются. Соблюдение количественных показателей ОУ зависит от эффективности техобслуживания. Эффективность технического обслуживания базируется на возможностях управления ОУ, основных характеристиках световых приборов, источников света и их качественных характеристиках. Потребности эстетического и эмоционального удовлетворения, за которые и отвечают качественные характеристики, для помещений

ДОО в таких отношениях обратного ограничения являются второстепенными, значительных затрат не предусматривается.

Выводы.

1. Светотехнический режим помещений рассматривается как некоторая система. Формирование (порождение) и развитие (эксплуатация) светотехнического режима в помещении представляет собой цикл эволюционного движения.

2. Удовлетворение потребности общества и человека в необходимости дополнительного искусственного освещения формирует и развивает категорию «светотехнический режим», и является тем ресурсом, который обеспечивает системе устойчивость, определяет путь развития системы и предусматривает как нормальный (прямой), так и патологический (обратный) вариант развития в зависимости от наличия или дефицита ресурса.

3. Функционирование категории «светотехнический режим» позволяет определить отношения, возникающие между ее элементами, а именно отношения поддержки и ограничения.

Таким образом, полученные результаты исследования могут быть использованы в дальнейшем при обследованиях качества световой среды и мониторинге светотехнического режима в помещениях, для разработки концепций планирования, полной или частичной реконструкции ОУ, полагаясь не только на нормативные требования, но и на потребности общества и человека, эффективно распределяя ресурсы между компонентами объекта. С помощью модели, построенной на знании возникающих отношений между элементами пентаграммы, можно значительно снизить риски ошибок и обеспечить максимальную эффективность светотехнического режима в помещении.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Айзенберг Ю.Б., Босс Г.В. Справочная книга по светотехнике: ред. 4-е изд. перераб. и доп. М.: Автор. 2019. 892 с.

2. Waldorf J. Licht. Wissen. 01: Die Beleuchtung mit kuenstlichem Licht // Foerdergemeinschaft Gutes Licht, Uhure Digital, Berlin. 2016. 60 с. [Электронный ресурс]. Систем. требования: AdobeAcrobatReader. URL: https://www.licht.de/fileadmin/Publikationen_Downloads/1603_lw01_Kuenstliches-Licht_web.pdf (дата обращения: 05.05.2021).

3. Баранов А.А., Кучма В.Р., Сухарева Л.М. Состояние здоровья современных детей и подростков и роль медико-социальных факторов в его формировании // Вестник РАМН. 2009. № 5. С. 6–11.

4. Слайни Д.Х. Влияние новых светотехнических приборов на здоровье и безопасность людей // Светотехника. 2010. №4. С.49-50

5. Зак П.П., Островский М.А. Потенциальная опасность освещения светодиодами для глаз детей и подростков людей // Светотехника. 2012. №3. С.4-6

6. Капцов В.А., Дейнего В.Н. Синий свет светодиодов – новая гигиеническая проблема // Анализ риска здоровью. 2016. № 1 (13). С. 15–25

7. Häfliger R., Schrader B., Stampfli J. Erfahrungsbericht: Licht und Kommunikation in der Pflege: Planung und Betrieb dynamischer Lichtdecken // Hochschule Luzern, Technik & Architektur. 2019. 50 с. [Электронный ресурс]. Систем. требования: AdobeAcrobatReader. URL: https://www.age-stiftung.ch/fileadmin/user_upload/Projekte/2013/048/2019_Age_I_2013_048.pdf (дата обращения: 05.05.2021).

8. Lachner A., Weidenfeld S., Schutzbach F. Biodynamische Beleuchtung - Die Wirkung von Licht auf den Menschen in Hinblick auf anwendungsspezifische Umsetzungen biologisch wirksamer Beleuchtung in der Praxis // aw&I Conference. 2018. Vol. 3.

9. Knoop M., Stefani O., Bueno B., Matusiak B., Hobday R., Wirz-Justice A., Norton B. Daylight: What makes the difference? // Lighting Research & Technology. 2020. Vol. 52(3). Pp. 423–442.

10. Дейнего В., Капцов В. Современные концептуальные бренды конструкций полупроводниковых источников света. Часть 2. Гигиеническая оценка спектров // Полупроводниковая светотехника. 2019. №. 6. С. 34–43

11. Микаева С.А., Ашрятов А.А., Вишневский С.А. Опыт разработки световых приборов с изменяемым спектром излучения //Справочник. Инженерный журнал с приложением. 2017. №. 2. С. 50-56.

12. Патент № 2566077 С1 Российская Федерация, МПК А61N 5/06. Способ управления динамическим освещением : № 2014105720/12 : заявл. 18.02.2014 : опубл. 20.10.2015 / А. А. Дубов; заявитель Общество с ограниченной ответственностью "Трейдматик"

13. Кавешников Н.Ю. Политика Европейского союза в области энергосбережения // Вестник МГИМО университета. 2014. №. 4 (37)

14. Dubois M., Bisegna F., Gentile N., Knoop M., Matusiak B., Osterhaus W., Tetri, E. Retrofitting the Electric Lighting and Daylighting Systems to Reduce Energy Use in Buildings: A Literature Review // Energy Research Journal. 2015. Vol. 6(1). Pp. 25-41.

15. Микаева С.А., Микаева А.С. Экспериментальные исследования характеристик пер-

спективных источников света, приборов и систем: монография. М.: Изд-во Русайнс, 2017. 136 с.

16. Gulbinas A., Petuhova V. The energy efficient lighting in kindergartens // E3S Web of Conferences. EDP Sciences. 2019. Vol. 91. Pp. 05014.

17. Гульбинас А.С., Широкова Д.Н. Совершенствование светотехнического режима в помещениях муниципальных дошкольных организаций с целью повышения энергоэффективности // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. 2021. № 2(17). С. 37–47.

18. Боуш Г.Д., Разумов В.И. Методология научного исследования (в кандидатских и докторских диссертациях): учебник. М.: Инфра-М, 2020. 227 с.

Информация об авторах

Гульбинас Александра Сергеевна, ассистент кафедры начертательной геометрии и графики. E-mail: gulbinasas@tyuiu.ru. Тюменский индустриальный университет. Россия, 625000, Тюмень, ул. Володарского, д. 38.

Широкова Динара Наилевна, кандидат биологических наук, доцент кафедры техносферной безопасности. E-mail: shirokovadn@tyuiu.ru. Тюменский индустриальный университет. Россия, 625000, Тюмень, ул. Володарского, д. 38.

Поступила 31.05.2021 г.

© Гульбинас А.С., Широкова Д.Н., 2021

***Gulbinas A.S., Shirokova D.N.**
Industrial University of Tyumen/ IUT
*E-mail: gulbinasas@tyuiu.ru

RESEARCH OF THE FUNCTIONING SYSTEM OF THE LIGHTING MODE

Abstract. The article presents the results of a study carried out within the framework of a systematic approach using the "Wu Xing pentagram" symbolic method. The object of the research is the category of "lighting mode". The indicated category as a certain system are used. A diagram showing the life cycle of the "lighting mode" category is proposed. Five main components of the system have been identified based on the sequence of the formation of needs in the creation of a lighting regime in the room: investment, quantitative characteristics, quality characteristics, energy characteristics, maintenance and operating features. The characteristics of lighting installations and space-planning solutions in the main premises of preschool educational organizations are analyzed. The priority components for these premises are energy characteristics. Compliance with quantitative indicators depends on the efficiency of maintenance. The needs of aesthetic and emotional satisfaction are secondary, significant costs are not provided. Thus, it can be judged that in the premises presented, the development of the category of "lighting mode" follows the path of pathological restrictions. As a result, a conclusion is made about the mechanism of functioning of the "lighting mode" category in accordance with the relations arising between its elements, namely, the relations of support or restriction. The research results can be used in the future when examining the quality of the light environment and monitoring the lighting conditions in the premises.

Keywords: lighting mode, qualitative and quantitative characteristics, lighting installation, energy efficiency, categorical-symbolic method "Wu Xing pentagram".

REFERENCES

1. Eisenberg Yu.B., Boss G.V. Reference book on lighting technology [Spravochnaya kniga po svetotekhnike]. Ed. 4th ed. revised and add. Moscow: Author. 2019. P. 892. (rus)
2. Waldorf J. Licht.Wissen. 01: Die Beleuchtung mit kuenstlichem Licht. Foerdergemeinschaft Gutes Licht, Uhure Digital, Berlin. 2016. P. 60. AdobeAcrobatReader. URL: https://www.licht.de/fileadmin/Publikationen_Downloads/1603_lw01_Kuenstliches-Licht_web.pdf (date of treatment: 05.05.2021)

3. Baranov A.A., Kuchma V.R., Sukhareva L.M. The state of health of modern children and adolescents and the role of medical and social factors in its formation [Sostoyaniye zdorov'ya sovremennykh detey i podrostkov i rol' mediko-sotsial'nykh faktorov v yego formirovani]. Vestnik RAMN. 2009. No. 5. Pp. 6–11. (rus)
4. Slayni D.Kh. Influence of new lighting devices on human health and safety [Vliyaniye novykh svetotekhnicheskikh priborov na zdorov'ye i bezopasnost' lyudey]. Light & Engineering. 2010. No. 4. Pp. 49–50. (rus)
5. Zak P.P., Ostrovsky M.A. Potential danger of illumination by LEDs for the eyes of children and adolescents [Potentsial'naya opasnost' osveshcheniya svetodiodami dlya glaz detey i podrostkov lyudey]. Light & Engineering. 2012. No. 3. Pp. 4–6. (rus)
6. Kaptsov V.A. Deinogo V.N. Blue LED Light - A New Hygiene Problem [Siniy svet svetodiodov – novaya gigiyenicheskaya problema]. Health Risk Analysis. 2016. Vol. 1 (13). Pp. 15–25. (rus)
7. Häfliger R., Schrader B., Stampfli J. Erfahrungsbericht: Licht und Kommunikation in der Pflege: Planung und Betrieb dynamischer Lichtdecken. Hochschule Luzern, Technik & Architektur. 2019. P. 50. AdobeAcrobatReader. URL: https://www.age-stiftung.ch/fileadmin/user_upload/Projekte/2013/048/2019_Age_I_2013_048.pdf (date of treatment: 05.05.2021)
8. Lachner A., Weidenfeld S., Schutzbach F. Biodynamische Beleuchtung - Die Wirkung von Licht auf den Menschen in Hinblick auf anwendungsspezifische Umsetzungen biologisch wirksamer Beleuchtung in der Praxis. aw&I Conference. Vol. 3. 2018.
9. Knoop M., Stefani O., Bueno B., Matusiak B., Hobday R., Wirz-Justice A., Norton B. Daylight: What makes the difference? Lighting Research & Technology. 2020. Vol. 52(3). Pp.423–442.
10. Deinogo V., Kaptsov V. Modern conceptual brands of designs of semiconductor light sources. Part 2. Hygienic assessment of spectra [Sovremennyye kontseptual'nyye brendy konstruksiy poluprovodnikovykh istochnikov sveta. Chast' 2. Gigiyenicheskaya otsenka spektrov]. Semiconductor lighting technology. 2019. No. 6. Pp. 34–43. (rus)
11. Mikaeva S.A., Ashryatov A.A., Vishnevsky S.A. Experience in the development of light devices with a variable radiation spectrum [Opyt razrabotki svetovykh priborov s izmenyayemym spektrom izlucheniya]. Handbook. Engineering journal with annex. 2017. No. 2. Pp. 50–56. (rus)
12. Dubov A.A. Dynamic lighting control method. Patent RF, No. 2566077, 2015.
13. Kaveshnikov N.Yu. Policy of the European Union in the field of energy saving. [Politika Yevropeyskogo soyuza v oblasti energosberezheniya]. Bulletin of MGIMO University. 2014. No. 4 (37). (rus)
14. Dubois M., Bisegna F., Gentile N., Knoop M., Matusiak B., Osterhaus, W., Tetri, E. Retrofitting the Electric Lighting and Daylighting Systems to Reduce Energy Use in Buildings: Literature Review. Energy Research Journal. 2015. Vol. 6(1). Pp. 25–41
15. Mikaeva S.A., Mikaeva A.S. Experimental studies of the characteristics of promising light sources, devices and systems: monograph. [Eksperimental'nyye issledovaniya kharakteristik perspektivnykh istochnikov sveta, priborov i sistem: monografiya]. Moscow: Rusays Publishing House. 2017. 136 p. (rus)
16. Gulbinas A., Petuhova V. The energy efficient lighting in kindergartens. E3S Web of Conferences. EDP Sciences. 2019. Vol. 91. P. 05014.
17. Gulbinas A.S., Shirokova D.N. Improvement of the lighting regime in the premises of municipal preschool organizations in order to increase energy efficiency [Sovershenstvovaniye svetotekhnicheskogo rezhima v pomeshcheniyakh munitsipal'nykh doshkol'nykh organizatsiy s tsel'yu povysheniya energoeffektivnosti]. Housing and communal infrastructure. 2021. No. 2 (17). Pp. 37–47. (rus)
18. Boush G.D., Razumov V.I. Methodology of scientific research (in candidate and doctoral dissertations): textbook. [Metodologiya nauchnogo issledovaniya (v kandidatskikh i doktorskikh dissertatsiyakh): uchebnyk]. Moscow: Infra-M. 2020. 227 p. (rus)
19. Piskarev P.M. Preconditions for the formation of the Neurographics method [Predposylki formirovaniya metoda Neyrografika]. Methodology of modern psychology. 2016. No. 6. Pp. 335–343. (rus)
20. Isakov V.B. Speak the language of schemes: A short guide. [Govorite yazykom skhem: Kratkiy spravochnik]. Moscow: Norma: Infra-M. 2017. 144 p. (rus)
21. Sheremet A.A. Intellectual circuitry in the philosophical study of man. [Intelektual'naya skhemotekhnika v filosofskom issledovanii cheloveka]. Visual images of modern culture: ideals and ideologies (to the 25th anniversary of theological education in Omsk). 2020. Pp. 46–50. (rus)
22. Boush G.D. The mechanism of functioning of clusters of enterprises: theory and research methodology [Mekhanizm funktsionirovaniya klasterov predpriyatiy: teoriya i metodologiya issledovaniya]. Regional economy: theory and practice. 2011. No. 3. Pp. 59–66. (rus)

Information about the authors

Gulbinas, Alexandra S. Assistant. E-mail: gulbinasas@tyuiu.ru. Industrial University of Tyumen. Russia, 625000, Tyumen, st. Volodarskogo, 38.

Shirokova, Dinara N. PhD, Assistant professor. E-mail: shirokovadn@tyuiu.ru. Industrial University of Tyumen. Russia, 625000, Tyumen, st. Volodarskogo, 38.

Received 31.05.2021

Для цитирования:

Гульбинас А.С., Широкова Д.Н. Исследование системы функционирования светотехнического режима // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2021. № 12. С. 43–53. DOI: 10.34031/2071-7318-2021-7-12-43-53

For citation:

Gulbinas A.S., Shirokova D.N. Research of the functioning system of the lighting mode. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2021. No. 12. Pp. 43–53. DOI: 10.34031/2071-7318-2021-7-12-43-53

DOI: 10.34031/2071-7318-2021-6-12-54-62

^{1,2}Перькова М.В. 1, ^{3*}Дубино А.М.¹Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого²Российский университет Дружбы Народов³Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

*E-mail:anastuzi@gmail.com,

ВЫЯВЛЕНИЕ И КЛАССИФИКАЦИЯ ГРАДОСТРОИТЕЛЬНЫХ КОНФЛИКТОВ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ В Г. БЕЛГОРОДЕ

Аннотация. Устойчивое развитие территории невозможно без сбалансированно протекающих процессов антропогенной деятельности человека и рационального использования им природных ресурсов. К одной из достаточно острых проблем развития территорий г. Белгорода относится проблема рационального использования приречных территорий, количества и качества водных ресурсов.

В настоящее время Белгородская область ограничена ресурсами местного поверхностного и подземного стоков при довольно высоком уровне коммунально-бытового, сельскохозяйственного и промышленного потребления. Актуальность данной работы заключается также в увеличении антропогенной нагрузки на природный каркас, что влечет за собой значительное ухудшение качества поверхностных и подземных вод. В связи с этим возникают градостроительные конфликты, которые оказывают влияние на развитие территории города и качество среды жизнедеятельности.

В исследовании рассматриваются градостроительные конфликты при использовании водных ресурсов в г. Белгороде. Выявлены причины возникновения градостроительных конфликтов по отношению к приречным территориям и имеющимся водным ресурсам. Выявленные нормативно-правовые, имущественные, землепользовательские, транспортные, социально-функциональные градостроительные конфликты классифицированы по иерархическому уровню, по продолжительности, по способу возникновения, по видам локации, по характеру проявления. Обоснованы внедрения водосберегающего проектирования в градостроительную практику города Белгорода.

Ключевые слова: водные ресурсы, градостроительные конфликты, городская среда, территориальное планирование, приречные территории.

Введение. Результатом активной индустриализации и бурного роста городов, начиная с середины XIX века, стало резкое сокращение роли природного каркаса и, как следствие, утрата экологической устойчивости на планете. Глобальным внешним фактором, определяющим развитие современных городов в планетарном масштабе, является переход к постиндустриальному обществу [1].

Хотя вода составляет 71 % поверхности Земли, только 0,3 % ее доступно в качестве пресной воды для использования человеком. Кроме того, большое беспокойство вызывает качество пресной воды в подземных и поверхностных системах. На качество подземных и поверхностных вод в сельской и городской среде влияют как природные процессы, так и антропогенные воздействия. Из-за этого вода становится все более дефицитной по мере роста населения во всем мире.

Качество водных объектов оказывает непосредственное влияние на качество жизни человека. Более того, водные объекты могут оказывать помощь человеку в восстановлении и осуществлении его потенциала в различных сферах деятельности – досуга, экономики, экологии. Для реализации данных процессов городская среда должна быть адаптивной и интерактивной. Адап-

тивность городской среды заключается в ее способности гибко меняться в зависимости от изменений в потребностях горожан и их запросов. Интерактивной городская среда считается тогда, когда люди способны успешно с ней взаимодействовать и влиять на ее характеристики, управлять ею. Данная идея представляет собой концепцию «права на город» (фр. ‘le droit à la ville’, англ. ‘therighttothecity’), о которой писал в одноименной работе Анри Лефевр – французский философ, социолог и урбанист [2]. Он считает, что любой горожанин обладает безусловным правом иметь доступ и пользоваться благами городской среды, а также правом эту среду преобразовывать, тем самым оказывая прямое влияние на судьбу своего города.

Сложность практического воплощения данной идеи заключается в том, что, несмотря на то, что «право на город» юридически гарантируется практически во всех демократических странах мира, включая Россию, фактически реализовать эту концепцию оказывается труднее. Причинами являются неравенство властных ресурсов и полномочий, противоречивость интересов участников формирования городского пространства.

Вопросам противоречивости городского развития большое внимание уделяли множество зарубежных градостроителей: Дж. Форрестер, К.

Линч, Г. Эдельман, С. Боэри. Среди отечественных градостроительных исследователей, изучавших пространственные конфликты, можно выделить таких ученых, как Л. Коган, А. Крашениников, Т. Дридзе, Е. Ещина, В. Глазычев, А. В. Нефедов, Е.О. Фрейдин, Л. Цой. Конфликты в природопользовании рассматривали Алексеенко Н.А., Дроздов А.В., Алексеев Ю.В., Самойлова Н.А [3, 4, 5, 6], М.В. Перькова [1, 7].

Применение конфликтологического подхода в анализе использования водных ресурсов позволит выявить и классифицировать градостроительные конфликты между участниками градостроительной деятельности по отношению к территории, а также определить основные пути их разрешения.

Методика и методология исследования. В исследовании используется конфликтологический подход для достижения целей устойчивого развития, повышения эффективности территориального планирования и управления территорией региональной системы расселения Белгородской агломерации.

Использование данного подхода наиболее актуально в наше время, так как конфликтологический подход позволяет:

- 1) обеспечить эффективное неистощительное природопользование;
- 2) способствовать восстановлению способности природного каркаса к самовоспроизводству и самовосстановлению;
- 3) обеспечить безопасную среду жизнедеятельности населения;
- 4) создать эффективную систему управления процессами пространственного развития;
- 5) обобщить проводимые до настоящего времени исследования городской конфликтности и противоречивости развития территорий [1].

Проблемы, связанные с водосберегающими технологиями, описываются в научных работах МАРХИ и МГСУ. В частности, Садковская О.Е. рассматривает внедрение водосберегающих планировочных приемов при экореконструкции малых и средних городов Ростовской области [8, 9].

Основная часть. В настоящее время городские ландшафты утратили способность к самоочищению и регенерации. Процесс урбанизации, характеризующийся масштабным проектированием природных систем и превращением земель в непроницаемые поверхности, коренным образом влияет на естественный гидрологический цикл. Чтобы удовлетворить земельные, водные и энергетические потребности растущего городского населения, города вынуждены субсидировать и перераспределять ресурсы, что приводит к

манипулированию природной экосистемой. Городской гидрологический цикл представляет собой ключевой пример сложных взаимодействий и обратных связей между человеческими и природными системами в городской среде. В городах некогда естественные процессы водоснабжения, транспорта, дренажа и очистки сточных вод стали высоко управляемыми благодаря созданию искусственных резервуаров, каналов, канализационных систем и очистных сооружений. Человеческие системы также воздействовали на городскую гидрологию менее сознательно, но все же напрямую, через увеличение непроницаемых поверхностей, нарушение почвы, сокращение растительности, повышение температуры, изменение биогеохимического и биогенного круговорота и уменьшение видового богатства местной флоры и фауны.

Растущее осознание того, что динамика человека и природных систем взаимосвязана с городской средой и что человеческое поведение и потребности в ресурсах могут выступать как движущими силами, так и ограничителями природных экосистемных процессов, требует явного включения человека в теорию и моделирование управления городскими ресурсами (рис. 1).

Связь между человеческими и природными системами находится под влиянием как широко-масштабных процессов, таких как изменение климата, так и синергетических и кумулятивных эффектов локальных процессов, таких как решения о поливе домашних садов. Эти проблемы нуждаются в решении, необходимости повысить устойчивость городов к климатическим и антропогенным воздействиям на водные ресурсы. При анализе влияния антропогенных факторов на природный каркас города Белгорода было выявлено, что неизбежно в процессе жизнедеятельности по отношению к окружающей среде возникают градостроительные конфликты.

Градостроительный конфликт представляет собой взаимный социально-пространственный диссонанс, возникающий между участниками градостроительной деятельности, имеющий противоположные потребности и интересы по отношению к территории [10]. Большинство градостроительных конфликтов связаны с противоречиями по поводу отношения к пространству, так как взаимодействие идет в первую очередь между социальными субъектами. Важным для рассмотрения начала конфликта является факт изменения среды (градостроительной ситуации) в процессе взаимодействия [7].

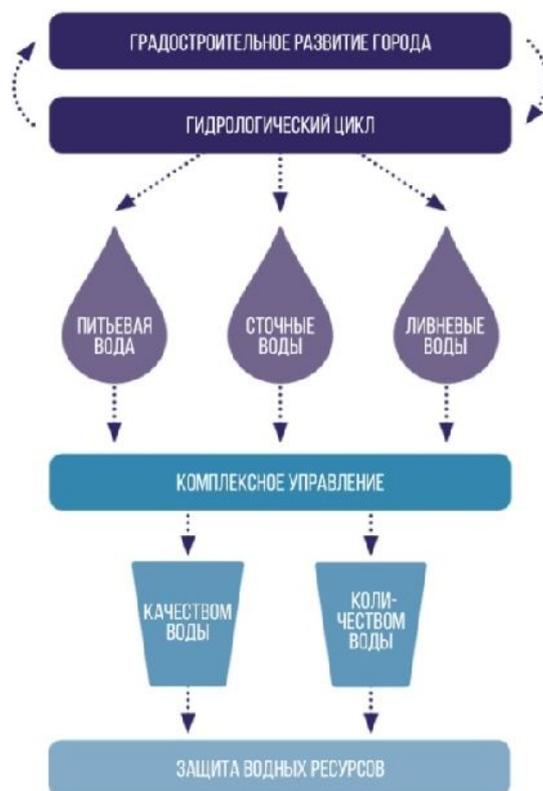


Рис. 1. Взаимосвязь градостроительного развития города и защиты водных ресурсов

Городские конфликты по отношению к водным ресурсам могут быть связаны с несколькими причинами:

- конфликты из-за ограниченного ресурса: ресурс уже используется одной или несколькими сторонами, а растущее городское использование сокращает или делает такое использование невозможным;
- конфликты по поводу контроля за распределением: контроль за водными средствами с позиции экономической власти (приватизация водных ресурсов и государственных водных компаний);
- конфликты по поводу качества ресурса при сбросе сточных вод или промышленных/технологических отходов в реку. Использование таких территорий может быть серьезно нарушено, грунтовые воды могут быть загрязнены или засолены.

- конфликты, связанные с устаревшими системами ливневых канализаций, препятствующих устойчивому развитию города и поселений.

В целях координации устойчивого развития территории в первую очередь необходимо выявить градостроительные конфликты, которые впоследствии будут разрешаться путём разработки социально-экологической программы территориального планирования и градостроительного проектирования.

В рамках данного исследования предпринята попытка выявить градостроительные конфликты, которые представляют собой различные

случаи столкновения интересов участников градостроительной деятельности по отношению к акваториям Белгорода и области.

Белгородская область относится к маловодным регионам Российской Федерации – только 0,45 % территории Белгородчины занимают ручьи, реки, пруды и водохранилища. В связи с этим нашему региону всегда было особенно необходимо активное использование прудов и водохранилищ для накопления воды. На сегодняшний день Белгородская область насчитывает 1100 прудов и водохранилищ, создание большинства из которых пришлось на 1960-е годы.

Природный каркас составляет 27 % от общей территории области. Гидрографическая сеть представляет собой постоянно действующие реки и ручьи, а также временные водотоки. Последние действуют исключительно в период весенних и летне-осенних паводков. Речная сеть сейчас составляет около 5 тысяч километров и включает в себя более 500 водотоков.

Одной из самых острых проблем в управлении развитием территории города Белгорода является система ливневой канализации, которая не в полной мере удовлетворяет предъявленным требованиям и нуждается в масштабной незамедлительной реконструкции. Город развивается, плотность застройки увеличивается, массово возводятся новые жилые микрорайоны, общественные центры и культурные комплексы, что требует обязательного устройства качественной и эффективной системы водоотведения и ливневой

канализации. В городе Белгороде существующая сеть ливневой канализации на сегодняшний день имеет общую протяженность в 118,25 км. Она состоит из отдельных закрытых ливневых стоков с территорий капитальной застройки в южной, центральной и северной частях города. На данный момент отвод дождевых и талых вод с поверхности городских территорий не организован, что ощутимо снижает уровень комфортности эксплуатации улично-дорожной сети и дворовых территорий, а также способствует загрязнению открытых природных водоемов и негативно влияет на их экологическое состояние.

Наглядным показателем того, что существующая в Белгороде сеть ливневой канализации не соответствует нормам, являются дни с большим количеством осадков (рис. 2). Так, например, в июле 2018 года потоки воды с Харьковской горы затопили улицу Есенина, дворы на Губкина, под-

валы зданий, в том числе второй городской больницы. После ливня частично разрушилась парковка у жилого комплекса «Серебряная подкова» на улице Академической, 23а, так как подпорная стена не была рассчитана на такие нагрузки. Также жители, проживающие на улице Щорса, жаловались на затопление гаражей и нижних ярусов домов. В 2016 году от подтоплений пострадал один из дворов на улице Губкина.

В связи с имеющимися проблемами сетей ливневой канализации регулярно поднимается вопрос экологической безопасности открытых водоемов в городе Белгороде, что на данный момент является приоритетным направлением развития города. Создание системы контроля и удаление загрязняющих водоемы веществ является одной из главных задач развития города, поскольку загрязнение водоемов, принимающих на себя сброс ливневых вод, становится опасным для человека.

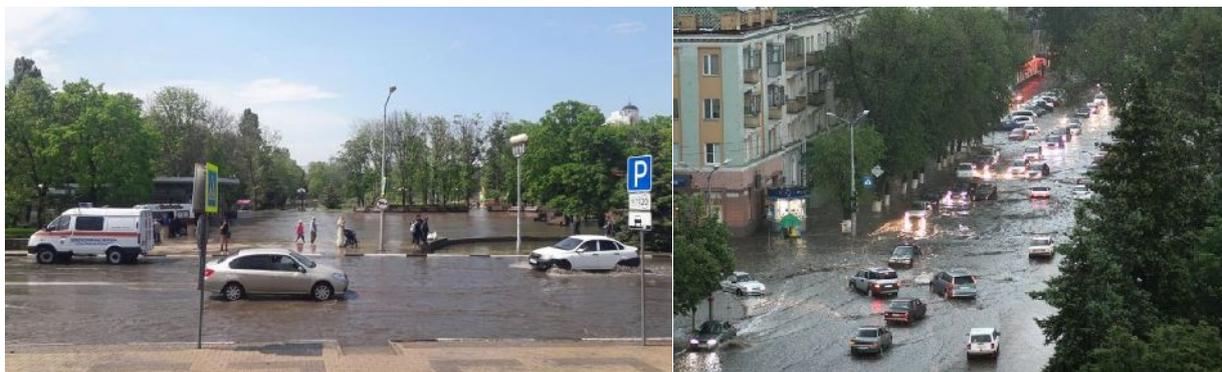


Рис. 2. Несоответствие существующей сети ливневой канализации требуемым нормам

Также мощную антропогенную нагрузку урбанизированной территории испытывает Белгородское водохранилище, расположенное южнее Белгорода, ниже по течению реки Северский Донец:

- 1) участки с затопленной древесной растительностью;
- 2) участки с повышенной загрязненностью береговой зоны;
- 3) участки с интенсивным использованием берегов.

Все вышеперечисленные проблемы не только негативно сказываются на окружающей среде и жизни человека, но и являются причиной развития градостроительных конфликтов. Конфликты возникают не только в самом Белгороде, но и в населенных пунктах Белгородской агломерации.

В данном исследовании будет использоваться классификация, разработанная Перьковой М.В., которая включает в себя пять типов градостроительных конфликтов: землепользователь-

ские, социально-функциональные, транспортные, нормативно-правовые, имущественные. В результате качественного анализа территорий выявлены и классифицированы градостроительные конфликты при использовании водных ресурсов в г. Белгороде (рис. 3). Наиболее распространенными городскими конфликтами являются:

1. Имущественные: нецелесообразное использование приречных территорий; захват приречных территорий в хозяйственных целях.
3. Землепользовательские: конфликт между природным потенциалом территории и характером ее фактического использования; отсутствие буферной зоны водных объектов; истощительное использование приречных территорий; истощительное использование береговой полосы.
4. Транспортные: нерациональная пешеходная сеть.
5. Социально-функциональные: недостаточное количество благоустроенных мест для кратковременного отдыха и рекреации; образование свалок в водоохранной зоне.

Выявленные конфликты представляют собой совокупность элементов с позитивными или

негативными связями между ними [11]. На основании выявленных конфликтов построены модели их структуры (рис. 4).

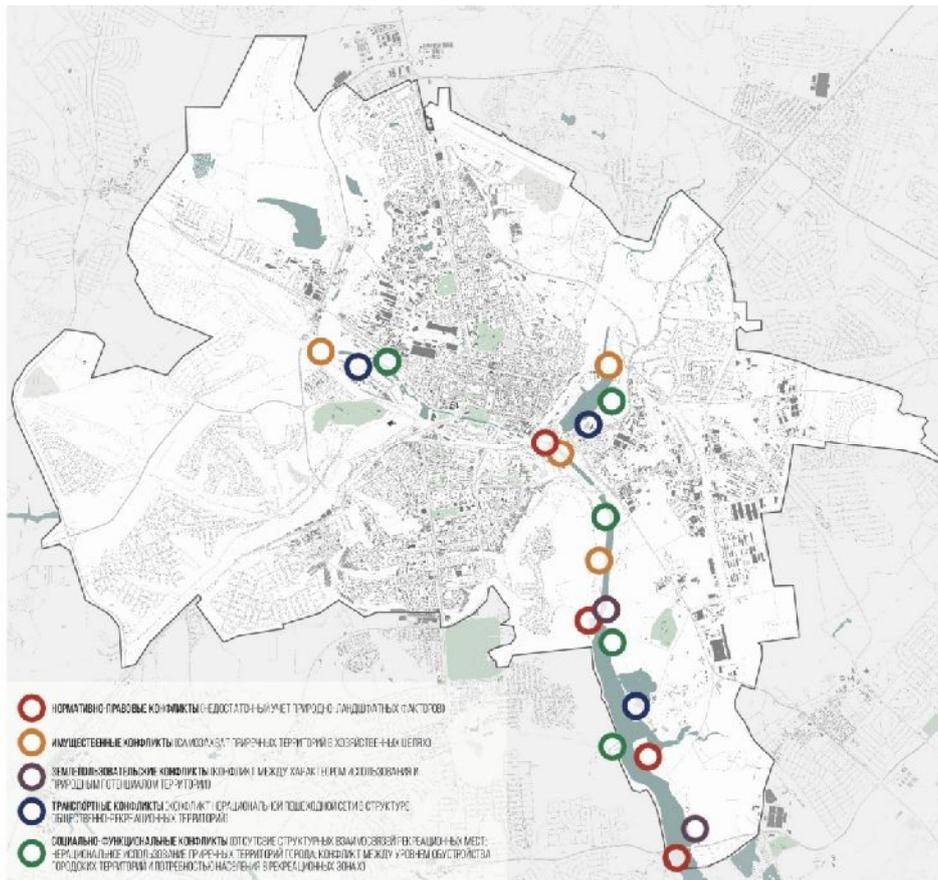


Рис. 3. Картограмма градостроительных конфликтов, возникающих на основе экологических проблем Белгорода

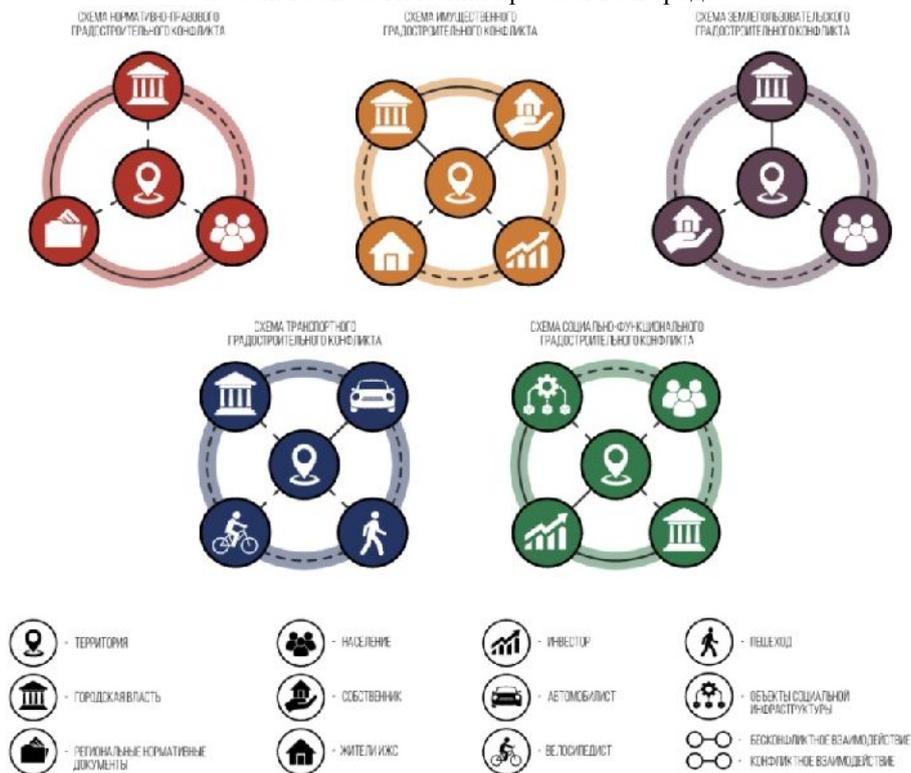


Рис. 4. Модели структуры градостроительных конфликтов при использовании водных ресурсов в городе Белгороде

Таблица 1

Классификация градостроительных конфликтов при использовании водных ресурсов в г. Белгороде

Классификация градостроительных конфликтов		Виды конфликтов				
		Нормативно-правовые	Имущественные	Землепользовательские	Транспортные	Социально-функциональные
По иерархическому уровню	локальный	+	+	+		+
По продолжительности: 1) временные 2) постоянные	повседневные		+		+	+
	периодические	+	+	+		
По способу возникновения	ухудшение уже имеющейся среды		+	+		+
	новое планирование, строительство	+		+	+	
	реорганизация среды		+		+	+
По видам локации	точечные					
	площадные	+	+	+		+
	линейные				+	
По характеру проявления	дисбаланс	+	+		+	+
	дисфункция			+		

Выводы. В результате качественного анализа территорий выявлены и классифицированы градостроительные конфликты при использовании водных ресурсов в г. Белгороде. Наиболее распространенными городскими конфликтами являются:

1. Нормативно-правовые: недостаточный учёт природно-ландшафтных факторов; нарушение прав использования приречных территорий; конфликт между характером регламентированного использования приречных территорий и несбалансированной территориально-планировочной структуры приречных территорий.

2. Имущественные: нецелесообразное использование приречных территорий; захват приречных территорий в хозяйственных целях.

3. Землепользовательские: конфликт между природным потенциалом территории и характером ее фактического использования; отсутствие буферной зоны водных объектов; истощительное использование приречных территорий; истощительное использование береговой полосы.

4. Транспортные: нерациональная пешеходная сеть.

5. Социально-функциональные: недостаточное количество благоустроенных мест для кратковременного отдыха и рекреации; образованные свалки в водоохранной зоне.

На основании выявленных конфликтов построены модели их структуры с позитивными или негативными связями между ними. Предложена картосхема формирования зеленого каркаса г. Белгорода и фазы ее реализации (рис. 5), а также схема планируемых мероприятий по формированию зеленого каркаса (рис. 6).

Предложены общие рекомендации: реконструкция сетей ливневых канализаций, разработка проектных предложений по экологической реабилитации и рекультивации приречных городских ландшафтов; использование водосберегающих технологий при реконструкции имеющейся застройки и строительстве новой для повышения качества и устойчивости городской среды.

В рамках устойчивого развития города также необходима разработка мер по обеспечению экологических безопасности и санитарии, энергоресурсосбережения, сохранения и восстановления природной среды, экологизации строительства. Отдельным блоком необходимо выделить воспитание «экологического» сознания у подрастающего поколения при реализации программ в дошкольных учреждениях, общеобразовательных школах колледжах и высших учебных заведениях как в части воспитательной работы, так и при освоении дисциплин, касающихся вопросов экологии, водосбережения, охраны природы и т.п.

В градостроительстве и смежных дисциплинах существует ряд приемов и методов внедрения водосберегающих технологий, новых механизмов очистки поверхностных вод. Применение их при разработке проектов планировки, проектов благоустройства и озеленения территорий позволит дополнить градостроительную практику в соответствии с современными потребностями и трендами, сохранить имеющийся природный каркас для будущих поколений.

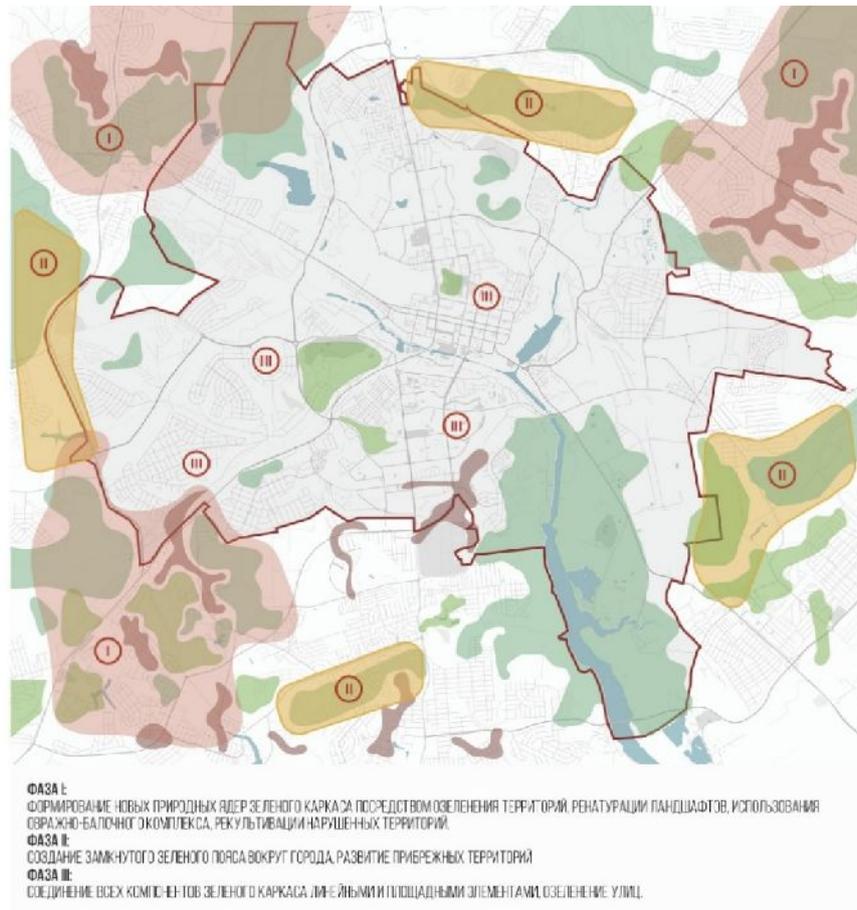


Рис. 5. Схема формирования зеленого каркаса и фазы реализации.
Разраб. Мирошников Е., рук. М.В. Перькова

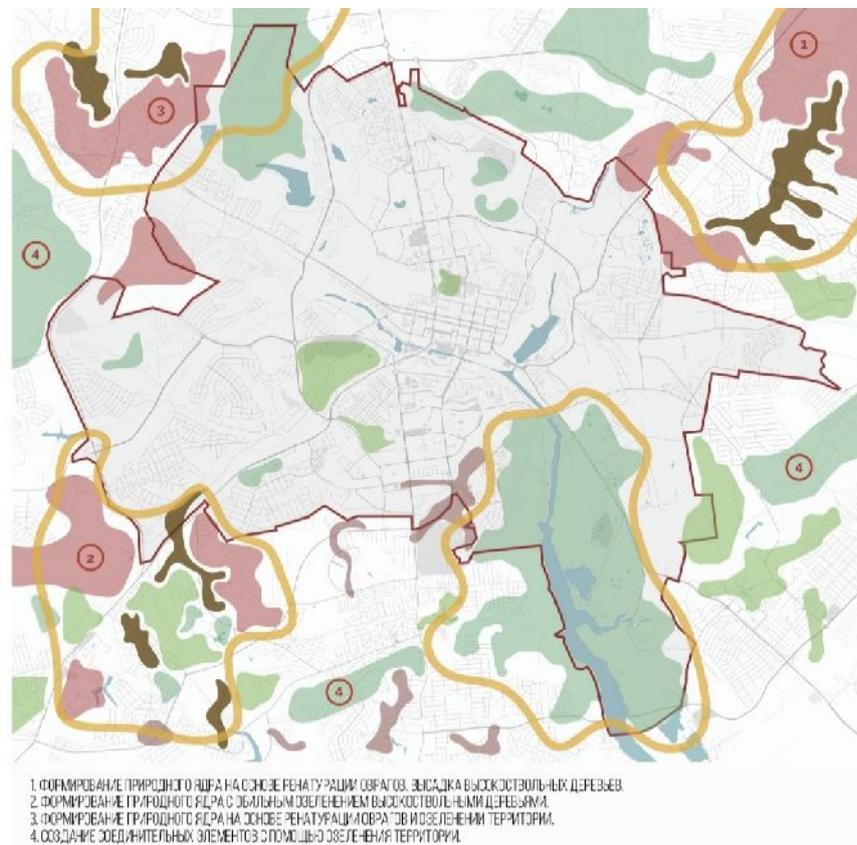


Рис. 6. Схема планируемых мероприятий по формированию зеленого каркаса.
Разраб. Мирошников Е., рук. М.В. Перькова

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Перькова М.В. Методика выявления и разрешения градостроительных конфликтов на региональном уровне // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова, 2018. №4. С. 62–71.
2. Lefebvre H. Le droit à la ville. 3-e édition. P., 2015.
3. Алексеев Ю.В., Самойлова Н.А. Подход к организации градостроительного планирования территории угольного бассейна // Архитектура и строительство России. 2015. № 8. С. 30–39.
4. Алексеенко Н.А., Дроздов А.В. Конфликты в природопользовании и их картографирование (на примере НП "Угра") // Изв. РАН сер. геогр., 2005. №6. С.77–85.
5. Алексеенко Н.А. Конфликты природопользования и их отображение в системе карт ландшафтного планирования: автореф. канд. дисс., М., 2004
6. Дроздов А.В., Алексеенко Н.А. Ландшафтное планирование и конфликты природопользования // Природопользование и устойчивое развитие. Мировые экосистемы и проблемы России. М.: КМК, 2006. С. 359–369.
7. Перькова М.В., Вайтенс А.Г., Баклаженко Е.В. Классификация градостроительных конфликтов // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2018. №12. С. 83–90.
8. Садковская О.Е. Планировка и водный баланс территорий традиционных поселений Нижнего Дона // Architecture and Modern Information Technologies. 2018. № 2. С. 312–331.
9. Садковская О.Е. Технологии эко-урбанизма как ответ на последствия изменения климата // Урбанистика. 2018. № 2. С. 98–122.
10. Большаков А.Г. Градостроительная организация ландшафта как фактор устойчивого развития территории: (Диссертация на соискание ученой степени доктора архитектуры). Иркутск: ИГТУ, 2003.
11. Фрейдин Е.О. Конфликтологическая концепция градостроительной деятельности (градостроительная конфликтология) // «Сибирская архитектурно-художественная школа: наука, практика, образование»: Материалы Всероссийской научно-практической конференции. Новосибирск: ООО Издательство «Сибпринт», 2007. 193 с.

Информация об авторах

Перькова Маргарита Викторовна, доктор архитектуры доцент, советник РААСН, и.о. директора Высшей школы дизайна и архитектуры. E-mail: perkova.margo@mail.ru. Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого. Россия, 195251, Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д. 29. Профессор департамента архитектуры. Российский университет дружбы народов. Россия, 117198, ЮЗАО, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, 6.

Дубино Анастасия Михайловна, магистрант кафедры архитектуры и градостроительства. E-mail: anastuzi@gmail.com. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Поступила 16.09.2021 г.

© Перькова М.В., Дубино А.М., 2021

^{1,2}Perkova M.V., ^{1,*}Dubino A.M.,

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

²Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University

*E-mail: anastuzi@gmail.com

IDENTIFICATION AND CLASSIFICATION OF URBAN PLANNING CONFLICTS IN THE USE OF WATER RESOURCES IN BELGOROD

Abstract. Sustainable development of the territory is impossible without balanced processes of anthropogenic human activity and rational use of natural resources. The problem of sufficiency and quality of water resources is relevant for the city of Belgorod. For 2021, the Belgorod region is limited by the resources of local surface and underground wastewater, with a fairly high level of municipal, agricultural and industrial consumers. The relevance of this work also lies in the increase in anthropogenic load on the natural framework, which entails a significant deterioration in the quality of surface and groundwater. In this regard, urban planning conflicts arise, which have an impact on the development of the city territory and the quality of the living environment. The research examines urban planning conflicts in the use of water resources in Belgorod. The causes of urban planning conflicts in relation to riverine territories and available water resources have been identified. The identified regulatory, property, land use, transport, social and functional urban planning conflicts are classified according to the hierarchical level, by duration, by the method of occurrence, by type

of location, by the nature of manifestation. The introduction of water-saving design into the urban planning practice of the city of Belgorod is justified.

Keywords: water resources, urban conflicts, urban environment, territorial planning, urban planning.

REFERENCES

1. Perkova M.V. Methodology of identifying and resolving the urban development contradictions at the regional level [Metodika vyyavleniya i razresheniya gradostroitel'nyh konfliktov na regional'nom urovne]. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2018. No. 4. Pp. 62–71. (rus)
2. Lefebvre H. *Ledroit à la ville*. 3-^e édition. P., 2015.
3. Alekseev U.V., Samojlova N.A. Approach to the organization of urban planning of the territory of the coal basin [Podhod k organizacii gradostroitel'nogoplanirovaniyaterritoriiugol'nogobassejna]. Arhitekturaistroitel'stvo Rossii. 2015. No. 8. Pp. 30–39. (rus)
4. Alekseenko N.A., Drozdov A.V. Conflicts in nature management and their mapping (on the example of NP "Ugra") [Konflikty v prirodopol'zovanii i ih kartografirovanie (na primere NP "Ugra")]. Izv. RAS ser. geogr. 2005. No. 6. Pp. 77–85. (rus)
5. Alekseenko N.A. Conflicts of nature management and their display in the system of landscape planning maps [Konflikty prirodopol'zovaniya i ih otobrazhenie v sisteme kart landshaftnogo planirovaniya]: avtoref. kand. diss., M., 2004. (rus)
6. Drozdov A.V., Alekseenko N.A. Landscape planning and conflicts of nature management Nature Management and sustainable development [Landshaftnoe planirovanie i konflikty prirodopol'zovaniya]. World ecosystems and problems of Russia. M.: KMK, 2006, pp. 359–369. (rus)
7. Perkova M.V., Vitens A.G., Baklazhenko E.V. Classification of urban conflicts [Klassifikaciya gradostroitel'nyh konfliktov]. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2018. No. 12. Pp. 83–90. (rus)
8. Sadkovskaya O.E. Planning and water balance of territories of traditional settlements of the Lower Don [Planirovka i vodnyj balans territory tradicionnyh poselenij Nizhnego Dona.]. Architecture and Modern Information Technologies. 2018. No. 2. Pp. 312–331. (rus)
9. Sadkovskaya O.E. Technologies of eco-urbanism as a response to the effects of climate change [Tekhnologii eko-urbanizma kak otvet na posledstviya izmeneniya klimata]. Urbanistika. 2018. No. 2. Pp. 98–122. (rus)
10. Bol'shakov A.G. Urban planning organization of the landscape as a factor of sustainable development of the territory [Gradostroitel'naya organizaciya landshafta kak factor ustojchivogo razvitiya territorii]: (Dissertaciya na soiskanie uchenoj stepeni doktora arhitektury). Irkutsk: IGTU, 2003. (rus)
11. Frejdin E.O. Conflictological concept of urban planning Activity (urban planning Conflictology) [Konfliktologicheskaya koncepciya gradostroitel'noj deyatel'nosti (gradostroitel'naya konfliktologiya)]. «Sibirskaya arhitekturno-hudozhestvennaya shkola: nauka, praktika, obrazovanie»: Materialy Vserossijskoj nauchno-prakticheskoy konferencii. Novosibirsk: OOO Izdatel'stvo «Sibprint», 2007. 193 p. (rus)

Information about the authors

Perkova, Margarita V. Doctor of Architecture, Professor, Advisor to the RAACS. E-mail: perkova.margo@mail.ru. Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University. Russia, 195251, St. Petersburg, Politechnicheskaya str., 29. Professor. Peoples' Friendship University of Russia. Russia, 117198, Southern Administrative District, Moscow, Miklukho-Maklaya str., 6.

Dubino, Anastasia M. Master student. E-mail: anastuzi@gmail.com. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Received 16.09.2021

Для цитирования:

Перькова М.В., Дубино А.М., Выявление и классификация градостроительных конфликтов при использовании водных ресурсов в г. Белгороде // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2021. № 12. С. 54–62. DOI: 10.34031/2071-7318-2021-6-12-54-62

For citation:

Perkova M.V., Dubino A.M. Identification and classification of urban planning conflicts in the use of water resources in Belgorod. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2021. No. 12. Pp. 54–62. DOI: 10.34031/2071-7318-2021-6-12-54-62

DOI: 10.34031/2071-7318-2021-7-12-63-72

Огиенко Е.Л.

Российский университет дружбы народов

*E-mail: tengue@list.ru

ОТЕЧЕСТВЕННЫЕ И ЗАРУБЕЖНЫЕ ВИДЫ ОБЪЕКТОВ РЕДЕВЕЛОПМЕНТА ПОД ЖИЛЬЕ

Аннотация. Производство исторически было движущей силой экономического роста и структурных изменений. Во время финансового и экономического кризиса правительства в Европе оказывали краткосрочную помощь отраслям, которые пришли в упадок, путем их переоборудования в более необходимые для рынка производства (например, производители стали и производителям автомобилей) По мере роста городов и увеличения плотности мегаполисов, стала появляться необходимость в их «обновлении», что, в первую очередь, характеризуется преобразованием нефункциональных зданий и старых заброшенных строений с целью дальнейшей эксплуатации. В преобразовании таких территорий заинтересованы не только государство, но и частные организации, которые активно инвестируют средства в данные проекты. В соответствии с потребностями современного общества, промышленные комплексы преобразуются в районы с жилыми многоквартирными домами и офисами, своей социальной инфраструктурой, транспортом, развлечениями. В будущем городские районы могут получить большую выгоду от новых возможностей. Во всем мире индустриальные территории являются неотъемлемой частью городов. В статье рассмотрен опыт реконструкции промзон в России и за рубежом. Индустриальное наследие адаптируется к новому контексту города, используя принципы экологичности, экономичности и эстетичности.

Ключевые слова: редевелопмент, промышленная архитектура, жилое пространство, индустриальная архитектура, фабрики, заводы.

Введение. Городские районы с наследием «старых производств» обладают большим градостроительным потенциалом. Начиная с конца XX века, во всем мире активно развивается процесс реновации промышленных зданий с последующим изменением функциональных особенностей здания. Возросла необходимость планировать и разрабатывать новые и удобные пространства для будущего развития городской территории. Городские районы с наследием «старых производств» обладают большим градостроительным потенциалом. В XX и XXI веке города столкнулись с процессом реновации промышленных зданий с последующим изменением функции здания на жилье. Возросла необходимость планировать и разрабатывать новые удобные пространства для будущего развития городской территории. Сейчас процесс редевелопмента промышленных территорий наблюдается во всем мире. Данная тематика уже была рассмотрена следующих авторов: Д.К. Поляков, С.В. Пупенцова, Т.П. Некрасова в статье «Мировой и отечественный опыт редевелопмента территорий», где рассмотрены факторы, влияющие на реализацию проектов редевелопмента промышленных территорий, различие в управлении проектом в России и за рубежом, различие взаимоотношения с собственниками в процессе сдачи проекта. М.В. Назаровой в статье «Современный опыт реконструкции объектов промышленной архитектуры под жилье (Европа, США, Австралия)» было выявлено, что бывшие промышленные зда-

ния привлекательны из-за своего местоположения, была произведена типизация фабрик и заводов на 3 типа по количеству работ на перепланировку.

Методы исследования. Были исследованы объекты бывших промышленных зданий, на месте которых сейчас находится жилье. В ходе исследования выявлено, что распространены определенные виды промышленных зданий, что связано с минимальным количеством работ для переоборудования под жилое пространство.

Объект исследования: объекты реконструкции бывшей промышленной архитектуры под жилую функцию в России и за рубежом.

Метод исследования – объемно-планировочный анализ.

Цель исследования: определить общие черты и черты различия на основе рассмотренных объектов реконструкции промышленных зданий в России и в странах Европы.

Задачи:

- Описать архитектурные объекты по следующим параметрам: вид промышленного здания, свободная планировка, инфраструктура, и габариты здания, год постройки и реконструкции.
- Рассмотреть архитектурно-планировочные решения и результаты проведенных реконструкций.
- Составить сравнительную таблицу для выявления общих и различных черт, где указано год

постройки / реконструкция, тип объемно-планировочного решения, класс, тип промышленного здания и инфраструктура.

Были выделены следующие типы апарт-апартаментов по следующим параметрам: по назначению и организации объемно-планировочной структуры. Уровень достатка жильцов разный. Для каждого объекта определялся класс апартаментов: «эконом», «комфорт», «бизнес» и «элит»¹

Основная часть. Изучив отечественный опыт редевелопмента, можно отметить, что следующие виды промышленных зданий были преобразованы под жилье: текстильные фабрики, научно-производственные предприятия, кондитерские фабрики.

Текстильные фабрики требуют минимальных объемов работ для переделки объектов под жилье. Как правило, они имеют ячеювую структуру, высота этажа – 2,5–3,5 м, габариты здания – до 14 м. Одним из таких примеров является **Даниловская мануфактура** – текстильная фабрика (1876-1919 г.). Архитектурные мастерские «Цимайло Ляшенко и партнеры» и «Сити-Арх» работали над корпусом «Ряды Солдатенкова». Здание имеет неполный каркас и шаг колонн 3,8 м – что удобно для свободной планировки жилья. Благодаря широтному расположению комплекса, жилые помещения можно обеспечить необходимой инсоляцией. Промышленное здание ячеювой планировочной схемы, конструктивная схема комплекса после реконструкции-коридорный тип.

Loft Park – бывшая текстильная фабрика Вильгельма Йокиша, построенная в 1838 году. В настоящее время Loft Park – это комплекс апартаментов, включающий 11 зданий, состоящих из 3-6 этажных строений. Площадь квартир в комплексе варьируется от 24 кв. м до 300 кв. м. Высота потолков выше 3,6 м. Отличительной особенностью комплекса являются обустроенные эксплуатируемые крыши, которые используются как общественное пространство. Общая площадь апарт-комплекса 90 000 кв. м. МФК располагается в Северном административном округе города Москвы, в Головинском районе. На закрытой территории Loft park находятся все необходимые объекты инфраструктуры: магазины, отделения банков, рестораны, наземная парковка.

Loft Garden – пример преобразования **научно-производственного предприятия**. Loft Garden-лофт-апартаменты на месте конструкторского бюро им. М.Л. Миля, которое было построено в 1951 году. Широтная ориентация здания

также позволила обеспечить жилье необходимой инсоляцией. Здание коридорного типа жилого дома. Площадь квартир варьируется от 30 кв. м. до 163 кв. м. Блокированная застройка. Высота потолков более 3,6 м. Общая площадь трех жилых этажей комплекса Loft Garden с мансардой составляет свыше 10 404 кв. м.

Loft Time – многофункциональный комплекс на территории бывшего научного комплекса «Радий». Закрытая охраняемая территория разделена на два обособленных сектора – жилой и офисный. Из 6 корпусов: 2 предназначены для жилья, а другие 4 – под офисы. Этажность зданий варьируется от 2 до 7 этажей. Комплекс располагается в Северном административном округе столицы, недалеко от станции метро "Сокол". Общая площадь объекта 90 тыс. м². Высота потолков от 2,6 до 6,3 м. Квартиры площадью от 54 кв. м. до 418,9 кв. м. Апартаменты свободной планировки характеризуются высокими потолками, большими панорамными окнами и кирпичными стенами. Все фасады зданий выполнены в единой концепции стиля loft, отделаны клинкерной плиткой и лицевым кирпичом.

Арт-пространство «Красный Октябрь» – располагается в центре Москвы, на месте бывшей кондитерской фабрики «Красный октябрь» (1889 г.). Большепролетная конструкция здания, пролет более 18 м. В 1870 году предприятие было крупнейшим в России, наряду с фабриками «Бабаевский», «Рот-фронт», «Большевик». Во время войны с Турцией, в 1853-1856 году фабрика поставляла русской армии варенье и сироп, но завод специализировался на производстве шоколада, тортов и конфет. На территории объекта до сих пор сохранилось оборудование того времени: бисквитные печи и печи для вафель. В 2000 году предприятие перестало функционировать, сейчас это многофункциональный комплекс с офисами, апарт-отелями, помещениями для мероприятий, торговыми павильонами и т. д.

«Ordynka. Собрание клубных домов» – проект элитного жилого комплекса. Ранее на территории размещалась знаменитая кондитерская фабрика московского купца И.Д. Иванова, позже – известная как фабрика им. Марата и дворянская усадьба конца 18 – начала 19 века. Здание имеет статус памятника. В отделке фасадов был использован керамический кирпич и природный камень. Всего на территории бывшей фабрики 7 домов, где располагаются 60 квартир площадью от 45,4 кв. м. до 315,6 кв. м. Высота потолков от 3.4

¹ Огиенко Е.Л., Савельева Л.В. Апартаменты в застройке современной Москвы // Architecture and Modern Information Technologies. 2018. №1(42). С. 78–

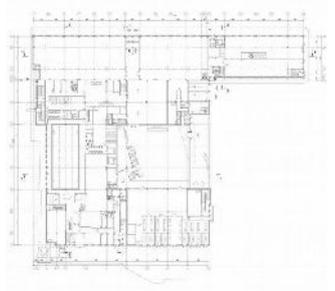
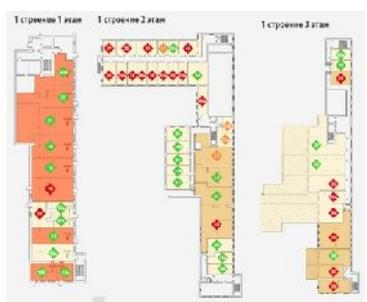
87 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://marhi.ru/AMIT/2018/1kvart18/04_ogienko_savelieva/index.php

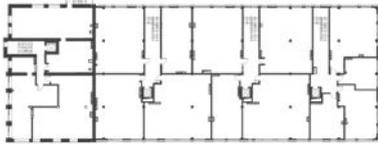
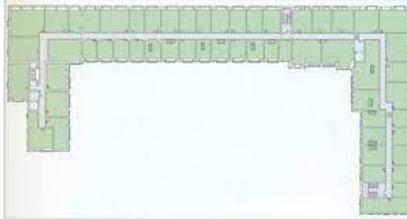
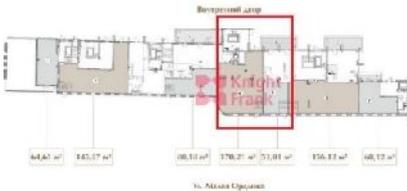
м до 5 м. Главным архитектором проекта является Антон Хмельницкий, сооснователь бюро Architects of Inventions. На территории имеется

спа-центр, йога-центр, рестораны, кафе, парикмахерские, рекреационные зоны с аллеями и цветниками.

Таблица 1.

Промышленные здания Москвы, переоборудованные под жилье

Пример. Год постройки/ реконструкция	Планы	Объемно-планировочное решение	Класс	Инфраструктура
Текстильная фабрика				
Даниловская мануфактура 1867г. /2011		Коридорный тип. Свободная планировка	Бизнес, комфорт	Вблизи центра города
«Голутвинская слобода» XIX век/ 1995		Коридорный тип. Свободная планировка	Бизнес, комфорт	Центральная часть города
«Красная Роза 1875» 1846 г/2003		Коридорный тип. Свободная планировка	Бизнес, комфорт	Центральная часть города
МФК The Loft Club 1869 г / 2006		Коридорный тип	Комфорт	Центральная часть города

Научно-производственные предприятия				
Loft Time 1971 /2006		Смешанный (коридорный и секционный)	Элит класса	В черте города
«Парк Мира» 1941г. /2014—2015	АПАРТАМЕНТЫ С КАМИНАМИ 	Секционный тип	Бизнес класс	В черте города
Loft Garden 1951 г / 2013		Коридорный тип. Свободная планировка квартир	«Ком- форт» класс	В черте города
Кондитерские фабрики				
ЖК «Красный Октябрь» 1890г/На стадии проекта		Коридорный тип	Элитный	Централь- ная часть города
«Ordynka. Собрание клуб- ных домов» XIX /III кв 2019		Коридорный тип	Элитный	Централь- ная часть города

Рассматривая зарубежный опыт редевелопмента, можно выделить следующие категории промышленных зданий, которые преобразовались в апартаменты: водонапорные башни, склады и силосы.

Водонапорные башни по конструкции, состоят из бака для воды (цилиндрической формы) и опорной конструкции (ствола). Различают разные подтипы металлических башен: призматическая модель, пирамидальная, башни системы Шухова и башни-бочки.

Lymm Water Tower – это удостоенная награды реконструкция заброшенной водонапорной башни II класса в роскошный современный семейный дом. Восьмиугольную водонапорную башню архитекторы дополнили новым модернистским объемом, тем самым удвоив высоту. Благодаря такому остекленному дополнению, с башни открывается красивый вид на близлежащие поля и лесные территории. Огромные панели низкоэнергетического структурного стекла, используемые на фасаде, обеспечивают

лучший контакт жилого пространства с природой в любое время года. На крыше башни находится сад.

Watertower of Living – 30-метровая водонапорная башня, построенная между 1938 и 1941 годами в деревне Steenokkerzeel (Бельгия). Башня находилась в эксплуатации до начала 90-х годов. Во времена второй мировой войны использовалась нацистами как "сторожевая башня". В 2004 году она была отреставрирована: отремонтированы и покрашены поврежденные бетонные колонны, полностью демонтированы и заменены кирпичные швы, увеличены окна в верхней части пола. Каждый видимый старый бетонный элемент в интерьере был окрашен в темно-серый цвет, чтобы визуальнo отделить от новых.

Один или два раза в месяц часть здания сдается в аренду для проведения эксклюзивных мероприятий, семинаров, или деловых встреч, которые проводят крупные известные компании со своими клиентами. Стоит отметить транспортную доступность до аэропорта.

Силосные башни представляют собой хранилище для сыпучих материалов. Они различаются по конструкциям: монолитные, в рулонах, сборные и панельные.

Kroyers Plads – пятиэтажный жилой комплекс на месте силосной башни, состоящий из трёх зданий с уникальным расположением в центре гавани Копенгагена. На первом этаже расположены рестораны, магазины, супермаркеты, что обеспечивает оживленную городскую жизнь в этом районе. Особое внимание уделяется созданию современных складов на основании принципов: экологических, социальных, экономических. Крайерс-Пладс является первым проектом жилого здания в Дании, получившим Экомаркировку «Северный лебедь». Комплекс почти на 40 % является более энергоэффективным, чем это требуется по закону. Три новых здания (одно из которых, согласно первоначальному проекту, предназначалось для использования в качестве квартир) содержат 107 квартир, средней площадью в 180 м². Наибольший спрос в этом комплексе на квартиры, которые ранее были складами.

Gemini Frøsilo – силос в районе гавани Копенгагена. Для проведения процесса реконструкции силосов, необходимо учитывать их структурные особенности, которые и ограничивают архитектурные возможности. В Gemini Frøsilo были проведены следующие работы: переоборудование двух бывших зернохранилищ в многоквартирный дом, перепланировка помещений под жилье, оснащение необходимыми инженерными системами (электричество,

лифты, отопление, вентиляция, водоснабжение, кондиционирование и т.д.). Повсюду в Европе старые гавани переоборудуются в районы проживания высокого качества. Лифты, лестницы, трубы и коммуникации превращают интерьер силоса в некую шахту. Внутренний объем покрыт прозрачной крышей, что делает это пространство футуристическим лобби. Для улучшения акустики был использован звукопоглощающий материал объемом 1500 м². В каждой квартире расположен балкон, который занимает порядка 30 % общей площади. Таким образом, в квартире, площадью 100 кв. м, балкон занимает 30 кв. м. В здании также располагаются апартаменты гостиничного типа.

На месте **жилого квартала Kanaal** ранее находилась фабрика и зернохранилище, построенные в 1857 году. Квартал включают в себя 98 квартир, которые разрабатывали разные архитекторы. Каждое строение проектировало отдельное бюро, но по единой концепции и мастер-плану, который разработал архитектор Дженса Аэртса. Комплекс включает в себя удивительные дома и квартиры. Например, белые дома-кубы, в которых предусмотрены зимние сады, а также роскошные террасы с окнами 4×6 метров. Эти дома были спроектированы бюро Bogdan & Van Broeck.

Газгольдеры – цилиндрический объем, в котором хранятся газообразные вещества. Выделяют 2 подтипа: переменного и постоянного объема. **Кингс-Кросс (Лондон)** – крупнейшая программа городского развития в Европе, а богатое промышленное наследие района является неотъемлемой частью его возрождения. Три газгольдера из чугуна были построены в 1867 году, а позднее заброшены, так как тяжёлая промышленность была перемещена на окраину города. Поэтому промышленные объекты были демонтированы в 2001 году для строительства туннельного железнодорожного соединения Ла-Манш. Комплекс включает в себя 145 апартаментов, частный тренажерный зал, спа-центр, бизнес-лаунж, развлекательный люкс с кинотеатром, баром и частной столовой. Доступ в апартаменты осуществляется через центральный двор, каждый «барабан» спроектирован с собственным атриумом и ядром. На крыше одного из газгольдеров находится сад, таким образом, архитекторы хотели привнести природу в городской пейзаж. Благодаря цилиндрической форме зданий, в квартирах преобладает высокий процент естественного дневного освещения. Дизайн для газгольдеров был разработан таким образом, чтобы создать динамический контраст между новым и старым.

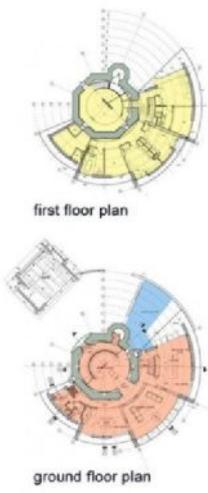
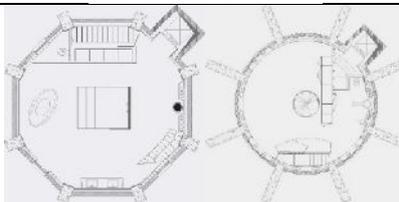
Студенческое общежитие **Grünerløkka Student house** является частью крупной студенческой жилищной организации в Осло. Оно расположено недалеко от реки Акерсельва. До того, как здание было реконструировано архитекторами HRTB, оно было элеватором и хранилищем зерна и кукурузы для соседской мельницы Недре Фосс (50–90 годы XX века). В 1993 году HRTB architects разработало проект общежития для студентов, которое было одобрено местным правительством. Строительные работы начались в 1999 году и завершились в 2001. В конечном итоге, проект реконструкции здания обошелся в чуть меньше 240 миллионов крон. В здании с круглыми комнатами соблюдаются нормы инсоляции, но для того, чтобы подчеркнуть конфигурацию помещений была спроектирована специальная мебель. Поэтому, каждая комната сдавалась в аренду с мебелью, чтобы у жильцов не было сложностей при переезде. Это гигант-

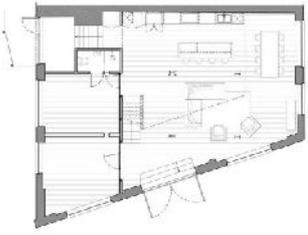
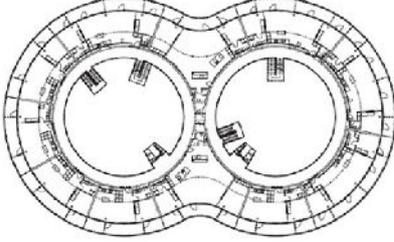
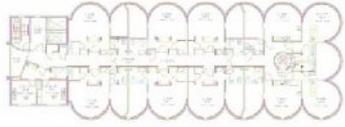
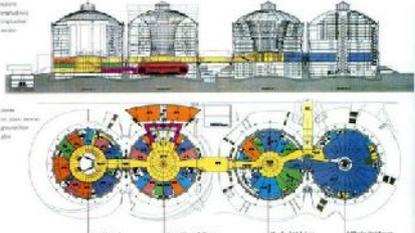
ское сборно-бетонное здание высотой 19 этажей, но, из-за наклона местности, главный вход, на самом деле, находится на 4-ом.

Венские газгольдерные башни были построены в 1896–1899 годах в районе Зиммеринг. Утратив свою первоначальную функцию, они были реконструированы, в конечном итоге, став многофункциональным комплексом. Габариты газгольдера: 70 м в высоту и 60 м по диаметру. Уникальной форма здания создает прекрасную акустику, поэтому внутри комплекса архитекторы разместили концертные и фестивальные площадки. Данный многофункциональный комплекс включает в себя 615 квартир, которые рассчитаны, как и на состоятельных лиц, так и на студентов. Здесь же находятся магазины, рестораны, кинотеатры, бары, а также зимний сад. Газгольдеры после реконструкции стали гордостью Вены, сейчас там размещается вся необходимая для комфортной жизни инфраструктура.

Таблица 2

Промышленные здания в Европе, переоборудованные под жилье

Пример	Планы	Объемно-планировочное решение	Класс	Инфраструктура
Водонапорные башни				
Lymm Water Tower, 19 век. /2006г.		Позэтажное зонирование	Элитный	Вне черты города
Steenokkerzeel Watertower of Living, 1938-1941г. /2007-2008г.		Позэтажное зонирование	Элитный	Вне черты города. Деревня Steenokkerzeel.
Склады				
Kroyers Plads, 1938г. /2011-2016г.		Коридорный тип	Комфорт и выше	Центр гавани города

<p>Clapton Warehouse, -/2014г.</p>		<p>Коридорный тип</p>	<p>Элитный</p>	<p>Центр города</p>
<p>Силосы</p>				
<p>Gemini, 1963г. / 2001–2005г.</p>		<p>Коридорный тип</p>	<p>Комфорт/Люкс</p>	<p>Близ гавани города</p>
<p>Kanaal, 1857г. /2011–2017г.</p>		<p>Смешанный тип планировки: секционный, коридорный.</p>	<p>Элитное жильё</p>	<p>Пригород. Берег реки</p>
<p>Газгольдеры Газометры Зернохранилище (какое-либо хранилище)</p>				
<p>Gasholder, 1867г. /2002–2018г.</p>		<p>Секционный</p>	<p>Элитное жильё</p>	<p>Центральная часть города</p>
<p>Общежитие Grünerløkka studenthus, 1953г. / 2001г.</p>		<p>Коридорный тип</p>	<p>Средний класс. Студенты</p>	<p>Черта города</p>
<p>Венские газометры, 1896-1899г. /2001г.</p>		<p>Смешанный: секционный, коридорный.</p>	<p>Комфорт/Люкс/Элитное</p>	<p>Окраина города</p>

Выводы.

1. Бывшие промышленные предприятия, переделанные под жилье, имеют хорошую инфраструктуру, поскольку располагаются в центре города.

2. Как правило, это жилье высокого класса.

3. Основные виды бывших промышленных предприятий, которые адаптируются под жилые комплексы: текстильные фабрики, научно-произ-

водственные предприятия, кондитерские фабрики. За рубежом в основном реконструируются следующие предприятия: водонапорные башни, склады, силосы. Такой выбор обусловлен простой переоборудования промышленных предприятий под жилье.

4. Наблюдаются общие тенденции в сохранении исторического облика зданий, как в отечественном, так и зарубежном опыте.

5. Редевелопмент промышленных зданий коснулся в основном построек XIX-XX века, которые были возведены в период промышленной революции.

6. Годы реконструкции показывают, что проблема переоборудования промышленных предприятий в жилье актуальна на данный момент.

7. Реконструированные здания, в основном, коридорного типа жилья.

Заключение. Многие промышленные территории, которые подверглись процессу редевелопмента, располагаются на берегах рек или вблизи водоемов. Поэтому реновация таких объектов позволяет создать дополнительное место отдыха для горожан.

Комплексная застройка территорий промышленных зон позволяет открывать новые бизнес-центры, технопарки, инновационные кластеры, центры современного искусства и другое, что предполагает создание дополнительных рабочих мест.

Путем грамотного подхода к застройке промышленных территорий, можно увеличить количество зеленых зон в городах, тем самым создав дополнительные места отдыха и улучшив качество окружающей среды.

В конечном итоге, данное жилье помогают решить следующие проблемы города: экономические, экологические и эстетические, которые важны для повышения качества жизни общества.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Кудрявцева С.П., Бесчастнова О.В. Архитектурная интеграция промышленного объекта в городскую среду Астрахани // Вестник гражданского строительства Прикаспия: научно-технический журнал. [Электронный ресурс] 2017. URL: https://www.researchgate.net/publication/337871492_Integration_of_industrial_territories_into_the_urban_environment (дата обращения: 14.04.2021)

2. Вилкова А.С., Маренникова Д.В. Предпосылки ремонта жилья на территориях, прилегающих к промзонам // Межд. Научно-исследовательский журнал. №6 (60). Часть 2. С. 155–159

3. Миронов Н. Апартаменты выходят из моды // Вечерняя Москва. 2017. №244(27807)

4. Пестрикова А.Г., Бурда Е.А. Влияние промышленных объектов на формирование архитектурно-пространственной композиции крупных городов // Вестник Приднепровской государственной академии строительства и архитектуры. 2013. №9 (186). С. 51–56

5. Кириченко Е.И. Русская архитектура 1830-1910-х годов. М., 1982. 400 с.

6. Иванова Н.В., Богила В.Г., Иванова О.В. Улучшение экологии Волгограда в процессе оздоровления прибрежной зоны (благоустройство бывшего грузового порта) // Международный журнал гуманитарных и естественных наук. 2018. №5-1. С. 188–192

7. Голованов Е.Б., Киселева В.А. Развитие редевелопмента как направления по преобразованию городских территорий // Вестник ЮУрГУ. Серия Экономика и менеджмент. 2013. №3. С. 12–16. [Электронный ресурс]. AdobeAcrobatReader. URL: https://urbaneconomics.ru/sites/default/files/ekonomika_gorodskogo_redevelopmenta_-_zarubezhnyy_opyt_institut_ekonomiki_goroda_iyul_2017_0.pdf (дата обращения 14.02.2021)

8. Дмитриева Н.Н., Лохтина Ю.А., Буторина А.А. Редевелопмент промышленных территорий в России и за рубежом: проблемы и их решение // Социально-экономическое управление: теория и практика 2020. №1. С. 95-97

9. Назарова М.В. Современный опыт реконструкции объектов промышленной архитектуры под жильё (Европа, США, Австралия) // Международный электронный научно-образовательный журнал по научно-техническим и учебно-методическим аспектам современного архитектурного образования и проектирования с использованием видео и компьютерных технологий. 2013. [Электронный ресурс] AdobeAcrobatReader. URL:

<http://www.marhi.ru/AMIT/2013/3kvart13/nazarova/nazarova.pdf> (дата обращения: 20.04.2021)

10. Титова Л.О. Оценка критериев ценности промышленного наследия // Международная научно-практическая конференция «Фундаментальные и прикладные науки сегодня VII: Proceedings of the Conference. North Charleston. Vol. 2. North Charleston, SC, USA: CreateSpace. 2015. Pp.1-3

11. Ван Цзяньго, Цян Нан. Сохранение и адаптивное повторное использование исторических промышленных зданий в Китае в постиндустриальную эпоху. Пресса о высшем образовании и Спрингер. Верлаг, 2007. №5-1. С. 188–192

12. Сысоева О.И. Реконструкция промышленных объектов: учеб. пособие для вузов. М-во образования Республики Беларусь, Белорусский

национ. техн. ун-т. Минск: Белорусский национ. технич. ун-т. 2005. 135 с.

13. Регамэ С. К., Брунс Д. В., Омельяненко Г.Б. Сочетание новой и сложившейся застройки при реконструкции городов. М.: Стройиздат, 1988.

14. Тейлор С., Купер М., Барнуэлл П. Манчестер: Промышленное наследие складских объектов. Лондон: Наследие Англии. 2005.

15. Титова Л.О. Архитектурное освещение дореволюционных фабрик в Москве // Архитектура и строительство России. 2015. №10 (214). С. 38–40.

Информация об авторах

Огиенко Евгений Леонидович, аспирант 1 курса департамента архитектуры и строительства. E-mail: tengue@list.ru. Инженерная академия, Российский университет дружбы народов (РУДН). Россия, 115419, Москва, ул. Орджоникидзе, д.3.

Поступила 12.04.2021 г.

© Огиенко Е.Л., 2021

Ogienko E.L.

Peoples' Friendship University of Russia

E-mail: tengue@list.ru

DOMESTIC AND FOREIGN TYPES OF REDEVELOPMENT OBJECTS FOR HOUSING

Abstract. *Manufacturing has historically been the driving force behind economic growth and structural change. During the financial and economic crisis, governments in Europe provided short-term assistance to industries that had fallen into disrepair by converting them into market-oriented industries (such as steelmakers and car manufacturers). As cities grow and the density of megacities increases, the need for their "renewal" began to appear, which is characterized by the transformation of non-functional buildings and old abandoned buildings for the purpose of further operation. The state and private organizations were interested in the transformation of such territories and actively invest in these projects. Industrial complexes are transformed into areas with residential apartment buildings and offices, their own social infrastructure, transport, entertainment reflecting the needs of modern society. In the future, urban areas can benefit greatly from new opportunities. All over the world, industrial territories are an integral part of cities. The article discusses the experience of reconstruction of industrial zones in Russia and abroad. The industrial heritage is adapting to the new context of the city, using the principles of sustainability, economy and aesthetics.*

Keywords: *redevelopment, industrial architecture, living space, industrial architecture, factories, factories.*

REFERENCES

1. Kudryavtseva S.P., Beschastnova O.V. Architectural integration of an industrial facility into the urban environment of Astrakhan [Arhitekturnaya integraciya promyshlennogo ob"ekta v gorodskuyu sredu Astrahani]. Vestnik grazhdanskogo stroitel'stva Prikaspiya: nauchno-tekhnicheskij zhurnal. 2017. URL: https://www.researchgate.net/publication/337871492_Integration_of_industrial_territories_into_the_urban_environment (date of treatment 14.04.2021) (rus)

2. Vilkova A.S., Marennikova D.V. Prerequisites for the repair of housing in the areas adjacent to the industrial zones [Predposylki remonta zhil'ya na territoriyah, prilgayushchih k promzonam]. Mezhd. Nauchno-issledovatel'skij zhurnal. No. 6 (60). Part 2. P. 155–159 (rus)

3. Mironov N. Apartments are going out of fashion [Apartamenty vyhodyat iz mody]. Evening Moscow. 2017. No. 244 (27807) (rus)

4. Pestrikova A.G., Burda E.A. Influence of industrial facilities on the formation of the architectural and spatial composition of large cities [Vliyanie promyshlennyh ob"ektov na formirovanie arhitekturno-prostranstvennoj kompozicii krupnyh gorodov]. Vestnik Pridneprovskoj gosudarstvennoj akademii stroitel'stva i arhitektury. 2013. No. 9 (186). Pp. 51–56 (rus)

5. Kirichenko E.I. Russian architecture 1830-1910s [Russkaya arhitektura 1830-1910-h godov]. M., 1982. 400 p. (rus)

6. Ivanova N.V., Bogila V.G., Ivanova O.V. Improving the ecology of Volgograd in the process of rehabilitation of the coastal zone (improvement of the former cargo port) [Uluchshenie ekologii Volgograda v processe ozdorovleniya pribrezhnoj zony (blagoustrojstvo byvshego gruzovogo porta)]. International Journal of Humanities and Natural Sciences. 2018. No. 5-1. Pp. 188–192 (rus)

7. Golovanov E.B., Kiseleva V.A. Development of redevelopment as a direction for the transformation of urban areas [Razvitie redevelopmenta kak napravleniya po preobrazovaniyu gorodskih territorij]. Vestnik YUUrGU. Seriya Ekonomika i menedzhment. 2013. No. 3. p.12-16. AdobeAcrobatReader. URL: https://urbaneconomics.ru/sites/default/files/ekonomika_gorodskogo_redevelopmenta_-_zarubezhnyy_opyt_institut_ekonomiki_goroda_iyul_2017_0.pdf (date of treatment 14.04.2021)

8. Dmitrieva N.N., Lokhtina Yu.A., Butorina A.A. Redevelopment of industrial territories in Russia and abroad: problems and solutions. [Redevelopment promyshlennyh territorij v Rossii i za rubezhom: problemy i ih reshenie.] Social'no-ekonomicheskoe upravlenie: teoriya i praktika 2020. No. 1. Pp. 95–97. (rus)

9. Nazarova M. Contemporary experience for reconstruction of industrial architecture for residential use (Europe, USA, Australia) [Sovremennyy opyt rekonstrukcii ob'ektov promyshlennoj arhitektury pod zhil'yo (Evropa, SSHA, Avstraliya)]. Mezhdunarodnyj elektronnyj nauchno-obrazovatel'nyj zhurnal "Architecture and Modern Information Technologies". 2013. AdobeAcrobatReader. URL: <http://www.marhi.ru/AMIT/2013/3kvart13/nazarova/nazarova.pdf> (date of treatment 20.04.2021) (rus)

10. Titova L.O. Assessment of criteria for the value of industrial heritage [Ocenka kriteriev cennosti promyshlennogo naslediya]. Fundamental and

applied sciences today VII: Proceedings of the Conference. North Charleston. Vol. 2. North Charleston, SC, USA: CreateSpace. 2015. Pp. 1–3 (rus)

11. Van Czyan'go, Czyan Nan. Conservation and Adaptive Reuse of Historic Industrial Buildings in China in the Post-Industrial Era [Sohranenie i adaptivnoe povtornoe ispol'zovanie istoricheskikh promyshlennyh zdaniy v Kitae v postindustrial'nyu epohu]. Pressa o vysshem obrazovanii i Springer. Verlag, 2007. №5-1. Pp. 188–192 (rus)

12. Sysoeva O.I. Reconstruction of industrial facilities [Rekonstrukciya promyshlennyh ob'ektov: ucheb. posobie dlya vuzov]. M-vo obrazovaniya Respubliki Belarus', Belorusskij nacion. tekhn. un-t. Minsk: Belorusskij nacion. tekhnich. un-t. 2005. Pp. 135 (rus)

13. Regame S.K., Bruns D.V., Omel'yanenko G.B. Combination of new and existing buildings during the reconstruction of cities [Sochetanie novoj i slozhivshejsya zastrojki pri rekonstrukcii gorodov]. M.: Strojizdat, 1988 (rus)

14. Tejlor S., Kuper M., Barnuell P. Manchester: Industrial heritage of warehouse facilities. [Promyshlennoe nasledie skladskih ob'ektov]. London: Nasledie Anglii. 2005 (rus)

15. Titova L.O. Architectural lighting of pre-revolutionary factories in Moscow [Arhitekturnoe osveshchenie dorevolucionnyh fabrik v Moskve]. Arhitektura i stroitel'stvo Rossii. 2015. No. 10 (214). Pp. 38–40 (rus)

Information about the authors

Ogienko, Evgeny L. Postgraduate student of the Department of Construction and Architecture, Engineering Academy, Peoples' Friendship University of Russia (RUDN). E-mail: tengue@list.ru. Russia, 115419, Moscow, st. Ordzhinikidze, 3.

Received 12.04.2021

Для цитирования:

Огиенко Е.Л. Отечественные и зарубежные виды объектов редевелопмента под жилье // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2021. № 12. С. 63–72. DOI: 10.34031/2071-7318-2021-7-12-63-72

For citation:

Ogienko E.L. Domestic and foreign types of redevelopment objects for housing. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2021. No. 12. Pp. 63–72. DOI: 10.34031/2071-7318-2021-7-12-63-72

DOI: 10.34031/2071-7318-2021-6-12-73-83

Галдин Р.Е., Алейникова Н.В., Ярмош Т.С.Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова***E-mail: roman.galdin2011@yandex.ru*

ФОРМИРОВАНИЕ РЕКРЕАЦИОННЫХ ЗОН ПУТЕМ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НАРУШЕННЫХ ГОРОДСКИХ ЗЕМЕЛЬ

Аннотация. *Статья посвящена проблемам нарушенных земель, входящих в состав городских территорий, необходимости рекультивации и создания на их основе рекреационных пространств. На территории Белгородской области имеется большое количество карьеров, многие из которых больше не функционируют и именно они нуждаются в преобразовании. Начало работ в данном направлении повлечет за собой улучшение экологической ситуации, повысит качество городской среды, сделает данные объекты инвестиционно привлекательными.*

Авторами статьи рассмотрены основные факторы, влияющие на рекультивацию территории, проанализированы типы грунта и выявлена взаимосвязь геодезии с архитектурной составляющей рекультивации, представлен зарубежный и отечественный опыт в решении проблем, связанных с нарушенными землями, составлена таблица основных карьеров Белгородской области с целью выявления особенностей характерных для данного региона.

В результате исследования выдвигаются предложения и методы, учитывающие региональные особенности, по рекультивации мелового карьера с целью создания на его основе рекреационного пространства и последующей интеграции его в лесопарковый каркас города Белгорода, что приведет к улучшению экологической ситуации и эстетического восприятия города в целом.

Ключевые слова: *рекультивация земель, нарушенные территории, рекреационные территории, ландшафтная архитектура, террасирование, ландшафт, обводнение.*

Введение. В настоящее время большое внимание стало уделяться ландшафтной архитектуре. Такой интерес вызван необходимостью экологического и эстетического преобразования среды городов, а также недостаточным благоустройством и озеленением в зонах техногенного воздействия человека на окружающую среду.

Гармонизировать городскую среду сегодня следует путем преобразования территорий, в которых остро стоит вопрос экологического баланса. В городах становится все больше техногенных территорий, включая промышленные, нарушенные и заброшенные после прекращения производственной деятельности. Восстановление экологии на таких участках также приведет к достижению новой эстетики городской среды [1].

Большую популярность в российском и мировом паркостроении начинает набирать работа, связанная с преобразованием отработанных земель. Нехватка свободных от застройки естественных и нетронутых ландшафтов вынуждают архитекторов обратить внимание на выработанные карьеры, которые становятся частью городов за счет расширения границ населенных пунктов. Развитие современной техники дает архитекторам и градостроителям свободу в творчестве и новые возможности за счет мощных землеройных и транспортирующих машин, которые можно применить в геопластике [2].

При добыче полезных ископаемых происходит нарушение земляного покрова, крупные карьеры достигают глубины 100 и более метров.

Карьеры вблизи крупных городов имеют небольшую глубину, и в основном в них ведется добыча строительного сырья.

В процессе восстановления почв и водоемов выделяют процессы санации и рекультивации. Необходимо не только избавиться от существующего источника загрязнения, но также продумать мероприятия по сохранению территории от будущих возможных негативных воздействий [3].

Восстановление территорий способствует использованию их на нужды города, в сельскохозяйственных и лесных целях, а также для создания рекреационных зон, что отразится на улучшении состояния окружающей среды. Зеленые насаждения защищают землю от водной и ветровой эрозии, а также восстанавливают и украшают окружающий ландшафт, а отработанные карьеры после восстановительных мероприятий можно использовать в качестве экскурсионных объектов [4].

Исследованием процесса рекультивации карьеров по добыче строительных материалов занимались многие ученые – Иванов Ф.Е., Колесников Б.П., Knabe W., Лазарева И.В., Лозовский Л.Ш., Масюк Н.Т., Моторина Л.В., Панков Я.В., Овчинников В.А., Райзберг Б.А., Стародубцева Е.Б., Трещевский И.В., Чертег К.Л., Волшаник В.В. Ими последовательно рассматриваются вопросы утилизации ресурсов, не находящихся прямого применения по назначению, рекультивация как система специальных мероприятий по подго-

товке почв для сельскохозяйственного использования, а также рассматривали мероприятия по созданию и ускорению формирования культурных ландшафтов с продуктивным почвенно-растительным покровом. Противоречие состоит в том, что при наличии общих подходов, выраженных в нормативных и технологических документах, в каждом регионе есть свои геоэкологические особенности [5].

Цель исследования – анализ условий и методов формирования рекреационных территорий, на землях утративших первоначальную ценность и являющихся источником отрицательного воздействия на окружающую среду.

Объект исследования – нарушенные земли, входящие в состав городских территорий, карьеры Белгородской области.

Предмет исследования – особенности архитектурной и экологической рекультивации территории нарушенных горнодобывающей промышленностью.

Задачи исследования:

- выявить взаимосвязь между геологической и архитектурной составляющей рекультивации;
- рассмотреть методы рекультивации территории;
- обозначить особенности карьеров региона;

Материалы и методы. Авторами исследования применялся комплексный и ландшафтно-экологический подходы. Были использованы методы градостроительного и графоаналитического анализа, фотофиксация.

Градостроительный анализ позволит рассмотреть степень включения нарушенных земель в состав городских поселений. Применение ландшафтно-экологического подхода заключается в выявлении проблем, возникающих на территории объекта, и изучение его пространственной структуры, рассмотрение территории с приоритетом восстановления и сохранения биоразнообразия, характерного для данного региона.

Проблемы нарушенных городских земель, а также карьерных разработок в своих работах рассматривали Перькова М.В., Ладик Е.И., Рощупкина О.Е., Кубасова И. В., Данильченко А. О., Тихонова Е. Н. [3, 4, 6, 9, 10, 13].

Основная часть. *Факторы, влияющие на специфику объекта.* При использовании карьера в архитектурном направлении следует учесть следующие факторы, которые, в дальнейшем, помогут определиться и сформировать функциональную составляющую карьера и его организацию в целом:

1. Назначение будущего объекта будет зависеть от месторасположения в системе расселения и возможных путей сообщения с ближайшими населенными пунктами.

2. Большое значение имеет и тип грунта, от него будет зависеть объем работы, требующийся для создания комфортной среды. В основном выделяют скальные, рудные и суглинистые грунты [6], в рамках статьи рассмотрим и мел-мергелистый грунт, как преобладающий в карьерах Белгородской области.

3. Ландшафтные и пластические характеристики карьера помогут определиться с композицией будущего объекта, а также с его спецификой. Рельеф накладывает на участок специфические микроклиматические и экологические особенности. Крутизна рельефа и экспозиция склона влияют на распределение солнечной радиации, температурно-влажностный и ветровой режим участка [7].

Скальные. В скальных карьерах ведутся работы по добыче мрамора, гранита и т. п. В связи с особенностями разработки и расположением полезных ископаемых в толще грунта такие карьеры имеют малые размеры, с преобладающим вертикальным развитием в пространстве. Такие территории больше всего подходят для реализации архитектурной рекультивации: строительства зданий, создания знаковых объектов, спортивных комплексов. Так как в таких карьерах ведется добыча твердых пород, то они не требуют дополнительного укрепления склонов, но из-за этого они плохо поддаются рекультивации. По пластике склонов бывают ломанными, так и геометрически правильными с уступами.

Рудные. В таких карьерах ведется добыча руды, золота, алмазов, адзитов и т. п. Склоны таких карьеров опасны, почва разрушается быстро и с близлежащей территорией, поэтому на таких участках требуется укрепление за счет дополнительных подпорных стенок и геосеток. Именно этот тип карьеров чаще всего нуждаются в рекультивации и ревитализации территории. По размерам рудные карьеры являются самыми крупными. Объемно-пространственное развитие преимущественно глубинное, это связано со спецификой добывания сырья. В Белгородской области крупные рудные карьеры представлены в Губкине и Старом Осколе.

Суглинистые. Суглинистые или глиняные карьеры, в таких карьерах добывают песок, каолиновую глину и т. п. Такие карьеры способны самостоятельно восстановиться в короткие сроки. Они имеют самую разнообразную пластику склонов и по развитию в пространстве являются фронтальными из-за слабых несущих

способностей грунта. Суглинистые карьеры либо затопляются, либо саморекультивируются.

Мел. Одним из достоинств и в тоже время недостатком является хороший дренаж, при поднятии грунтовых вод резко теряет свои несущие способности. Отдельные типы грунтов пучинисты, что создает дополнительные проблемы при строительстве. Хорошо подойдет для растений, нуждающихся в щелочной среде, лучшая среда для многих альпийских растений, некоторых многолетников и кустарников. Добыча мела ведется открытым путем с образованием террас.

Методы регенерации объектов.

Обводнение (рис. 1). Карьер может быть, как обводненным, так и сухим, это будет зависеть от глубины дна карьера и уровня залегания грунтовых вод. В карьерах, где уровень залегания грунтовых вод небольшой, используется специальная техника для откачки лишней воды. Если карьер обводненный, то после исчерпания ресурсного потенциала и остановки работ, карьерную выемку, как правило, затопливают. Такие водоемы носят многоцелевой характер и могут стать средой обитания животных и растений, а также стать частью рекреационной территории. Затопленные карьеры, выемку грунта в которых вели без надлежащего контроля, будучи заброшенными, представляют собой опасность, как для людей, так и для экосистемы в целом, а их внедрение в ландшафт силами самой природы происходит чрезвычайно медленно. Рекультивация и обустройство затопленных карьеров ускоряют этот процесс. Грунтовую воду в затопленных карьерах можно считать безупречной с санитарной точки зрения, после завершения выемки грунта она переходит в разряд поверхностных или озерных вод.

Широкое распространение получило создание рекреационных зон в местах со сложным «отрицательным» рельефом, которые превращают в водоемы.

Грунтовые воды в затопленных карьерах после завершения в них горных работ переходят в разряд поверхностных или озерных вод, качество которых с санитарной точки зрения можно считать безупречным. В зависимости от вида разработки полезных ископаемых будет зависеть глубина самого карьера.

Для водохозяйственного использования обводненных карьеров вода в них должна отвечать рыбохозяйственным и санитарно-эпидемиологическим нормам. Площадь зеркала водной поверхности в рекультивируемых объектах должна быть не менее 5 га для купален и не менее 10 га – для рыбоводства и спортивного рыболовства. Для целей рекреации и поддержания процессов

саморегенерации в водных объектах благоприятными глубинами считают 0,5–2 м и более, общая площадь акватории с такими глубинами должна составлять около 80 % [8].

Важны требования, предъявляемые к форме водного объекта в плане и очертанию его береговых склонов. Для обеспечения устойчивости береговых склонов необходимо проведение земляных работ с уменьшением углов откосов карьерных выемок до 4 %, планировка поверхности, нанесение слоя потенциально плодородных пород [9]. Крутые береговые склоны менее устойчивы и трудоемки с точки зрения их озеленения, что препятствует их рекультивации. Придание более естественной формы не всегда оправдано с экономической точки зрения, трудозатратно, а также может повлиять на эстетическую составляющую. Также на форму и очертание влияет дальнейшее использование территории, например, для водных объектов, предназначенных для купания, рекомендуется создавать более пологие склоны. На границе водного пространства склоны делаются еще более пологими с целью создания наиболее благоприятной среды для растительности, которая в свою очередь способствует закреплению береговой линии.

Возможность использования обводненных карьеров в туристическо-рекреационных целях зависит от геоэкологического сопровождения рекультивации и заложена в сродстве с естественными озерами, тесной определяющей связи рукотворных пластических параметров карьеров с формированием термической, гидрохимической, гидробиологической специфики водной массы [10].

В качестве примера можно рассмотреть обводненный карьер в Воронежской области. «Белый колодец» – крупный меловой карьер (диаметром более 1 км), расположенный в Хохольском районе Воронежской области, недалеко от юго-западной части окраины Воронежа. Месторождение разрабатывалось открытым способом, а после остановки работ карьер остался заброшенным. В результате остановки откачки воды со дна карьера он заполнился водой, а со временем территория карьера заросла деревьями. По направлению освоения данный объект относится к устойчивому рельефу – неразрабатываемый, с безопасными склонами, обладающий историко-культурной и эмоционально-художественной ценностью [11].

В 2003 году часть территории занял спортивный комплекс «Белый колодец» с трассами для картинга, ралли и мотокросса. За пару лет территорию карьера благоустроили, у одного из образовавшихся прудов оборудовали пляж, создали все условия для семейного отдыха на природе.

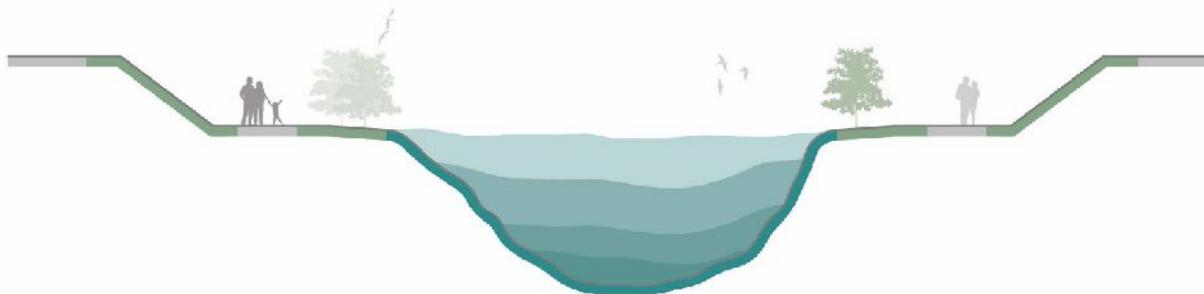


Рис. 1. Обводнение карьеров

Террасирование объекта (рис. 2). Геопластика – это один из самых древних способов формирования и пластической обработки рельефа путем искусственного создания его форм с учетом эстетических и функциональных требований объекта [12]. Террасирование как элемент геопластики используется для изменения оврагов и склонов, сооружения террас.

В большинстве случаев террасы создаются еще на стадии разработки самого карьера и не требуют их изменения после его выработки, что снижает трудозатраты и экономическую составляющую будущего объекта. Тем не менее, требуются работы по укреплению склонов и созданию подпорных стенок с целью предотвращения осыпания грунта. Стенки возводятся из различных материалов, таких как бетон, дерево, кирпич, камень, строительные блоки, металл и другие. Все эти материалы достаточно устойчивые и при их правильном сооружении движение грунта прекращается.

Разрушение горных пород при эксплуатации объекта недопустимо, для предотвращения эрозии применяется террасирование склонов, но и при этом нельзя полностью исключить осыпание грунта. Грамотно подобранная система содержания почвы позволит уменьшить или в целом прекратить поверхностный сток – одну из причин эрозии на террасированных склонах [13].

Террасирование имеет несколько достоинств: оно предотвращает эрозию земли, создает функциональные площадки, помогает использовать овраги для возделывания земли и выращивания культурных и декоративных растений, выстраивается многоплановая композиция с уникальным ландшафтом. За счет террасирования создается база для функционального зонирования будущей территории парка, это могут быть площадки для автомобилей, площадки для разбивки цветников и мощения дорожек, обустройство водоемов, декоративных ступеней и террас, смотровых и игровых площадок [14]. В настоящее время современная техника дает больше простора для геопластики и воплощения идей ландшафтного архитектора.

С целью наилучшего эстетического восприятия и создание места с уникальным ландшафтом в городских условиях, не всегда требуется полностью ликвидировать результаты промышленного производства. С помощью ландшафтных приемов некоторые нарушения, полученные в результате карьерных выработок, могут быть органично включены в композицию будущего объекта, например, обнаженные пласты гранита, мрамора и других пород [15].



Рис. 2. Террасирование карьеров

Один из первых парков, созданных на месте выработанного карьера Бют-Шомон в Париже, выполнен с применением метода террасирования. Первоначально, здесь был карьер, из которого добывали гипс, а также известняк для постройки зданий не только в Париже, но и в Соединенных Штатах. После того, как данная территория была присоединена к Парижу, императором Наполеоном III был издан указ о постройке парка. Рабочие провели террасирование четырех уровней, проложили более пяти километров дороги, заменили верхний слой грунта, высадив различные кустарники и деревья на большой площади, равняющейся двадцати пяти гектарам. Парк был открыт в 1867 г. в рамках Всемирной выставки.

В парке находится всемирно известный Бельведер Сивиллы, который расположен на скалистом возвышении, в самом центре парка. Парк Бют-Шамон является одним из самых крупных парков Парижа, на его территории находятся несколько мостов и утесов, озеро, грот с водопадом, ряд садов: английских и китайских.

Облесение или озеленение карьеров (рис. 3). После выработки карьеров, большинство из них остаются на естественное зарастание. На карьерах по добычи песка и гравия в течение первых 5 лет растительность отсутствует. По истечению этого срока начинается формирование травяного покрова с древесными растениями, преимущественно: тополей, ивы трехтычинковой и облепихи крушиновой. На других карьерах зарастание начинается по прекращению промышленной деятельности. Через 8–10 лет появляются древесные растения с доминированием дикоплодовых (облепиха крушиновая, мушмула германская, шиповник, алыча и груша кавказская) [16].

Для создания ландшафтных композиций и для ускорения данного процесса его озеленяют искусственно. В ходе данного метода не меняют форму рельефа карьера, а наоборот, стараются придать участку первозданный вид. Озеленение территории может носить как рекреационный характер, так и использоваться практически для сельскохозяйственного, используются под луга, пастбища, многолетние насаждения, и сельскохозяйственного направления, используются под лесопосадки, в таком случае данный метод используют в сочетании с террасированием для достижения наилучшего результата.

В зависимости от будущего назначения и типа грунта подбираются определенные породы деревьев. При облесении гравийных карьеров используются смешанные культуры березы с сосной и облепихой. На меловых карьерах целесообразно производить пескование верхнего слоя почвы, так как искусственное формирование техногенных почв на поверхности мело-мергельных отвалов способствует созданию благоприятных условий для роста лесных насаждений в меловых карьерно-отвальных ландшафтах [17] и высаживать культуры сосны и березы, тополевые культуры, плантации шиповника. При озеленении терриконов, рудных и каменных карьеров высаживают бобовые культуры, вяз, иву, кизильник. На торфяниках в качестве лесообразующих пород используют сосну обыкновенную, ель европейскую, ольху черную, березу пушистую. Достоинством данного метода является минимальные экономические вложения и небольшие трудозатраты. Минус заключается в долгосрочности, после высадки зеленых насаждений начинается этап естественного восстановления, который может длиться десятки лет.



Рис. 3. Облесение карьеров

Один из самых известных парковых комплексов Канады – сад Бутчартов в Ванкувере, построен на месте бывшего карьера по добыче известняка. Семья Бутчартов в 1904 году приехала

в Брентвуд Бэй из-за больших запасов известняка и построили дом рядом с карьером по его добыче. В 1909 году, залежи в карьере иссякли и тогда предприимчивая Дженни Бутчарт вместе со

своим мужем Пимом Бутчартом перевезли тонны почвы, чтобы засыпать часть поверхности заброшенного карьера, а затем начали постепенно озеленять его. В садах Бутчартов представлено 5 тематических садов: японский, средиземноморский, итальянский, затонувший и розовый [18].

Розарий представлен одной из самых больших коллекций роз в мире: в общей сложности выращиваются 117 сортов чайных розовых кустов, 64 видов Флорибунда и 400 сортов Грандифлора. Японский сад усеян гималайскими синими маками, здесь проложены пологие тропинки, которые ведут к прудам и мостам, японским кленам и буковым деревьям. Итальянский сад ограничен двумя арочными входами, в центре крестообразный фонтан, окруженный однолетними растениями. Средиземноморский сад – это небольшая территория с экзотическими растениями со всего мира. О том, что здесь когда-то был карьер, напоминают породы известняка возле фонтана Росса и на небольших смотровых площадках.

Заключение. В настоящее время в Белгородской области ведется разработка более 300 карьеров по добыче полезных ископаемых без учета несанкционированных карьеров [19]. Также на территории области находится большое количество отработанных карьеров, в которых качество меловых отложений в связи с их выработкой не соответствует стандартам, в связи с этим карьеры закрываются, должна проводиться рекультивация нарушенных территорий. Из нижеприведенной таблицы 1 становится наглядно, что внедрение карьеров в структуру городских поселений уже происходит и в дальнейшем времени, в связи ростом городов, этот процесс только ускорится.

На основе вышеприведенной таблицы 1 и информации приведенной в статье можно выделить некоторые особенности характерные для карьеров данного региона:

— преобладающее количество карьеров по добыче мела и как следствие с меловым типом грунта;

— по распределению карьеров в Белгородской области можно выделить большую концентрацию карьеров в Белгородско-Шебекинском и Губкинско-Старооскольском ареалах;

— по пластическим характеристикам карьеры преимущественно имеют пространственное

развитие и небольшую глубину разработки, выделяются лишь Губкинско-Старооскольский ареал, где карьеры имеют глубинное развитие;

— часть представленных карьеров входит в состав городских территорий, другая часть непосредственно граничит с ней и, несомненно, войдет в нее, а после прекращения разработки и без рекультивации перейдет в разряд деградирующих земель;

— присутствуют карьеры, в которых после прекращения работ, на дне скапливается вода (после дополнительных исследований ее качества, может быть применен метод обводнения для данных территорий);

— меловые карьеры обладают высокими пейзажными характеристиками, создание на их основе рекреационных территорий повысит их привлекательность, как для горожан, так и для гостей города.

На основе этой краткой характеристики уже можно выбирать направление и методы рекультивации, которые будут учитывать особенности региона и дадут максимальный положительный эффект.

В Докладе о состоянии и использовании земель в Белгородской области (Росреестр, 2019) отражено, что практически по всей территории области продолжается тенденция ухудшения состояния земель, а также на территории самого города Белгорода. Так, площадь нарушенных земель на 1 января 2019 г. составила 6,5 тыс. га. Как следует из документа, нарушенные земли в основном образовались при разработке открытым способом месторождений полезных ископаемых, переработке и проведении геологоразведочных работ [20].

В связи с этим требуется заняться рекультивацией карьерных выемок. В целях ускорения их рекультивации, а также интеграции в лесопарковый каркас города Белгорода и Белгородской области следует проводить мероприятия по созданию в карьерах рекреационных зон.

Меловой карьер “Полигон” цементного завода на территории Белгорода хорошо подходит для данной цели, создание там рекреационной лесопарковой зоны создаст элемент природного защитного каркаса в северно-западной части города, в дальнейшем повлечет за собой улучшение экологической ситуации. Вышеизложенные методы хорошо подходят для данной территории, а их сочетание дополнит друг друга и даст максимальный эффект.

Таблица 1

Основные карьеры Белгородской области

Месторасположение/Название	Схема расположения в структуре населенного пункта	Вид сверху	Общие виды	Добываемое сырье/ Тип грунта
Карьер цементного завода «Меловой карьер «Полигон», г. Белгород			 [Источник: https://7x7-journal.ru/posts/2019/06/12/melovoj-karer-v-belgorode]	Мел для изготовления цемента. Меловой тип грунта
Карьер Лебединского ГОКа, г. Губкин			 [Источник: https://chistoprudov.livjournal.com/21238.html]	Обогащенная железная руда. Рудный тип грунта
Карьер Стойленского ГОКа, г. Старый Оскол			 [Источник: https://chistoprudov.livjournal.com/183072.html]	Богатая железная руда и железистые кварциты. Рудный тип грунта
Карьер Шебекинского мелового завода, г. Шебекино			 [Источник: https://shebekinomel.ru/about/]	Высококачественный тонкодисперсный мел. Меловой тип грунта
Меловой карьер Петропавловского месторождения, село Петропавловка			 [Источник: https://vk.com/album-197001155_273274026]	Мел. Меловой тип грунта

На основе анализа грунтов карьера для этапа облесения территории можно рекомендовать следующие породы древесных и кустарниковых культур: клен серебристый, клен татарский, лох узколистный, береза бородавчатая, вяз, акация белая, акация желтая, тополь, ива, сосна, боярышник, бузина и смородина золотистая. Для формирования экологически устойчивых зеленых насаждений возможно создание смешанных парковых зон с использованием культур в следующем соотношении: главные породы – до 60 %, сопутствующие – до 20 %, кустарники – до 20 % [21].

Строительство в данном месте не выгодно из-за необходимости отвода воды со дна карьера, установки дренажной системы, а также особенностей грунта, который при контакте с водой будет разрушаться. Созданные террасы в ходе разработки и водное пространство на дне карьера позволяют снизить экономические вложения и трудозатраты при создании рекреационной зоны, а посадка растений на территории карьера укрепит берега образовавшегося водоема и его склоны. Дефицит парковых зон в черте города, а также необыкновенный ландшафт создают возможность для создания уникального объекта, как для города, так и для области в целом.

Научная новизна исследования:

— выявлена взаимосвязь между геологической и архитектурной составляющей рекультивации, рассмотрены типы грунтов, в рамках статьи также рассмотрен меловой тип грунта как преобладающий в карьерах Белгородской области;

— выделены особенности карьеров характерные для данного региона;

— сформулированы предложения по рекультивации мелового карьера цементного завода, как образца для дальнейшего восстановления меловых карьеров региона.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Нефёдов В.А. Ландшафтный дизайн и устойчивость среды. С. Петербург, 2002. 295 с.
2. Вергунов А.П., Денисов М.Ф., Ожегов С.С. Ландшафтное проектирование. Архитектура-С. Москва, 1991. 237 с.
3. Перькова М.В., Заикина А.С. Пути решения проблем деградирующих территорий в г. Шебекино // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2016. №6. С. 58–63.
4. Роцупкина О.Е. Регенерация нарушенных территорий // Международная научно-техническая конференция молодых ученых БГТУ им. В.Г. Шухова: Посвящена 165-летию В.Г. Шухова, Белгород, 01–20 мая 2018 года. – Белгород:

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2018. С. 460–466.

5. Бортникова Г.А., Межова Л.А., Луговской А.М., Евдокимов М.Ю., Ткачев А.Ю., Рихардт П.В. Геоэкологическая рекультивация и санация территорий карьеров по добыче строительных материалов // Проблемы региональной экологии. 2018. №6. С. 40–45.

6. Кубасова И.В., Ляпцев Н.Н. Рекультивация карьеров // Материалы международного научно-методического семинара «Совершенствование гуманитарных технологий в образовательном пространстве вуза: факторы, проблемы, перспективы» (Екатеринбург, 15 марта 2017 г.). Екатеринбург : УрФУ, 2017. С. 271–278.

7. Коваленко К.К., Петухов В.В. Анализ отечественного и зарубежного опыта исследования архитектурно-дизайнерской среды на сложном рельефе и его применение в городе Владивостоке // Проблемы современной науки и образования. 2017. №24(106). С. 66–70. DOI 10.20861/2304-2338-2017-106-002.

8. Васильченко, А.В. Рекультивация нарушенных земель. Часть 1: учебное пособие : в 2-х частях. Саратов : Профобразование, 2020. 158 с. ISBN 978-5-4488-0561-5.

9. Тальгаммер Б.Л., Франчук А.В., Снетков В.И. Обоснование параметров рекультивации нарушенных земель при открытом способе разработки рудных месторождений // Известия Сибирского отделения РАН. Геология, поиски и разведка рудных месторождений. 2013. №2(43). С. 103–108.

10. Данильченко А.О., Романчук А.И., Хомич С.А. Базовые принципы ревитализации обводненных меловых карьеров для использования в туристско-рекреационных целях // Беларусь в современном мире : материалы XVII Международной научной конференции, посвященной 97-летию образования Белорусского государственного университета, Минск, 26 октября 2018 года / Председатель редсовета В.Г. Шадурский. Минск: Белорусский государственный университет, 2018. С. 245–247.

11. Тихонова Е.Н., Малинина Т.А., Селиванова А.С., Бархударян Д.А. Рекреационная рекультивация территории как основа создания паркового пространства // Лесотехнический журнал. 2018. Т. 8. №4(32). С. 148–156. DOI 10.12737/article_5c1a321ee78a99.60431193.

12. Гончарук, Д.С. Геопластика как основа новых тенденций в ландшафтном строительстве // Технологии и оборудование садово-паркового и ландшафтного строительства : сборник статей Всероссийской научно-практической конференции, Красноярск, 20 декабря 2018 года. Красноярск: Федеральное государственное бюджетное

образовательное учреждение высшего образования "Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева", 2019. С. 160–162.

13. Аушев М.К., Плиева А.А. Обзор основных методов борьбы с водной эрозией на склоновых землях // Известия Дагестанского ГАУ. 2021. №2(10). С. 62–67.

14. Перькова М.В., Ладик Е.И. Формирование рекреационных зон на нарушенных территориях // Синергия наук. 2017. №16. С. 427–436.

15. Затолокина Н.М., Лукашева Н.В., Кононова О.Ю. Отрицательный рельеф как инструмент для создания рекреационных зон в городских территориях // Вектор ГеоНаук. 2019. Т. 2. №3. С. 68–74. DOI 10.24411/2619-0761-2019-10035.

16. Алиев И.Н., Хамарова З.Х. Естественное облесение нарушенных земель в КБР // Лесотехнический журнал. 2012. №4(8). С. 137–141.

17. Панков Я.В., Андриющенко П.Ф., Деденко Т.П. Особенности роста лесных культур в меловых карьерно-отвальных ландшафтах Курской

магнитной аномалии // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. 2008. №6. С. 104–107.

18. Лазарева И.В., Оленьков В.Д. Градостроительное освоение нарушенных территорий // Градостроительство. 2012. №3(19). С. 34–43.

19. Ярмош Т.С., Перькова М.В., Пусный Л.А. Ландшафтная архитектура. Белгород : Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2020. 305 с.

20. Даниленко Е.П., Акулова А.А., Барышенская О.Н. Рекультивация нарушенных земель и устранение накопленного вреда окружающей среде города Белгород // Вектор ГеоНаук. 2020. Т. 3. №1. С. 62–70. DOI 10.24411/2619-0761-2020-10007.

21. Пендюрин Е.А., Старостина И.В., Смоленская Л.М. Исследование почв и подстилающих пород в районе карьера ЗАО "Белгородский цемент" с целью их применения при рекультивации // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2011. №4. С. 183–186.

Информация об авторах

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

Алейникова Надежда Васильевна, старший преподаватель кафедры архитектуры и градостроительства. E-mail: boroda6.0@mail.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

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

Поступила 31.05.2021 г.

© Галдин Р.Е., Алейникова Н.В., Ярмош Т.С., 2021

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

Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov

**E-mail: roman.galdin2011@yandex.ru*

FORMATION OF RECREATIONAL AREAS BY USING DISTURBED URBAN LANDS

Abstract. *The article is devoted to the problems of disturbed lands that are part of urban territories, the need for reclamation and the creation of recreational spaces based on them. There are a large number of quarries on the territory of the Belgorod region, many of which are no longer functioning and they need to be transformed. The work in this direction entails an improvement in the environmental situation, increases the quality of the urban environment and makes these objects attractive for investment. The authors consider the main factors affecting the reclamation of the territory, analyze the types of soil and identify the relationship of geodesy with the architectural component of reclamation, present foreign and domestic experience in solving problems related to disturbed lands, comply a table of the main quarries of the Belgorod region in order to identify features characteristic of this region. As a result of the research, proposals and methods are put forward, taking into account regional peculiarities, for the reclamation of a chalk quarry in order to create a recreational space and then integrate it into the forest park framework in Belgorod, which will lead to an improvement in the environmental situation and aesthetic perception of the city as a whole.*

Keywords: *land reclamation, disturbed territories, recreational territories, landscape architecture, terracing, landscape, watering.*

REFERENCES

1. Nefedov V.A. Landscape design and environmental sustainability [Landshaftnyjdizajn i ustojchivost' sredy]. St. Petersburg. 2002. 295 p. (rus)
2. Vergunov A.P., Denisov M.F., Ozhegov S.S. Landscape design [Landshaftnoeproektirovanie]. Architecture-c. Moscow. 1991. 237 p. (rus)
3. Perkova M.V., Zaikina A.S. Ways to solve the problems of degraded territories in Shebekino [Puti resheniya problem degradiruyushchih territorij v g. Shebekino]. Bulletin of BSTU named after V.G.Shukhov. 2016. No. 6. Pp. 58–63.(rus)
4. Roshchupkina O.E. Regeneration of disturbed territories [Regeneraciya narushennyh territorij]. Mezhdunarodnaya nauchno-tekhnicheskaya konferenciya molodyh uchenyh BGTU im. V.G. Shuhova :Posvyashchena 165-letiyu V.G. Shuhova, Belgorod. 2018. pp. 460–466.(rus)
5. Bortnikova G.A., Mezhova L.A., Lugovskoy A.M., Evdokimov M.Yu., Tkachev A.Yu., Richard P.V. Geocologicalrecultivation and rehabilitation of quarry territories for the extraction of building materials [Geoekologicheskaya rekul'tivaciya i sanaciya territorij kar'erov po dobyche stroitel'nyh materialov]. Problems of regional ecology. 2018. No. 6. Pp. 40–45 (rus)
6. Kubasov I.V., Laptev N.N. Reclamation of quarries [Rekul'tivaciya kar'erov]. Materialy mezhdunarodnogo nauchno-metodicheskogo seminara «Sovershenstvovanie gumanitarnyh tekhnologij v obrazovatel'nom prostranstve vuza: faktory, problemy, perspektivy». 2017. Pp. 271–278.(rus)
7. Kovalenko K.K., Petukhov V.V. The Analysis of domestic and foreign experience in research and architectural design environment for complex topography and its application in the city of Vladivostok [Analiz otechestvennogo i zarubezhnogo opyta issledovaniya arhitekturno-dizajnerskoj sredy na slozhnom rel'efe i ego primenenie v gorode Vladivostoke]. Problems of modern science and education. 2017. No. 24(106). Pp. 66–70. DOI 10.20861/2304-2338-2017-106-002. (rus)
8. Vasilchenko, A.V. Recultivation of disturbed lands [Rekul'tivaciya narushennyh zemel']. Part 1: Tutorial: in 2 parts. Saratov: Vocational Education, 2020. 158 p. (rus)
9. Talgamer B.L., Franchuk A.V., Snetkov V.I. Justification of the parameters of recultivation of disturbed lands in the open method of ore deposits development [Snetkov V.I. Obosnovanie parametrov rcul'tivacii narushennyh zemel' pri otkrytom sposobe razrabotki rudnyh mestorozhdenij IzvestiyaSibirskogootdeleniya RAEN. Geologiya, poiski i razvedka rudny hmestorozhdenij. 2013. No. 2(43). Pp. 103–108.(rus)
10. Danilchenko A.O., Romanchuk A.I., Khomich S.A. Basic principles of revitalization of watered chalk quarries for use in tourist and recreational purposes [Bazovye principy revitalizacii obvodnen-nyh melovyh kar'erov dlya ispol'zovaniya v turistsko-rekreacionnyh celyah]. Belarus' v sovremennom mire : materialy XVII Mezhdunarodnoj nauchnoj konferencii, posvyashchen-noj 97-letiyu obrazovaniya Belorusskogo gosudarstvennogo universiteta, Minsk, 26 oktyabrya 2018 goda 2018. Pp. 245–247. (rus)
11. Tikhonova E.N., Malinina T.A., Selivanova A.S., Barkhudaryan D.A. Recreational recultivation of the territory as the basis for creating a park space [Rekreacionnaya rekul'tivaciya territorii kak osnova sozdaniya parkovogo prostranstva]. Lesotekhnicheskij zhurnal. 2018. Vol. 8. No. 4(32). Pp. 148–156. DOI 10.12737/article_5c1a321ee78a99.60431193.(rus)
12. Goncharuk, D.S. Geoplastics as the basis of new trends in landscape construction Geoplastika kak osnova novyh tendencij v landshaftnom stroitel'stve]. Technologies and equipment of garden and landscape construction : collection of articles of the All-Russian scientific and practical Conference, Krasnoyarsk, December 20, 2018. Krasnoyarsk: Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Siberian State University of Science and Technology named after Academician M. F. Reshetnev", 2019. Pp. 160–162.(rus)
13. Aushev M.K., Plieva A.A. Review of the main methods of combating water erosion on slope lands [Obzor osnovnyh metodov bor'by s vodnoj eroziej na sklonovyh zemlyah]. Daghestan GAU Proceedings. 2021. No. 2(10). Pp. 62–67.(rus)
14. Perkova M.V., Ladik E.I. Formation of recreational zones in disturbed territories [Otricatel'nyj rel'ef kak instrument dlya sozdaniya rekreacionnyh zon v gorodskih territoriyah]. Synergy of sciences. 2017. No. 16. Pp. 427–436.(rus)
15. Zatolokina N.M., Lukasheva N.V., Kononova O.Yu. Negative relief as a tool for creating recreational zones in urban areas [Otricatel'nyjrel'efkak instrument dlyasozdaniya-rekreacionnyhzon v gorodskihterritoriyah]. Vector Geosciences. 2019. Vol. 2. No. 3. Pp. 68-74. DOI 10.24411/2619-0761-2019-10035.(rus)
16. Aliev I.N., Khamarova Z.H. Natural afforestation of disturbed lands in the CBD [Estestvennoe oblesenie narushennyh zemel' v KBR]. Lesotekhnicheskij zhurnal. 2012. No. 4(8). Pp. 137–141.(rus)

17. Pankov Ya.V., Andryushchenko P.F., Dedenko T.P. Features of the growth of forest crops in the Cretaceous quarry-dump landscapes of the Kursk magnetic anomaly [Osobennosti rosta lesnyh kul'tur v melovyh kar'erno-otval'nyh landshaftah Kurskoj magnitnoj]. *Lesnoy zhurnal* (Russian forestry journal). 2008. No. 6. Pp. 104–107. (rus)

18. Lazareva I.V., Olenkov V.D. Town-planning development of disturbed territories [Gradostroitel'noe osvoenie narushennyh territorij]. *Urban Planning*. 2012. No. 3(19). Pp. 34–43. (rus)

19. Yarmosh T.S., Perkova M.V., Pusny L.A. Landscape architecture [Landshaftnaya arhitektura]. Belgorod: Belgorod State Technological University named after V. G. Shukhov. 2020. 305 p. (rus)

20. Danilenko E.P., Akulova A.A., Baryshenskaya O.N. Recultivation of disturbed lands and

elimination of accumulated damage to the environment of the city of Belgorod [Rekul'tivaciya narushennyh zemel' i ustranenie nakoplenogo vreda okruzhayushchej srede goroda Belgorod]. *Vector Geosciences*. 2020. Vol. 3. No. 1. Pp. 62–70. DOI 10.24411/2619-0761-2020-10007. (rus)

21. Pendyurin E.A., Starostina I.V., Smolenskaya L.M. Research of soils and underlying rocks in the area of the quarry of JSC "Belgorod Cement" for the purpose of their use in recultivation [Issledovanie pochv i podstilayushchih porod v rajone kar'era ZAO "Belgorodskij cement" s cel'yu ih primeneniya pri rekul'tivacii]. *Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov*. 2011. No. 4. Pp. 183–186. (rus)

Information about the authors

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

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

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

Received 31.05.2021

Для цитирования:

Галдин Р.Е., Алейникова Н.В., Ярмош Т.С. Формирование рекреационных зон путем использования нарушенных городских земель // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2021. № 12. С. 73–83. DOI: 10.34031/2071-7318-2021-6-12-73-83

For citation:

Galdin R.E., Aleynikova N.V., Yarmosh T.S. Formation of recreational areas by using disturbed urban lands. *Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov*. 2021. No. 12. Pp. 73–83. DOI: 10.34031/2071-7318-2021-6-12-73-83

ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ

DOI: 10.34031/2071-7318-2021-6-12-84-97

Трубицын М.А., Воловичева Н.А., Фурда Л.В., Скрыпников Н.С.Белгородский государственный национальный исследовательский университет***E-mail: troubitsin@bsu.edu.ru*

ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ НА ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СУБМИКРОННОГО ОКСИДА АЛЮМИНИЯ В α -ФОРМЕ

Аннотация. Проведены экспериментальные исследования влияния технологических параметров помола в шаровой мельнице на кинетику процесса измельчения и гранулометрические характеристики активированного оксида алюминия в α -форме. Установлено, что использование мелющих тел шарообразной формы приводит к формированию специфического четырехмодального гранулометрического состава с максимумами: 0,5; 4,0; 50,0 и 400,0 мкм соответственно. Недостатком использования шарообразных мелющих тел является неравномерное распределение вносимой добавки-интенсификатора (ПЭГ), что в свою очередь вызывает слипание тонкодисперсных частиц и появление агрегатов. Особенно ярко это выражено при $n = 100$ об/мин. При использовании мелющих тел цилиндрической формы, напротив, сохраняется тенденция к бимодальному характеру распределения частиц с максимумами в районах 0,4 и 4 мкм соответственно, независимо от скорости вращения барабана (n). Применение цельнебсов не провоцирует агломерацию тонкодисперсной фракции частиц, которая наблюдается в случае шарообразных мелющих тел. При анализе кинетики измельчения глиноземистого сырья выделены две основные стадии процесса. Первая стадия соответствует активному дроблению крупных исходных агрегатов на слагающие кристаллиты по механизму раскалывания. Вторая стадия соответствует изменению механизма измельчения с дробления на процесс истирания. Установлено, что проведение процесса измельчения в течение 10 часов с использованием цилиндрических мелющих тел при $n = 100$ об/мин и $\varphi = 0,35$ обеспечивает высокий выход субмикронной фракции целевого продукта (1 мкм) – до 20 масс. %.

Ключевые слова: реактивный глинозем, шаровая мельница, диспергация, гранулометрический состав, кинетика измельчения, ультрадисперсные порошки

Введение. Создание теплотехнических композиционных материалов нового поколения стало возможно благодаря разработке и использованию в их составе принципиально новых матричных систем [1, 2]. В таких матричных системах значительная часть кальций-фосфатных гидравлических вяжущих замещается на ультрадисперсные минеральные продукты, прежде всего, на реактивный глинозем [3–5]. Важным технологическим преимуществом субмикронного активированного оксида алюминия является его способность к спеканию при пониженных температурах, обеспечивая формирование плотной керамической матрицы, что необходимо для достижения требуемой однородности микроструктуры и высоких механических свойств теплотехнических композитов [6, 7].

В процессе производства ультрадисперсного активного Al_2O_3 обожжённое глиноземистое сырьё диспергируют до первичных беспористых кристаллов, что обеспечивает снижение водопотребности огнеупорных литевых масс, а в режиме эксплуатации – формирование плотной спеченной структуры при пониженных температурах [8, 9].

Для тонкого и сверхтонкого измельчения сегодня используют различные типы помольных агрегатов: вибрационные, струйные и вихревые мельницы, которые наряду с явными преимуществами, имеют и свои существенные недостатки [10, 11]. Вместе с тем, одним из наиболее простых, экономичных и распространенных помольных агрегатов остаются барабанные шаровые мельницы [12]. Однако в случае их применения для сверхтонкого измельчения актуальным остается вопрос выбора оптимальных параметров процесса. Ранее для этих целей применяли мокрый способ измельчения глинозема, при 50 %-ной влажности суспензий этот способ был на 20–100 % эффективнее сухого [13, 14]. Это связано с действием воды как поверхностно активного вещества с ее дезагрегирующим действием, большей удельной (на одну частицу) энергией удара шаров и меньшем демпфирующим действием суспензии по сравнению с сухим порошком в слое [15].

При сухом измельчении в шаровых мельницах периодического действия происходит агрегация дисперсных частиц после достижения их критического размера (60–65 % частиц размером

< 2 мкм [16]), что делает дальнейшую диспергацию материала малоэффективной. С целью предотвращения агрегации высокодисперсных частиц в настоящее время применяют различные добавки-интенсификаторы помола. Действие таких реагентов традиционно объясняется теорией адсорбционного понижения прочности твердых тел, основанной на эффекте А.П. Ребиндера [17]. Согласно этой теории, подобные добавки, вводимые в глиноземистое сырье в процессе измельчения, оказывают расклинивающий эффект, основанный на проникновении молекул интенсификатора в зародышевые трещины. Также имеет место так называемое капсулирующее действие интенсификатора помола, которое заключается в формировании адсорбционного слоя его молекул на поверхности зерен измельчаемого материала. При этом зерна приобретают одноименный заряд, который отталкивает их друг от друга, от мелющих тел и от футеровки мельницы. В настоящее время российскими и зарубежными производителями выпускается широкий ряд коммерческих продуктов-интенсификаторов помола. Как правило, они базируются на соединениях группы аминов (триэтанолмин, триизопропанолмин),

гликолей (диэтиленгликоль, полипропиленгликоль) и ПАВ (лигносульфонаты, полиметилсульфонаты натрия, поликарбоксилаты) [18].

Целью настоящей работы являлось проведение исследования влияния технологических параметров помола глиноземистого сырья в шаровой мельнице на кинетику процесса измельчения и гранулометрические характеристики активированного оксида алюминия в α -форме.

Методология. Для получения ультрадисперсного порошкового материала в качестве исходного сырья использовали глинозем марки Nabalox NO 105 компании Nabaltec AG (Германия), который представляет собой полидисперсный порошок белого цвета. Согласно результатам определения химического состава, указанный сырьевой материал содержит Al_2O_3 в количестве 99,57 масс. %. Также зафиксировано содержание Na_2O 0,30 масс. % и оксидов кремния и железа (III) в количестве 0,02 и 0,03 масс. % соответственно. По минералогическому составу (рис. 1) глинозем Nabalox NO 105 представлен преимущественно кристаллической фазой α - Al_2O_3 (содержание – не менее 98 %).

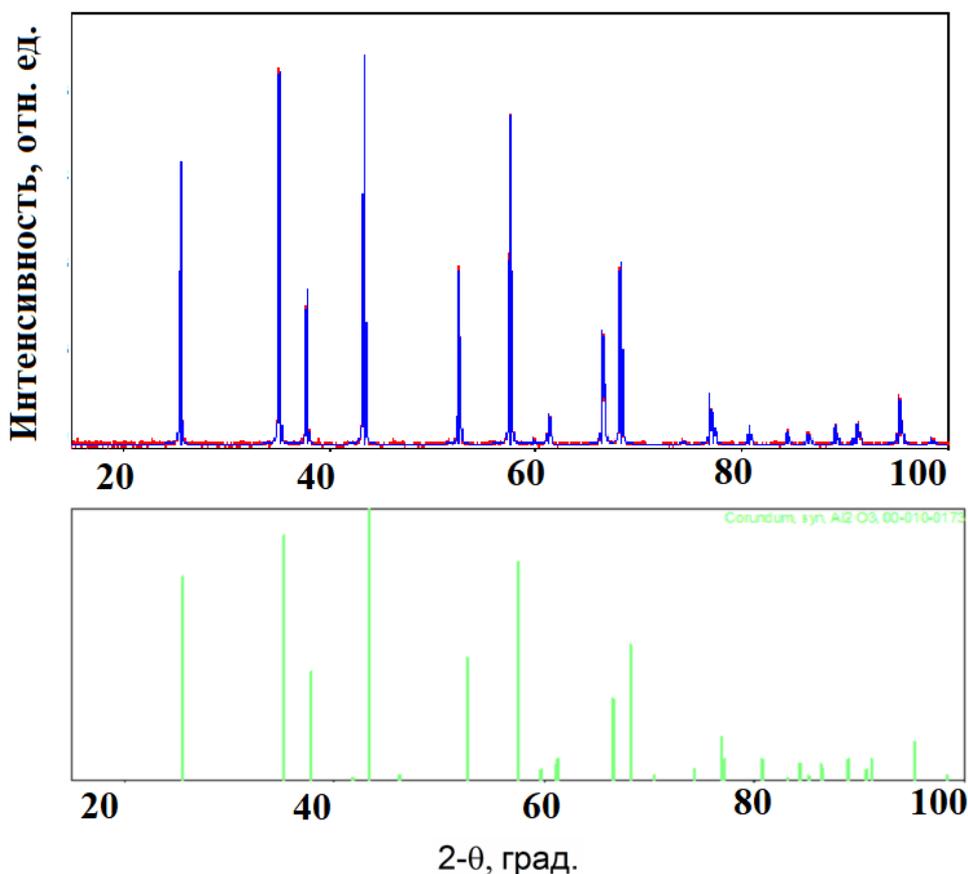


Рис. 1. Порошковая дифрактограмма исходного глинозема Nabalox NO 105

Зерна глиноземистого сырья представляют собой спекшиеся агломераты, сложенные двумя типами первичных кристаллов: изометрические

кристаллы округлой формы размером 0,5–1 мкм; пластинчатые кристаллы толщиной менее 1 мкм и длиной 5–12 мкм (рис. 2).

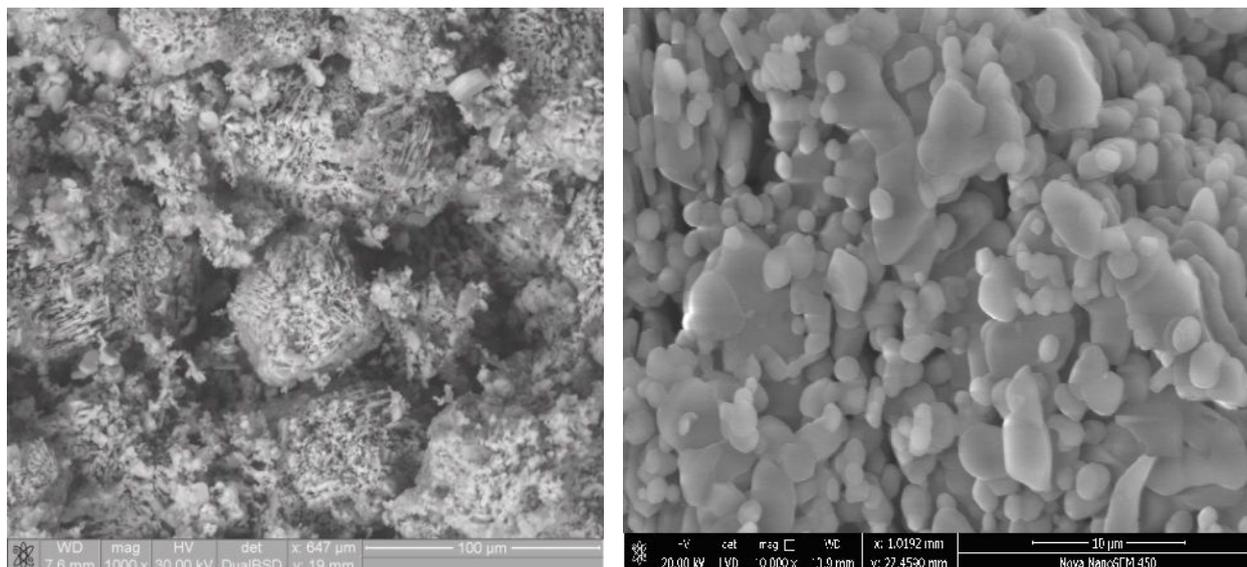


Рис. 2. СЭМ-микротографии исходного Nabalox NO 105

Медианный размер зерен D_{50} – 67 мкм, а суб-микронная фракция ($\leq 1,0$ мкм) практически отсутствует (рис. 3). Насыпная плотность – 0,95 г/см³.

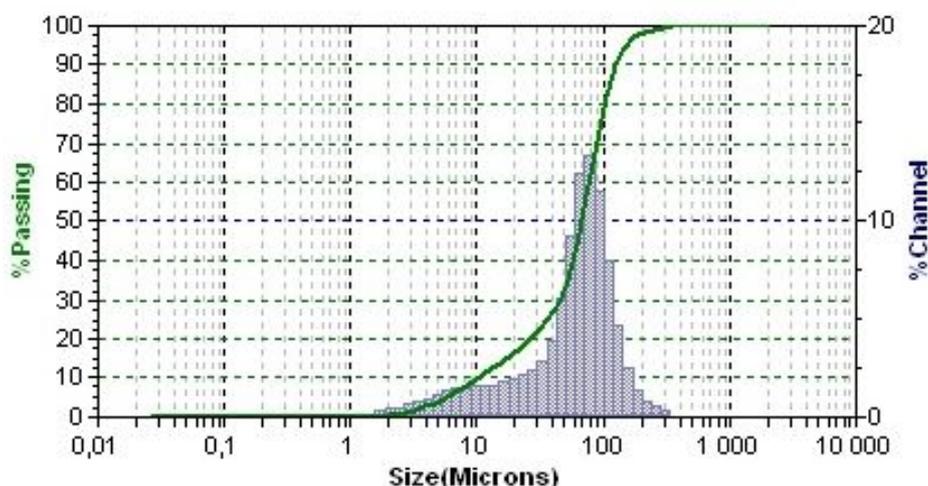


Рис. 3. Гранулометрическое распределение частиц исходного Nabalox NO 105

В качестве интенсификатора помола использовали полиэтиленгликоль (ПЭГ) средней молекулярной массы 380–440, представляющий собой вязкую жидкость желтоватого оттенка. Массовая доля интенсификатора составляла 0,05 % от загружаемого глиноземистого сырья.

Сухое измельчение глинозема осуществляли в лабораторной мельнице МЛ-1 (производитель ООО «Научно-производственный центр керамики», Россия) с размольными барабанами из высокоглиноземистого фарфора с рабочим объемом 2 дм³, внутренний диаметр – 16,0 см. Скорость вращения барабана варьировали при помощи частотного регулятора. В качестве мелющих тел использовали корундовые мелющие тела различного размера и конфигурации. Коэффициент K , характеризующий соотношение объема измель-

чаемого материала к объему пустот между мелющими телами (активная зона измельчения), во всех случаях принимали равным 1.

Определение гранулометрического состава продуктов измельчения глинозема проводили на анализаторе размеров частиц «Microtrac s3500» (США) методом лазерной дифракции. Диапазон измерения: диспергирование в жидкости от 0,02 до 2800 мкм, количество пробы для диспергирования в жидкости 0,1–2 см³ в 500 мл жидкости. В качестве дисперсионной среды при исследовании использовали дистиллированную воду. Необходимое количество пробы, которое контролируется системой прибора, вносили в ячейку, заполненную дисперсионной средой. Перед измерением проводили ультразвуковое диспергирование пробы в дисперсионной среде. Измерение размера частиц идет автоматически, прибор вы-

полняет три последовательных измерения и формирует средний результат в виде итоговой интегральной кривой и гистограммы распределения частиц по размеру.

Изучение кинетических зависимостей процесса измельчения проводили путем анализа результатов гранулометрического состава материалов через каждые два часа помола при заданных технологических параметрах. Для оценки закономерности изменения содержания крупной, средней и тонкой фракций измельчаемого материала были выбраны значения D_{90} , D_{50} и D_{20} , отвечающие размеру частиц, ниже которого находятся 90 %, 50% и 20 % дисперсного продукта соответственно.

Основная часть. В настоящей работе в качестве варьируемых технологических параметров были приняты: скорость вращения барабана

n , форма мелющих тел и объемный коэффициент мелющей загрузки ϕ .

На первом этапе исследования проводили помол глиноземистого материала с использованием мелющих тел шарообразной формы (средний диаметр 28 мм). Скорость вращения барабана составляла 60; 80 и 100 оборотов в минуту соответственно. Объем мелющих тел, загружаемых в барабан, составлял 0,45. С учетом принятого коэффициента K , характеризующего активную зону измельчения, загружали соответствующие массы мелющих тел и глинозема. Помол проводили в течение 10 часов.

На рисунках 4 – 6 представлены интегральные кривые и диаграммы распределения частиц для Nabalox NO 105, подвергнутого измельчению с использованием мелющих тел шарообразной формы при разной скорости вращения барабана.

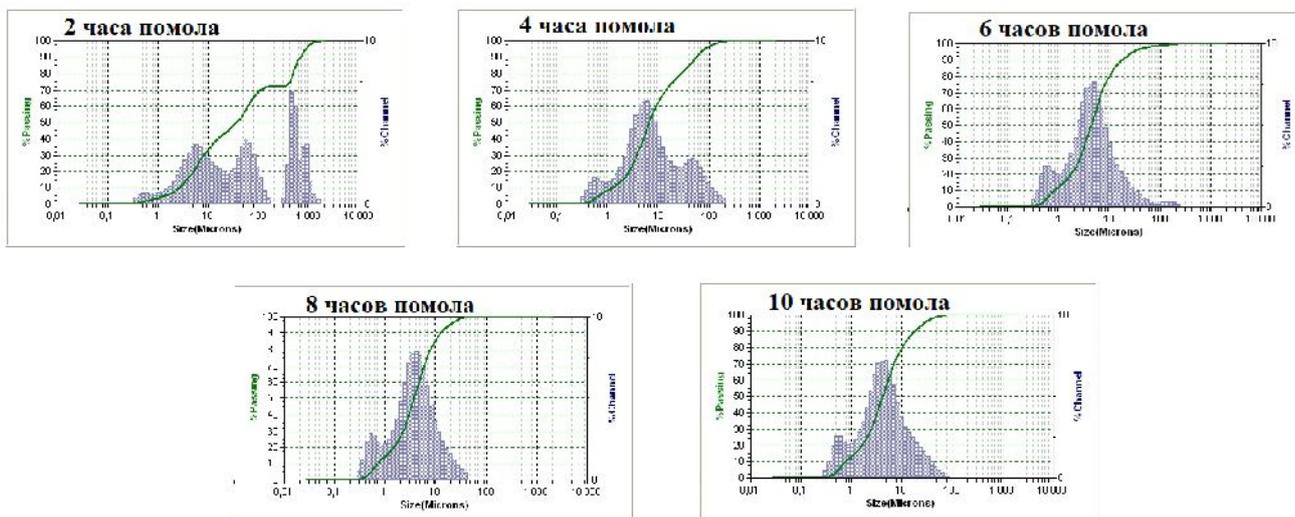


Рис. 4. Гранулометрический состав продуктов измельчения глиноземистого сырья при использовании шарообразных мелющих тел, $\phi = 0,45$, $n = 60$ об/мин

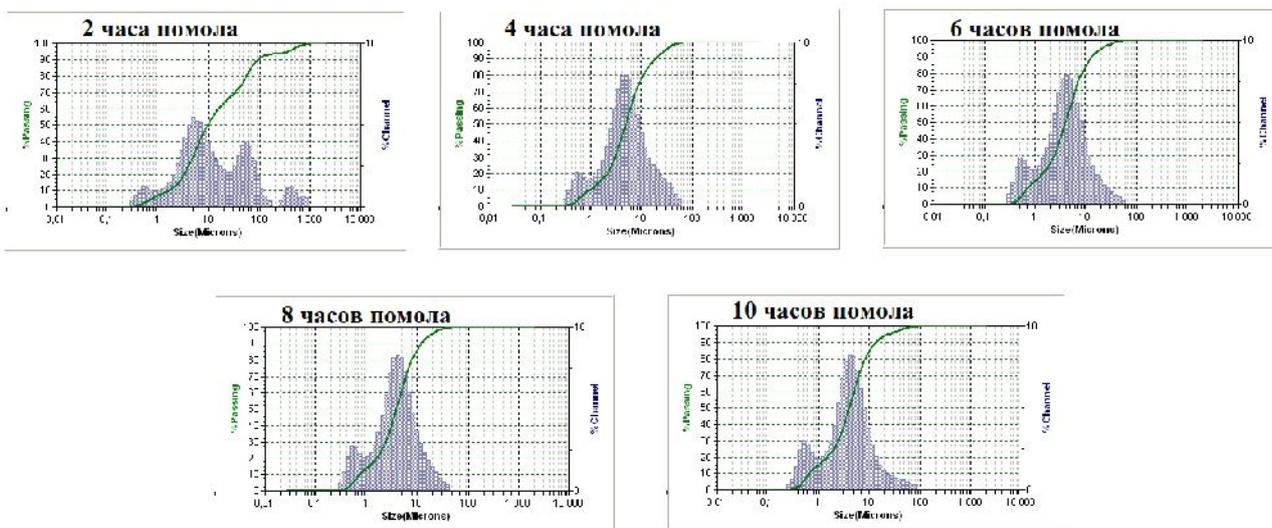


Рис. 5. Гранулометрический состав продуктов измельчения глиноземистого сырья при использовании шарообразных мелющих тел, $\phi = 0,45$, $n = 80$ об/мин

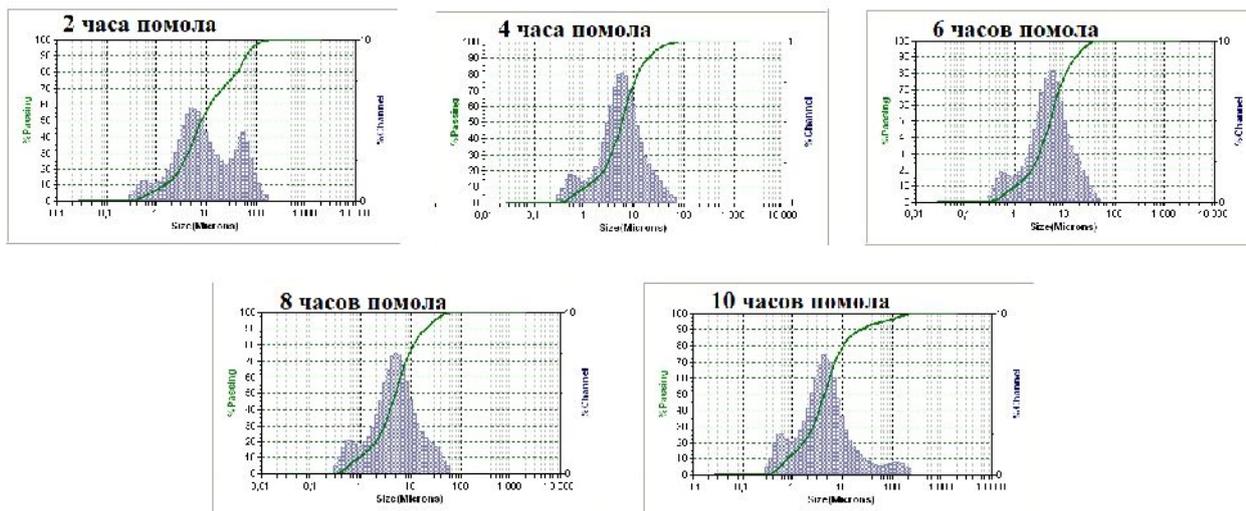


Рис. 6. Гранулометрический состав продуктов измельчения глиноземистого сырья при использовании шарообразных мелющих тел, $\varphi = 0,45$, $n = 100$ об/мин

Анализ полученных диаграмм показал, что зерновое распределение имеет мультимодальный характер с максимумами: 0,5; 4,0; 50,0 и 400,0 мкм соответственно. Наличие моды с максимумом 400,0 мкм (рис. 4 и 5) связано с тем, что определенная доля частиц глинозема в первые два часа помола агломерируется. При увеличении скорости вращения барабана до 100 об/мин, вероятно, тоже образуются агломераты, которые не зафиксированы из-за высокой интенсивности измельчения. В пользу этого предположения говорит трехмодальное распределение частиц (рис. 6).

Также через 9–10 часов помола наблюдается появление агрегатов, связанное с процессами слипания тонкодисперсных частиц, несмотря на присутствие интенсификатора помола. Особенно ярко это выражено при $n = 100$ об/мин (рис. 6). По нашему мнению, в случае использования мелющих тел шарообразной формы через 10 часов помола имеет место неравномерное распределение вносимой добавки-интенсификатора. Как следствие, на вновь образующейся поверхности ПЭГ не успевает адсорбироваться, что приводит к возникновению нескомпенсированных электрических зарядов и взаимному притяжению тонкодисперсных частиц.

На основании полученных данных построены кинетические кривые процесса измельчения Nabalox NO 105, которые представлены на рисунке 7.

Анализ кинетических кривых, представленных на рис. 7, показал, что можно выделить две

основные стадии измельчения глиноземистого сырья. Первая стадия соответствует активному дроблению крупных исходных агрегатов на слагающие кристаллиты по механизму раскалывания, о чем свидетельствует максимальный угол наклона графика $D = f(\tau)$. При скорости вращения барабана, равной 60 об/мин (рис. 7 а) стадия дробления более длительная и составляет 6 часов, в то время, как увеличение скорости вращения барабана до 80 и 100 об/мин (рис. 7 б и в) позволяет сократить продолжительность этой стадии до 4 часов. Вторая стадия соответствует существенно более пологому ходу кинетических кривых. Это указывает на изменение механизма измельчения с дробления на процесс истирания. Вместе с тем, обращает на себя внимание незначительный подъем кинетической кривой (рис. 7 в) в интервале 6 – 10 часов, соответствующий фракции частиц D_{90} . Это вызвано включением в состав крупной фракции D_{90} дополнительного количества агрегированных частиц (рис. 6, 10 часов помола).

На втором этапе экспериментальной работы проводили помол глиноземистого материала с использованием мелющих тел цилиндрической формы (средний диаметр и высота цилиндров – 20 мм). Скорость вращения барабана и объем загрузки мелющих тел аналогичен первому этапу. На рис. 8 представлены типичные интегральные кривые и диаграммы распределения частиц глинозема, подвергнутого измельчению при указанных технологических параметрах

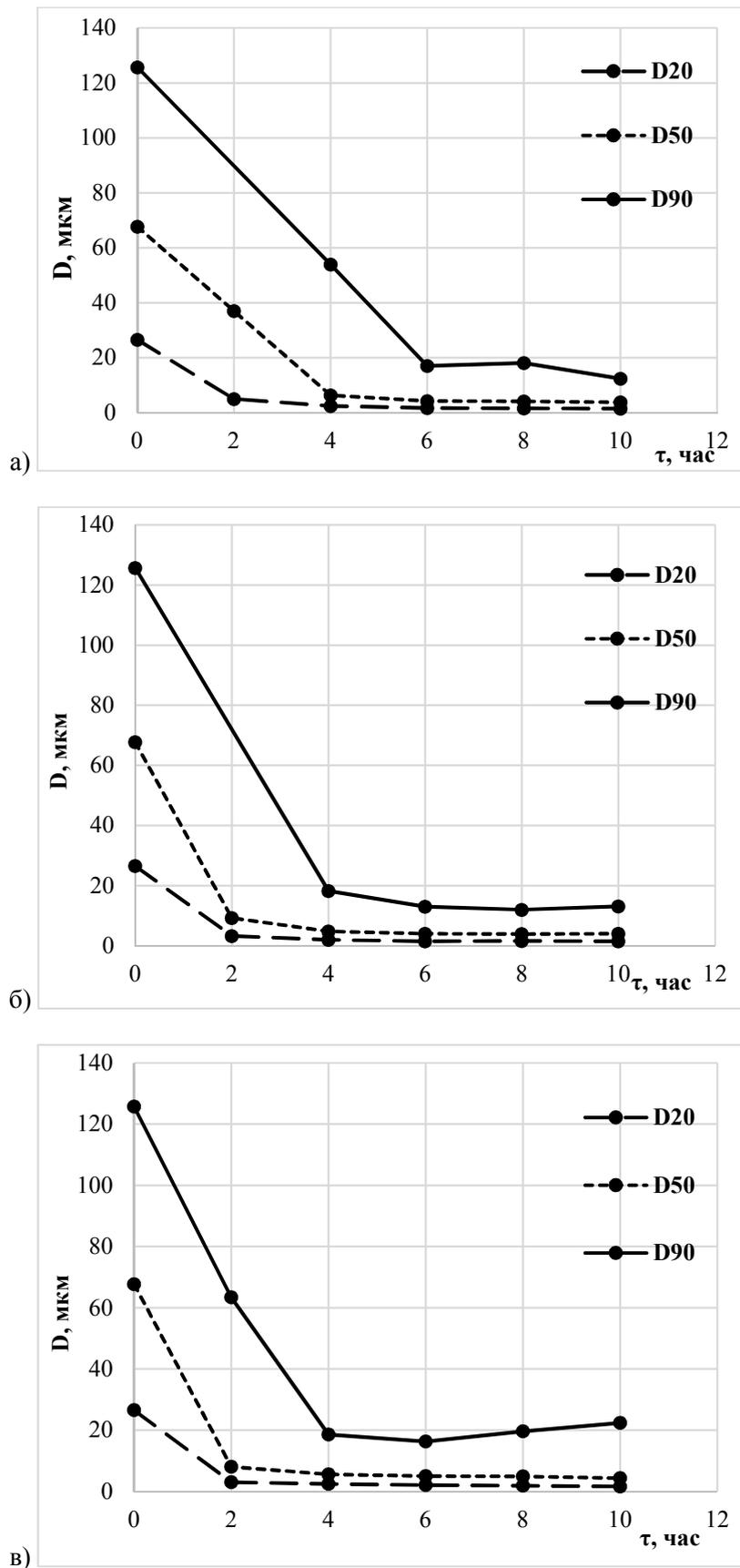


Рис. 7. Кинетические кривые измельчения глинозема при использовании шарообразных мелющих тел ($\varphi = 0,45$) скорость вращения барабана: а) 60 об/мин; б) 80 об/мин; в) 100 об/мин

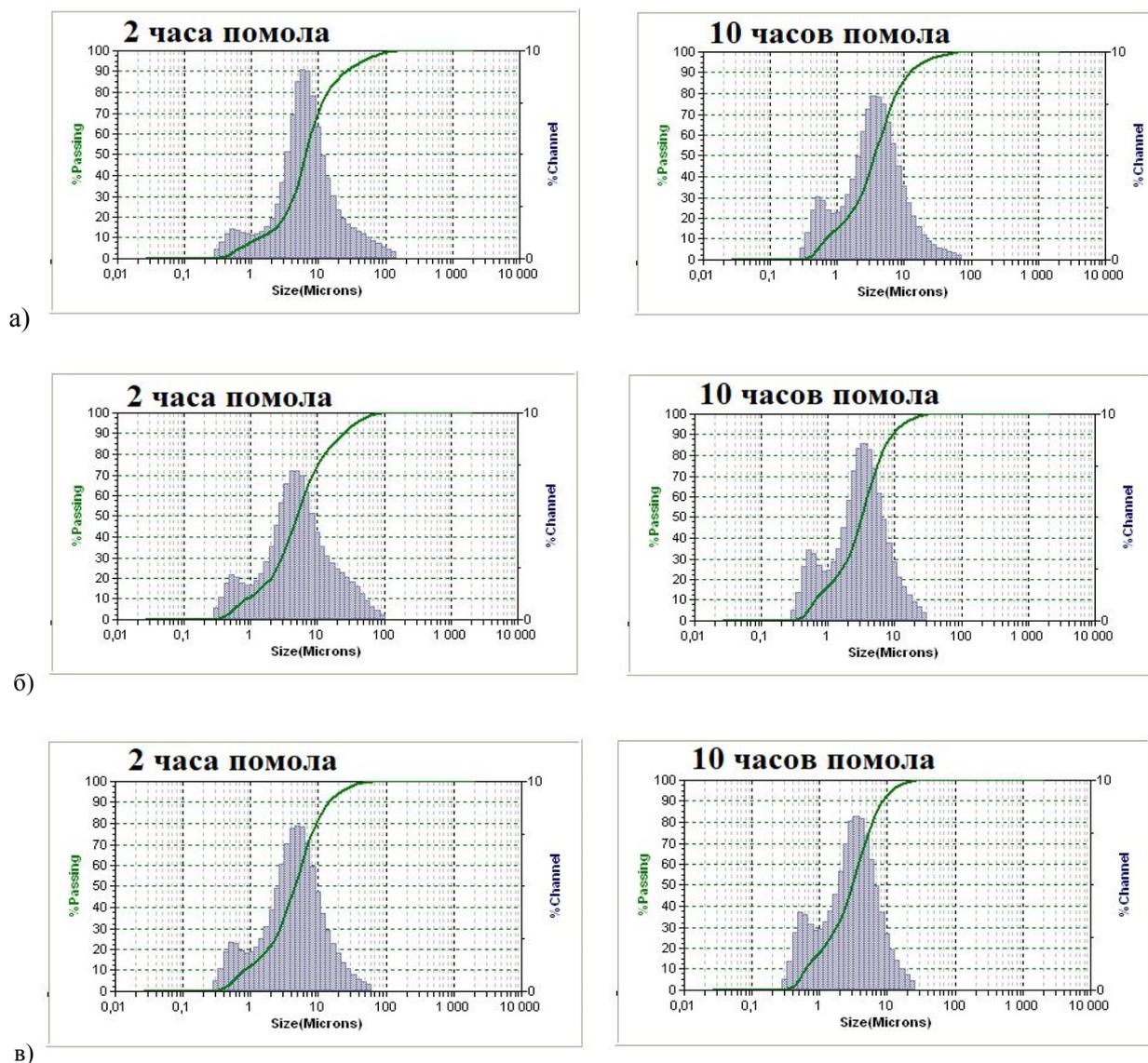


Рис. 8. Гранулометрический состав продуктов измельчения глиноземистого сырья при использовании цилиндров в качестве мелющих тел ($\varphi = 0,45$), скорость вращения барабана: а) 60 об/мин; б) 80 об/мин; в) 100 об/мин

Представленные на рисунке гистограммы иллюстрируют устойчивую тенденцию к формированию бимодального характера распределения частиц. Первый максимум фиксируется при 0,4 мкм, а максимум второй моды соответствует 4,0 мкм. Следовательно, при использовании цилиндров не происходит агломерация тонкодисперсной фракции частиц, которая наблюдается в случае шарообразных мелющих тел. Кинетические кривые измельчения исходного глиноземистого сырья с использованием цилиндрических мелющих тел представлены на рисунке 9.

Характер хода кинетических кривых в целом аналогичен таковым, полученным нами при использовании шарообразных мелющих тел, и позволяет выделить те же две стадии измельчения

глиноземистого сырья. Наиболее активно процесс дробления исходных агломератов идет при скорости вращения барабана 100 об/мин. Далее процесс измельчения значительно замедляется и переходит в стадию истирания. Обращает на себя внимание, что при скоростях вращения барабана, равных 60 и 80 об/мин, начиная с $\tau = 4$ ч и до $\tau = 10$ ч наблюдается плавное снижение размеров частиц фракции D_{90} . В то же время, за аналогичный промежуток времени при $n = 100$ об/мин кинетическая кривая, соответствующая крупной фракции, практически выходит на плато, что свидетельствует о замедлении процесса истирания.

Обобщающая диаграмма результатов исследований, выполненных на первом и втором этапах, представлена на рис. 10.

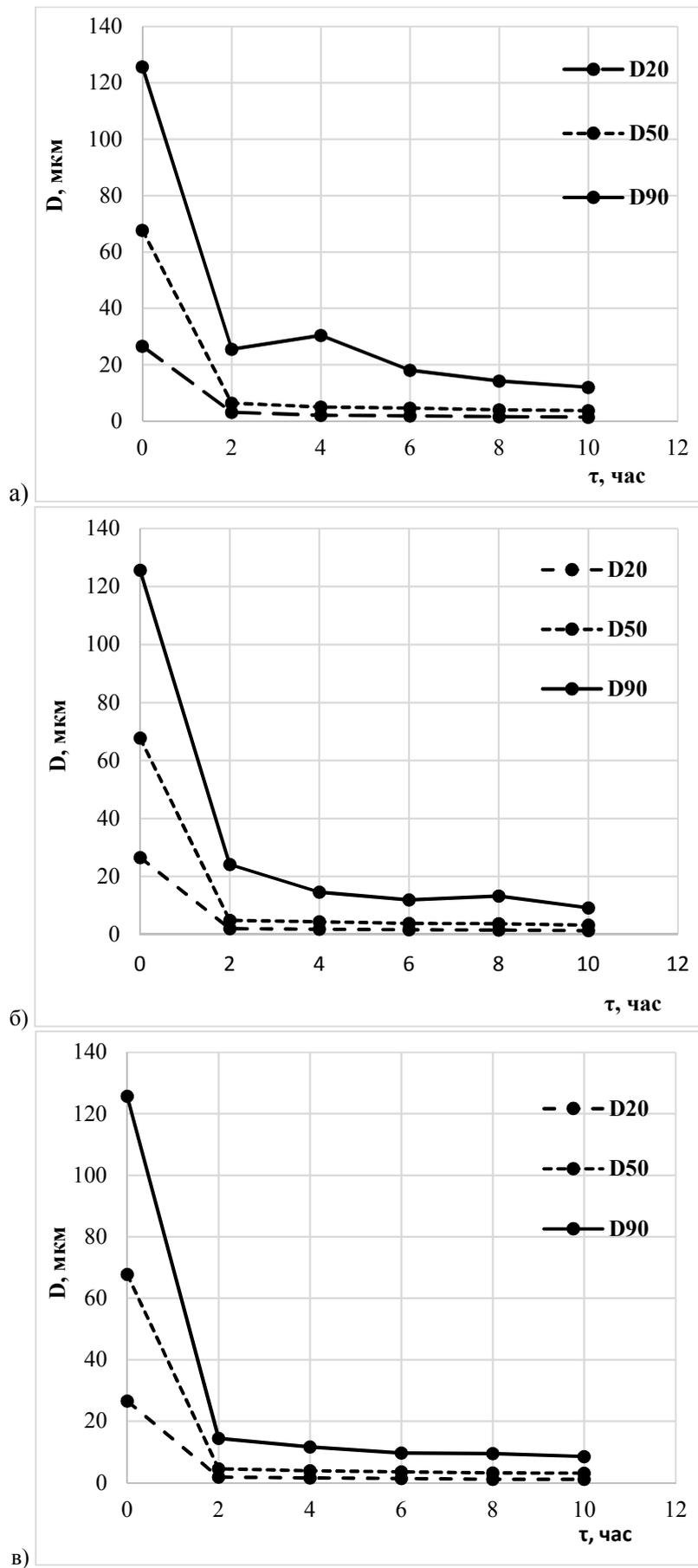


Рис. 9. Кинетические кривые измельчения глинозема при использовании цельпелбсов в качестве мелющих тел ($\varphi = 0,45$), скорость вращения барабана: а) 60 об/мин; б) 80 об/мин; в) 100 об/мин

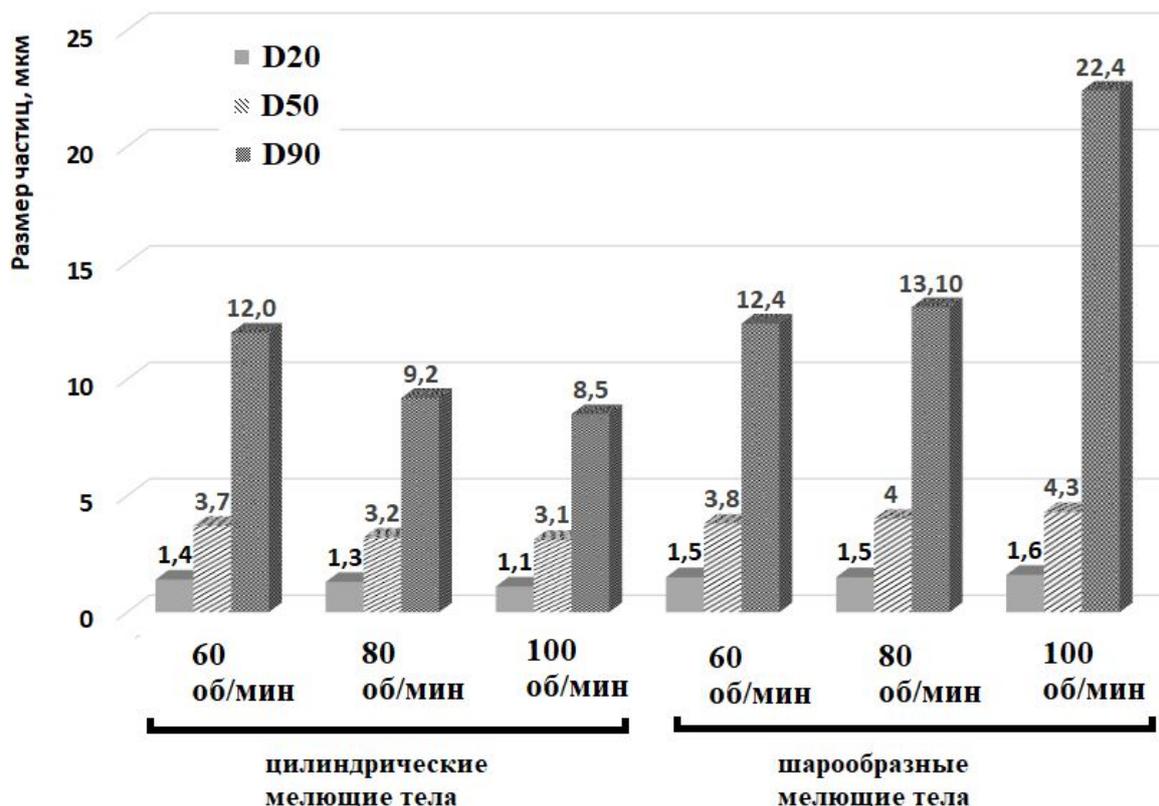


Рис. 10. Средний размер частиц дисперсных фракций D_{90} , D_{50} и D_{20} продуктов, полученных при измельчении Nabalox NO 105: $\tau = 10$ ч; $\varphi = 0,45$

Сопоставительный анализ гистограмм на рисунке 10 показывает, что оптимальные результаты по измельчению глиноземистого сырья до высокодисперсного состояния достигаются в случае использования мелющих тел цилиндрической формы и скорости вращения барабана 100 об/мин.

На заключительном этапе работы изучали влияние коэффициента мелющей загрузки ($\varphi = 0,45$; $\varphi = 0,35$) на характеристики получаемого продукта. Скорость вращения барабана составляла 100 об/мин, применялись цилиндрические мелющие тела. Максимальная продолжительность измельчения (τ) – 10 ч.

Установлено, что уменьшение количества загружаемых мелющих тел не оказывает существенного влияния на характер интегральных кривых и гистограммы распределения частиц по размерам. Сохраняется бимодальность при распределении частиц по размерам, склонность к агломерации не выявлена.

Как следует из рис. 11, уменьшение величины мелющей загрузки (φ) с 0,45 до 0,35 практически не влияет на вид кинетических кривых процесса измельчения, то есть сохраняется ранее выявленный двухстадийный процесс. Для обоих

значений φ (0,35; 0,45) наблюдается практически полное совпадение участков кинетических кривых, соответствующих стадии дробления.

Однако уменьшение параметра φ с 0,45 до 0,35 оказывает заметное влияние на кинетику второй стадии измельчения, отвечающей процессу истирания. Так, уже начиная с $\tau = 6$ часов и до $\tau = 10$ часов, скорость истирания глиноземистых частиц при $\varphi = 0,45$ начинает существенно замедляться, о чем свидетельствует практически не изменяющийся медианный размер частиц D_{50} и, как следствие, более пологий ход кинетической кривой на данном участке. В том случае, когда параметр φ равен 0,35, процесс истирания продолжается с течением времени, что позволяет получать более тонкодисперсный материал с $D_{50} = 2,8$ мкм.

Сравнительная оценка размеров частиц, характеризующих дисперсные фракции D_{90} , D_{50} и D_{20} в продуктах измельчения, полученных при различных значениях φ (рис. 12) показала, что снижение объема мелющей загрузки до $\varphi = 0,35$ обеспечивает более интенсивное истирание дисперсного глиноземистого материала на второй стадии измельчения. Это позволяет за 10 часов помола достигать медианного размера частиц D_{50} менее 3 мкм. Доля субмикронной фракции частиц ($\leq 1,0$ мкм) составляет 20 %.

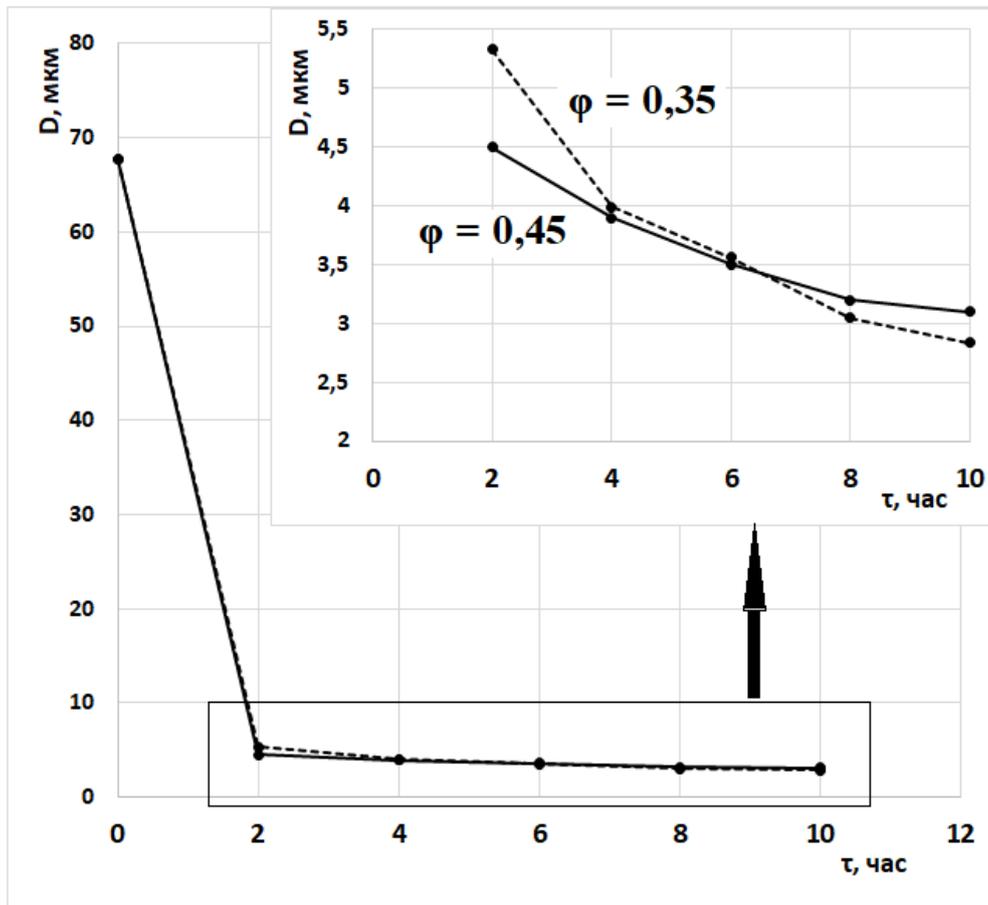


Рис. 11. Кинетические кривые измельчения глинозема при различном значении ϕ ($n = 100$ об/мин, мелющие тела цилиндрической формы)

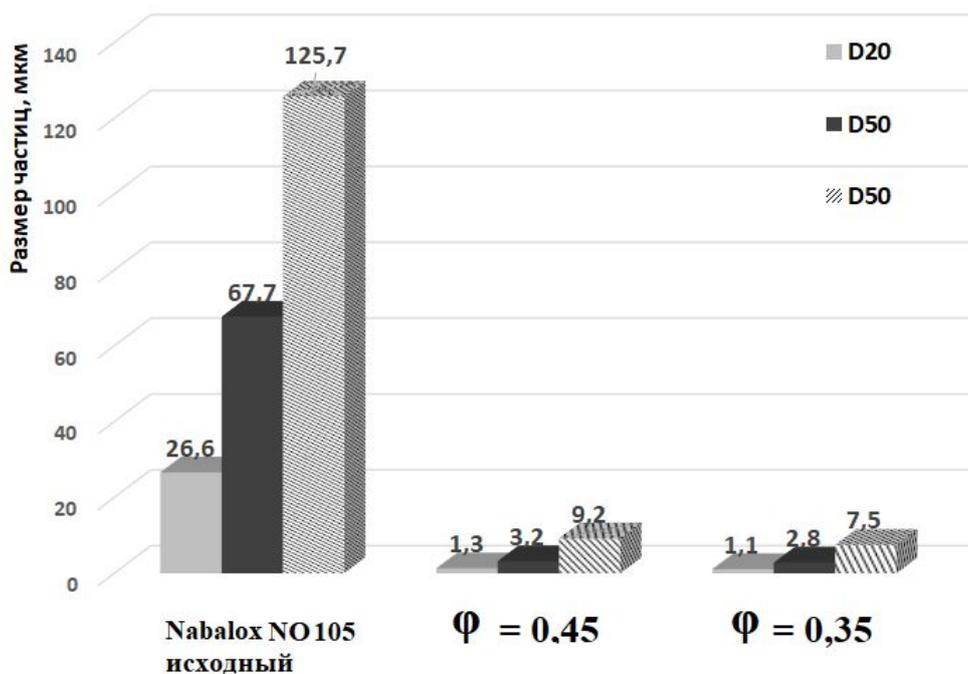
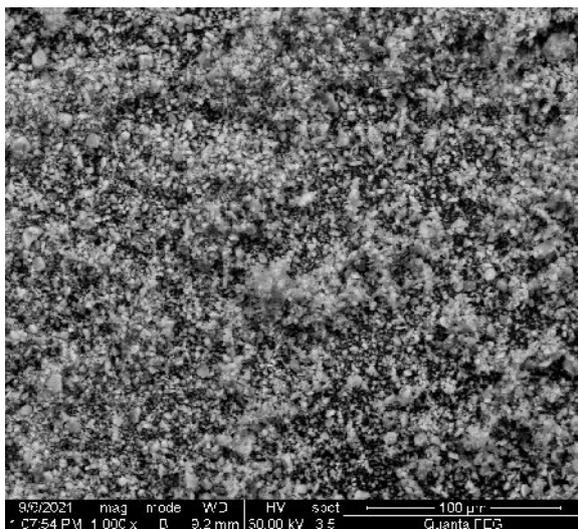


Рис. 12. Средний размер частиц фракций D_{90} , D_{50} и D_{20} для исходного Nabalox NO 105 и продуктов его измельчения при внесении ПЭГ (цилиндрические мелющие тела, $n = 100$ об/мин)

На рисунке 13 представлены СЭМ-фотографии глинозема после измельчения в шаровой



мельнице при оптимальных технологических параметрах: $n = 100$ об/мин, $\varphi = 0,35$, мелющие тела цилиндрической формы.

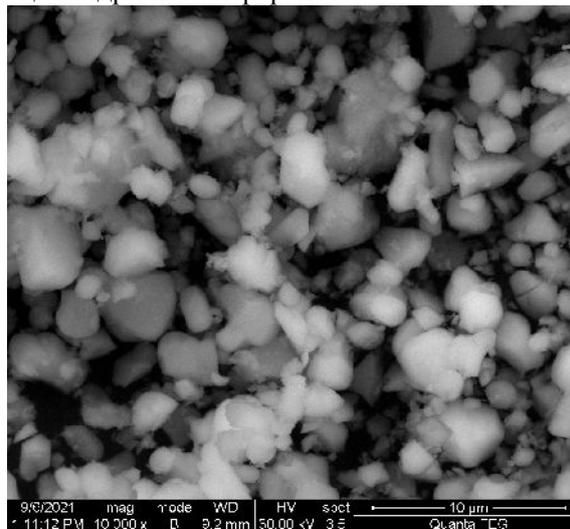


Рис. 13. СЭМ-микрофотографии продуктов измельчения Nabalox NO 105

На микрофотографиях присутствуют отдельные кристаллиты размером от долей до 3 – 4 мкм. Обращает на себя внимание форма дисперсных частиц $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$, составляющих готовый продукт после измельчения. Пластинообразные кристаллиты активированного оксида алюминия по сравнению с кристаллитами, слагающими исходные зерна Nabalox NO 105 (рис. 2), имеют более округлую изометричную форму.

Выводы. Показана эффективность использования шаровой мельницы периодического действия в качестве помольного агрегата для получения субмикронного активированного оксида алюминия в α -форме.

Наиболее оптимальными параметрами технологического получения высокодисперсного активированного глинозема при использовании в качестве помольного агрегата шаровой мельницы с размольными барабанами рабочим объемом 2 дм³, являются: скорость вращения барабана $n = 100$ об/мин, объемный коэффициент мелющей загрузки $\varphi = 0,35$, мелющие тела цилиндрической формы.

Установлено, что использование мелющих тел шарообразной формы приводит к формированию специфического гранулометрического состава, включающего 4 моды с максимумами: 0,5; 4,0; 50,0 и 400,0 мкм соответственно. Существенным недостатком использования шарообразных мелющих тел является неравномерное распределение вносимой добавки-интенсификатора (ПЭГ), что в свою очередь вызывает слипание тонкодисперсных частиц и появление агрегатов. Особенно ярко это выражено при $n = 100$ об/мин.

При использовании мелющих тел цилиндрической формы, напротив, сохраняется тенденция

к бимодальному характеру распределения частиц с максимумами в районах 0,4 и 4 мкм соответственно, независимо от скорости вращения барабана (n). Это свидетельствует об отсутствии агломерации тонкодисперсной фракции частиц, которая свойственна при использовании шарообразных мелющих тел.

Анализ кинетических кривых измельчения независимо от значений варьируемых технологических параметров (форма мелющих тел, скорость вращения барабана n и объемный коэффициент мелющей загрузки φ), позволил выделить две основные стадии измельчения. Первая стадия соответствует активному дроблению крупных исходных агрегатов на слагающие кристаллиты по механизму раскалывания, о чем свидетельствует максимальный угол наклона графика $D = f(\tau)$. Вторая стадия соответствует существенно более пологому ходу кинетических кривых. Это указывает на изменение механизма измельчения с дробления на процесс истирания.

Проведение процесса измельчения с использованием цилиндрических мелющих тел при $n = 100$ об/мин и $\varphi = 0,35$ обеспечивает высокий выход субмикронной фракции целевого продукта (1 мкм) – до 20 масс. %.

Источник финансирования. Работа выполнена в НИУ БелГУ при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках соглашения от 14.12.2020 г. № 075-11-2020-038 о реализации комплексного проекта «Создание импортозамещающего производства компонентов матричных систем и теплотехнических композиционных материалов нового поколения на их основе» согласно Постановлению Правительства РФ от 09.04.2010 г. №218.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ghose S., Saigal C., Maldhure A., Das S.K. Effect of reactive alumina on the physico-mechanical properties of refractory castable // Transactions of the Indian Ceramic Society. 2013. Vol. 72. No. 2. Pp. 113–118
2. Schnabel M., Buhr A., Kockeey-Lorenz R., Schmidtmeier D., Dutton J. Benefit of Matrix Alumina and modern dispersing systems in low cement castables // Intercam – Refractories. 2014. Man. II. Pp. 281–287.
3. Rivera-Madrid I.E., Rincón-Fulla M., Osorio-Correa A., Chica-Osorio L., Bustamante-Rúa O., Menéndez-Aguado J. M. Comparison of alumina ball size distribution in two white cement grinding units using Swebrec function // Revista DYNA. 2019. Vol. 86. No. 209. Pp. 25–29.
4. Kiennemann J., Chabas E., Ulrich C., Dumont D. The role of granulometry and additives in optimizing the alumina matrix in low cement castables // Refractories WORLDFORUM 9. 2017. Pp. 77–82.
5. Jingming Z., Taesuk K., Gichul K., Kyuhong H., Dongsik B. Densification characteristics of chromia/alumina castables by particle size distribution // Nanoscale Research Letters. 2012. P. 1–4.
6. Berrin Gürel S., Akin A. Reactive alumina production for the refractory industry // Powder Technology. 2009. No. 196. Pp. 115–121.
7. Reid C.B., Forrester J.S., Goodshaw J.H., Kisi E.H., Suaning G.J. A study in the mechanical milling of alumina powder // Ceramics International. 2008. No. 34. Pp. 1551–1556.
8. López-Juárez R., Razo-Perez N., Pérez-Juacheb T., Hernandez-Cristobal O., Reyes-López S. Y. Synthesis of α -Al₂O₃ from aluminum cans by wet-chemical methods // Results in Physics. 2018. No. 11. Pp. 1075–1079.
9. Андрюшкова О.В., Ушаков В.А., Крюков Г.Н. Твердофазные превращения механически активированных оксидов алюминия при термообработке // Химия в интересах устойчивого развития. 1996. Т. 4. № 1. С. 15–26.
10. Коротаева З. А., Полубояров В.А. Механохимические ультрадисперсные порошки: получение и применение. Saarbrücken, Germany: LAMBERT Academic Publishing GmbH, 2011. 118 с.
11. Воробьев Н.Д. Моделирование процесса измельчения в шаровых мельницах // Горный журнал. 2004. №5. С. 65 – 68.
12. Масленников В.Г., Стихин А.Ю. Применение резиновой футеровки для сырьевых и цементных мельниц // Цемент и его применение. 2011. №3. 126 с.
13. Кайнарский И.С., Дегтярева Э.В., Орлова И.Г. Корундовые огнеупоры и керамика. М.: Металлургия, 1981. 168 с.
14. Алейников В.П. Реконструкция сырьевой мельницы мокрого помола на Щуровском цементном заводе // Цемент и его применение. 2012. №3. С. 58–59.
15. Жуков В. П. Измельчение в шаровой барабанной мельнице шарами различной крупности // Изв. вузов. Серия: Химия и химическая технология. 1993. Т. 36. Вып. 2. С. 83–86.
16. MacZura G. Aluminum oxide, calcined, tabular, and aluminate cements // Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology. 2003. Pp. 403–421.
17. Ребиндер П.А., Щукин Е.Д. Поверхностные явления в твердых телах в процессах их деформации и разрушения // Успехи физических наук. 1972. Т. 108. № 9. С. 3–42.
18. Маджистри М., Падовани Д., Форни П. Оптимизация свойств цемента с добавками при использовании интенсификаторов помола // Цемент и его применение. 2013. №5. С. 115–116.

Информация об авторах

Трубицын Михаил Александрович, кандидат технических наук, профессор кафедры общей химии Института фармации, химии и биологии НИУ «БелГУ». E-mail: troubitsin@bsu.edu.ru. Белгородский государственный национальный исследовательский университет. Россия, 308015, Белгород, ул. Победы, д.85

Воловичева Наталья Александровна, кандидат технических наук, доцент кафедры общей химии Института фармации, химии и биологии НИУ «БелГУ». E-mail: volovicheva@bsu.edu.ru. Белгородский государственный национальный исследовательский университет. Россия, 308015, Белгород, ул. Победы, д.85

Фурда Любовь Владимировна, кандидат химических наук, доцент кафедры общей химии Института фармации, химии и биологии НИУ «БелГУ». E-mail: furda@bsu.edu.ru. Белгородский государственный национальный исследовательский университет. Россия, 308015, Белгород, ул. Победы, д.85

Скрыпников Николай Сергеевич, магистрант кафедры общей химии Института фармации, химии и биологии НИУ «БелГУ». Белгородский государственный национальный исследовательский университет. Россия, 308015, Белгород, ул. Победы, д.85

Поступила 27.09.2021 г.

© Трубицын М.А., Воловичева Н.А., Фурда Л.В., Скрыпников Н.С., 2021

Troubitsin M.A., Volovicheva N.A., Furda L.V., Skrypnikov N.S.Belgorod National Research University***E-mail: troubitsin@bsu.edu.ru*

STUDY OF THE INFLUENCE OF TECHNOLOGICAL PARAMETERS ON THE GRANULOMETRIC CHARACTERISTICS OF SUBMICRON ALUMINUM OXIDE IN α -FORM

Abstract. *Experimental studies of the influence of technological parameters of grinding alumina raw materials in a ball mill on the kinetics of the grinding process and the granulometric characteristics of activated alumina in the α -form have been carried out. It is found that the use of spherical grinding bodies leads to the formation of a specific four-modal granulometric composition with maxima: 0.5; 4.0; 50.0 and 400.0 microns, respectively. The disadvantage of using spherical grinding bodies is the uneven distribution of the introduced intensifier additive (PEG), which in turn causes adhesion of fine particles and the appearance of aggregates. This is especially pronounced at $n = 100$ rpm. When using grinding bodies of cylindrical shape, on the contrary, there is a tendency towards a bimodal nature of the distribution of particles with maxima in the regions of 0.4 and 4 μm , respectively, regardless of the rotation speed of the drum (n). The use of cylpebs does not provoke agglomeration of the fine particle fraction, which is observed in the case of spherical grinding bodies. When analyzing the kinetics of grinding alumina raw materials, two main stages of the process are identified. The first stage corresponds to the active fragmentation of large initial aggregates into constituent crystallites by the cleavage mechanism. The second stage corresponds to a change in the grinding mechanism from crushing to abrasion. It is found that carrying out the grinding process for 10 hours using cylindrical grinding bodies at $n = 100$ rpm and $\varphi = 0.35$ provides a high yield of the submicron fraction of the target product (1 μm) – up to 20 wt. %.*

Keywords: *reactive alumina, ball mill, dispersion, particle size distribution, grinding kinetics, ultrafine powders*

REFERENCES

1. Ghose S., Saigal C., Maldhure A., Das S.K. Effect of reactive alumina on the physico-mechanical properties of refractory castable. Transactions of the Indian Ceramic Society. 2013. Vol. 72. No. 2. Pp. 113–118
2. Schnabel M., Buhr A., Kockegey-Lorenz R., Schmidtmeier D., Dutton J. Benefit of Matrix Alumina and modern dispersing systems in low cement castables. Intercam – Refractories. 2014. Man. II. Pp. 281–287.
3. Rivera-Madrid I.E., Rincón-Fulla M., Osorio-Correa A., Chica-Osorio L., Bustamante-Rúa O., Menéndez-Aguado J. M. Comparison of alumina ball size distribution in two white cement grinding units using Swebrec function. Revista DYNA. 2019. Vol. 86. No. 209. Pp. 25–29.
4. Kiennemann J., Chabas E., Ulrich C., Dumont D. The role of granulometry and additives in optimizing the alumina matrix in low cement castables. Refractories WORLDFORUM 9. 2017. Pp. 77 – 82.
5. Jingming Z., Taesuk K., Gichul K., Kyuhong H., Dongsik B. Densification characteristics of chromia/alumina castables by particle size distribution. Nanoscale Research Letters. 2012. P. 1–4.
6. Berrin Gürel S., Akin A. Reactive alumina production for the refractory industry. Powder Technology. 2009. No. 196. Pp. 115 – 121.
7. Reid C.B., Forrester J.S., Goodshaw J.H., Kisi E.H., Suaning. G.J. Suaning. A study in the mechanical milling of alumina powder. Ceramics International. 2008. No. 34. Pp. 1551–1556.
8. López-Juárez R., Razo-Perez N., Pérez-Juacheb T., Hernandez-Cristobal O., Reyes-López S. Y. Synthesis of α -Al₂O₃ from aluminum cans by wet-chemical methods. Results in Physics. 2018. No. 11. Pp. 1075–1079.
9. Andryushkova O.V., Ushakov V.A., Kryukov G.N. Solid-phase transformations of mechanically activated aluminum oxides during heat treatment [Tverdofaznye prevrashcheniya mekhanicheskii aktivirovannykh oksidov alyuminiya pri termoobrabotke]. Chemistry for sustainable development. 1996. Vol. 4. No. 1. Pp. 15–26. (rus)
10. Korotaeva Z.A., Poluboyarov V.A. Mechanochemical ultrafine powders: preparation and application [Mekhanohimicheskie ul'tradispersnye poroshki: poluchenie i primeneniye]. Saarbrücken, Germany: LAMBERT Academic Publishing GmbH, 2011. 118 p. (rus)
11. Vorobiev N.D. Modeling the grinding process in ball mills [Modelirovanie processa izmel'cheniya v sharovykh mel'nicah]. Gornyi Zhurnal. 2004. No. 5. Pp. 65–68. (rus)
12. Maslennikov V.G., Stikhin A.Yu. The use of rubber lining for raw materials and cement mills [Primeneniye rezinovoy futerovki dlya syr'evykh i cementnykh mel'nic]. Gornyi Zhurnal. 2011. No. 3. Pp. 126. (rus)

13. KajnarSKIY I.S., Degtyareva E.V., Orlova I.G. Corundum refractories and ceramics [Korundovye ognepory i keramika]. Moscow: Metallurgiya, 1981. 168 p. (rus)

14. Aleinikov V.P. Reconstruction of a raw material wet mill at the Shchurovsky cement plant [Rekonstrukciya syr'evoy mel'nicy mokrogo pomola na SHCHurovskom cementnom zavode]. Cement and its application. 2012. No. 3. Pp. 58–59. (rus)

15. Zhukov V.P. Grinding in a ball drum mill with balls of various sizes [Izmel'chenie v sharovoj barabannoj mel'nice sharami razlichnoj krupnosti]. Izv. universities. Series: Chemistry and Chemical Technology. 1993. Vol. 36. Issue. 2. Pp. 83–86. (rus)

16. MacZura G. Aluminum oxide, calcined, tabular, and aluminate cements. Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology. 2003. Pp. 403–421.

17. Rebinder P.A., Shchukin E.D. Surface phenomena in solids in the processes of their deformation and destruction [Poverhnostnye yavleniya v tverdyh telah v processah ih deformacii i razrusheniya]. Uspekhi fizicheskikh nauk. 1972. Vol. 108. No. 9. Pp. 3–42. (rus)

18. Magistri M., Padovani D., Forney P. Optimization of properties of cement with additives when using grinding intensifiers [Optimizaciya svojstv cementa s dobavkami pri ispol'zovanii intensivatorov pomola]. Cement and its application. 2013. No. 5. Pp. 115–116. (rus)

Information about the authors

Troubitsin, Mikhail A. PhD, Professor of the Department of General Chemistry, Institute of Pharmacy, Chemistry and Biology of the National Research University «BelSU». E-mail: troubitsin@bsu.edu.ru. Belgorod National Research University. Russia, 308015, Belgorod, st. Pobedy, 85.

Volovicheva, Natalya A. PhD, Assistant professor of the Department of General Chemistry, Institute of Pharmacy, Chemistry and Biology of the National Research University «BelSU». E-mail: volovicheva@bsu.edu.ru. Belgorod National Research University. Russia, 308015, Belgorod, st. Pobedy, 85.

Furda, Lyubov V. PhD, Assistant professor of the Department of General Chemistry, Institute of Pharmacy, Chemistry and Biology of the National Research University «BelSU». E-mail: furda@bsu.edu.ru. Belgorod National Research University. Russia, 308015, Belgorod, st. Pobedy, 85.

Skrypnikov, Nikolay S. Master student of the Department of General Chemistry of the Institute of Pharmacy, Chemistry and Biology of the National Research University «BelSU». Belgorod National Research University. Russia, 308015, Belgorod, st. Pobedy, 85.

Received 27.09.2021

Для цитирования:

Трубицын М.А., Воловичева Н.А., Фурда Л.В., Скрыпников Н.С. Исследования влияния технологических параметров на гранулометрические характеристики субмикронного оксида алюминия в α -форме // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2021. № 12. С. 84–97. DOI: 10.34031/2071-7318-2021-6-12-84-97

For citation:

Troubitsin M.A., Volovicheva N.A., Furda L.V., Skrypnikov N.S. Study of the influence of technological parameters on the granulometric characteristics of submicron aluminum oxide in α -form. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2021. No. 12. Pp. 84–97. DOI: 10.34031/2071-7318-2021-6-12-84-97

МАШИНОСТРОЕНИЕ И МАШИНОВЕДЕНИЕ

DOI: 10.34031/2071-7318-2021-6-12-98-106

*Семикопенко И.А., Воронов В.П., Латышев С.С., Севостьянов В.С., Рыбак Л.А.,
Севостьянов А.Э., Вавилов Д.В.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

*E-mail: semickopenko.i@yandex.ru

Аннотация. Приведён расчёт конструктивных параметров дисковой мельницы, оснащенной питателем, выполненным в виде конического бункера. Для измельчителей дезинтеграторного типа очень важно обеспечение равномерности загрузки измельчаемым материалом рабочей зоны активного воздействия на частицы. Также важнейшим фактором является пропускная способность всех участков помольной установки. Пропускная способность должна определяться конструктивно-технологическими параметрами рабочей камеры мельницы, перегрузка которой может привести к завалу рабочей камеры, а недостаточная пропускная способность негативно сказаться на интенсивности и эффективности воздействия на частицы материала. Например, недостаточная концентрация частиц в периферийной зоне помольной камеры приводит к снижению эффективности их взаимного истирания. В статье предпринята попытка определения конструктивно-технологических параметров в загрузочной и разгонной частях дисковой мельницы. При этом необходимо согласовать пропускную способность дискового разбрасывателя и объёмный расход частиц материала, «истекающего» из бункера. В данном случае целесообразно учитывать, что в результате довольно большой частоты вращения и размера исходных частиц при неверно выбранной высоте радиальной лопатки разбрасывателя частицы материала могут перекатываться через радиальные лопатки, что приводит к задержке материала в зоне разбрасывающего диска. Поэтому необходимо определить расчетные формулы для нахождения необходимой высоты радиальной лопатки разбрасывающего диска в зависимости от крупности исходных частиц. Из формулы видно, что высота разделительной лопатки зависит от размера частицы, частоты вращения дисков и расстояния до точки встречи частицы с радиальной лопаткой.

Ключевые слова: материал, частица, дисковая мельница, измельчение, камера помола.

Введение. Дисковые мельницы являются одним из видов малотоннажного оборудования, служащие для помола, смешения и активации различных материалов, применяемых в строительной индустрии [1]. Преимущественными факторами использования данного оборудования являются его относительно малая установленная мощность, малые габариты, возможность автоматизации процесса, простота конструкции и изготовления [2].

В результате исследований дисковых мельниц с целью повышения их эффективности появляются новые конструктивные решения, внедрение которых связано с расчетом некоторых параметров.

На рис. 1 представлена схема ступенчатой дисковой мельницы [3]. Например, дисковая мельница W-Max 10 СВ компании «Aimo Kortteen Копераја ОУ» (Финляндия), дисковая мельница RS 200 компании «Retsch» (Германия).

Данная конструкция ступенчатой дисковой мельницы позволяет увеличить количество взаимодействий частиц в рабочем пространстве камеры помола и обеспечить селективное воздействие на измельчаемый материал в зависимости от крупности частиц. Это должно повысить эффективность измельчения и, следовательно, производительность по готовому продукту [5].

Целью данной статьи является определение условия преодоления частицей материала барьера прямоугольной формы, расположенного на вращающемся диске. Поставлена задача исследовать движение частицы материала по поверхности вращающегося диска, что будет способствовать определению конструктивных параметров разбрасывателя б, обеспечивающего непрерывную подачу материала в камеру помола ступенчатой дисковой мельницы.

Основная часть. Для исследования используются методы, основанные на законах сохранения массы вещества и законах криволинейного движения. Проведем математическое описание движения частиц материала, выходящих из конического бункера и направляющихся на разбрасыватель б, который подает материал в зону измельчения и дальнейший выход готового продукта через тангенциальный разгрузочный патрубок 3 [6]. Для согласования пропускной способности бункера и разбрасывателя б воспользуемся схемой на рис. 2.

Согласно расчетной схемы, представленной на рисунке 1, величина объема V_0 , которая заполняется материалом, поступающим из конического бункера, определяется соотношением [7]:

$$V_g = \pi(D_0^2 - D_k^2)h_n, \quad (1)$$

Здесь D_k – диаметр распределяющего конуса, установленного на разбрасывателе, (м); h_l – высота радиальных лопастей разбрасывателя, (м).

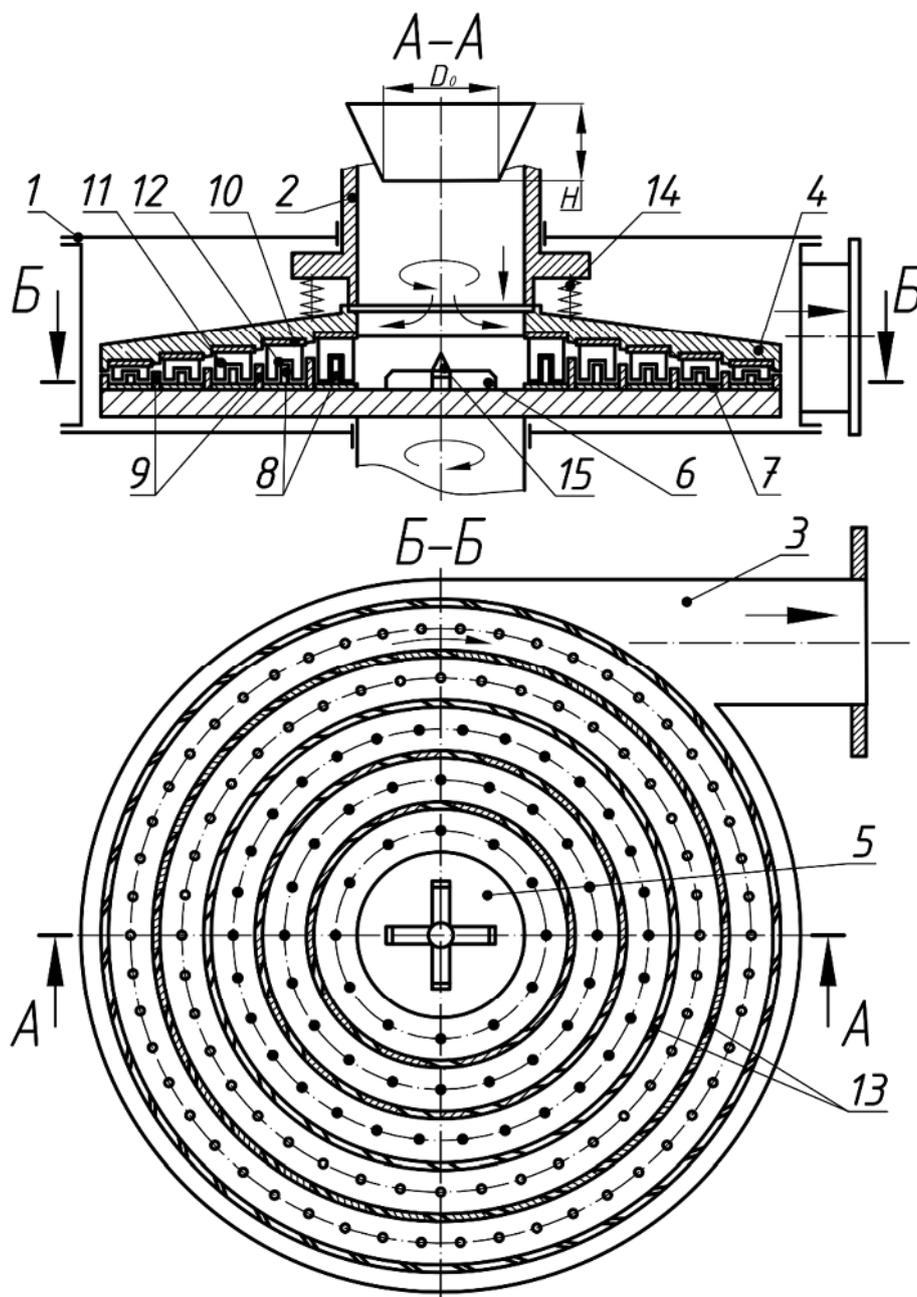


Рис. 1. Схема ступенчатой дисковой мельницы: 1 – корпус; 2 – загрузочный патрубок; 3 – разгрузочный патрубок; 4 – верхний диск; 5 – нижний диск; 6 – разбрасыватель; 7 – горизонтальные кольца; 8 – вертикальные штыри; 9 – вертикальные цилиндрические перегородки; 10 – горизонтальные кольца; 11 – радиальные лопасти; 12 – вертикальные вырезы; 13 – тангенциальные вырезы; 14 – пружинная опора; 15 – распределяющий конус

В единицу времени в объем (1) может поступить масса материала, равная:

$$M_g = \frac{V_g \gamma_0}{T}, \quad (2)$$

где T – время полного оборота разбрасывателя, (с) равно:

$$T = \frac{2\pi}{\omega}, \quad (3)$$

ω – частота вращения разбрасывателя, (с⁻¹).

Массовый расход M_0 материала, поступающего на разбрасыватель в единицу времени из конического бункера, определяется соотношением [8]:

$$M_0 = \gamma_0 Q_0, \quad (4)$$

где γ_0 – насыпная плотность материала, (кг/м³); Q_0 – изменение объемного расхода в единицу времени, величина которого согласно работы [8] определяется соотношением:

$$Q_0 = \frac{\pi D_0^2}{4} \sqrt{\frac{gHD_0}{2(D_1 - D_0)}} \quad (5)$$

где g – ускорение свободного падения, (м/с²); H – высота конического бункера, (м); D_1 – диаметр верхнего основания распределяющего конуса, (м); D_0 – диаметр выходного отверстия бункера, (м).

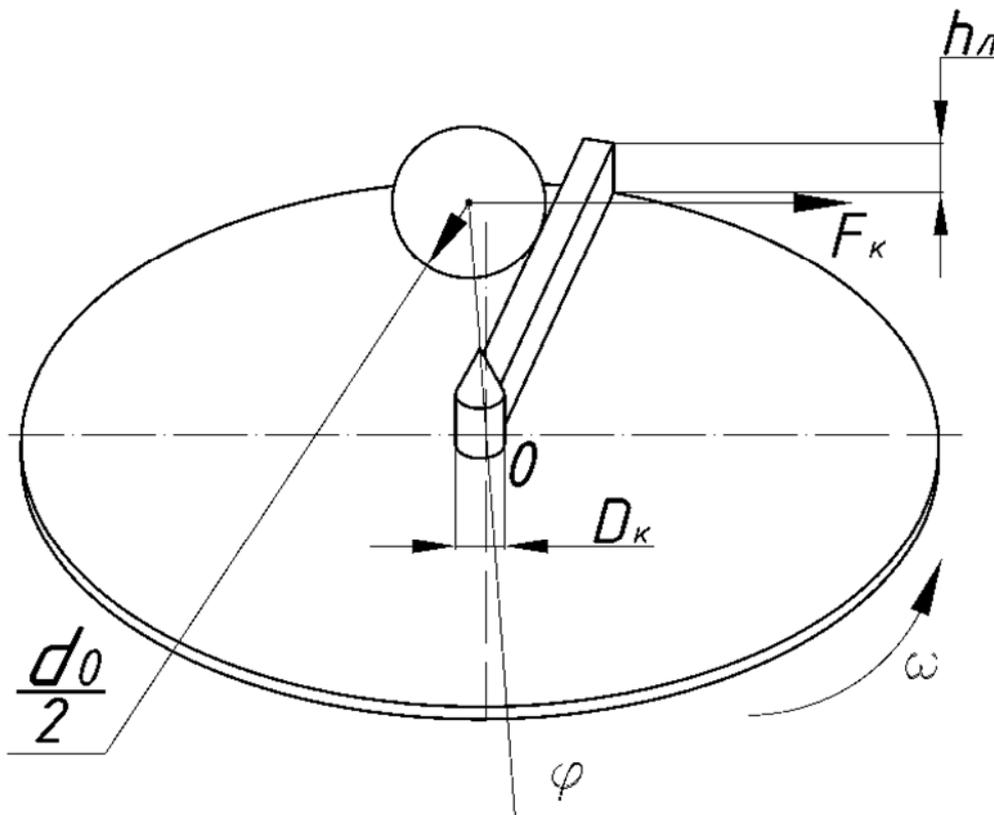


Рис. 2. Расчетная схема для определения массы материала, поступающего на разбрасыватель за один полный оборот

Подстановка (1) и (3) в (2) приведет к следующему результату [10]:

$$M_g = \frac{\omega}{2} \gamma_0 h_l (D_0^2 - D_k^2). \quad (6)$$

Для согласованной работы конического бункера и подачи материала разбрасывателем в камеру помола необходимо равенство выражений (4) и (6) [11]:

$$\gamma_0 Q_0 = \frac{\omega}{2} \gamma_0 h_l (D_0^2 - D_k^2). \quad (7)$$

Основываясь на выражении (7), с учетом (5) можно получить соотношение вида:

$$h_l = \frac{\pi \sqrt{\frac{gHD_0}{2(D_1 - D_0)}}}{2\omega(1 - \frac{D_k^2}{D_0^2})}. \quad (8)$$

Для того чтобы разбрасыватель осуществлял подачу материала в камеру помола, необходимо, чтобы действие центробежной силы было больше силы трения [12] о поверхность радиальных лопастей разбрасывателя:

$$F_{ц} > F_{тр}; \quad (9)$$

$$F_{ц} = \frac{m\vartheta_{\omega}^2}{2}; \quad (10)$$

$$F_{тр} = fmg, \quad (11)$$

где m – масса частицы материала, (кг); f – коэффициент трения частицы материала о поверхность радиальной лопасти.

$$\vartheta_{\omega} = \frac{\omega D_0}{2}. \quad (12)$$

Подстановка (10) – (12) в (9) позволяет получить следующее соотношение:

$$\omega > \omega_{min}. \quad (13)$$

Здесь введено следующее обозначение:

$$\omega_{min} = \sqrt{\frac{2fg}{D_0}}. \quad (14)$$

При выполнении условия (13) частицы материала, двигаясь вдоль поверхности радиальной лопасти разбрасывателя, одновременно подвергаются воздействию силы Кориолиса F_k , модуль силы которой равен:

$$F_k = 2m\omega\vartheta_r, \quad (15)$$

где ϑ_r – величина линейной скорости частиц материала, движущихся вдоль радиальной лопасти разбрасывателя, значение которой согласно [6] равно:

$$\vartheta_r = \frac{\omega r_1}{2f}, \quad (16)$$

где ρ_1 – расстояние от оси вращения нижнего диска до точки, в которой находится частица материала на радиальной лопасти разбрасывателя.

Согласно расчетной схеме на рисунке 2, частицы материала не смогут преодолеть барьер в виде радиальной лопасти прямоугольного поперечного сечения при выполнении неравенства [14]:

$$M \leq U, \quad (17)$$

где M – абсолютная величина момента силы.

$$M = F_k \frac{d_0}{2} \sin \varphi, \quad (18)$$

здесь d_0 – диаметр частиц, движущихся по радиальной лопасти; U – значение потенциальной энергии частицы материала при ее подъеме на величину, равную высоте радиальной лопасти разбрасывателя:

$$U = mgh_{\text{л}}. \quad (19)$$

Подстановка (18), (19), (15) с учетом (16) приводит к следующему результату:

$$\frac{\omega^2 \rho_1 d_0}{2f} \sin \varphi \leq gh_{\text{л}}. \quad (20)$$

Согласно расчетной схеме, представленной на рисунке 2, находим, что [15]:

$$\sin \varphi = \frac{\frac{d_0}{2} - h_{\text{л}}}{\frac{d_0}{2}}. \quad (21)$$

Для согласования пропускной способности разбрасывающего диска и «истечения» из бункера частиц материала необходимо, чтобы объём

материала V_0 , поступающий из бункера за время полного оборота диска разбрасывателя, равнялся объёму материала V_p , сосредоточенного в районе оси вращения диска разбрасывателя:

$$V_0 = V_p, \quad (23)$$

$$V_0 = Q_0 T, \quad (24)$$

здесь Q_0 – изменение объемного расхода в единицу времени; T_0 – время полного оборота; g – ускорение свободного падения; H – высота конического бункера; D_0 – диаметр выпускного отверстия бункера.

Согласно расчётной схеме, представленной на рисунке 1 и рисунке 2:

$$V_p = \pi h_{\text{л}} (D_0 - D_k). \quad (25)$$

На основании (23) с учётом (24)-(25), находим необходимую высоту лопатки $h_{\text{л}}$:

$$h_{\text{л}} = \frac{\pi \sqrt{\frac{gHD_0}{2(D_1 - D_0)}}}{2\omega \left(1 - \frac{D_k^2}{D_0^2}\right)}, \quad (26)$$

где ω – частота вращения диска разбрасывателя, значение которой определяется из условия, что действие центробежной силы на частицу материала было больше силы трения. Это условие можно привести к следующему виду:

$$\omega = \sqrt{\frac{2fg}{D_0}}, \quad (27)$$

здесь f – коэффициент трения частицы материала о рабочую поверхность.

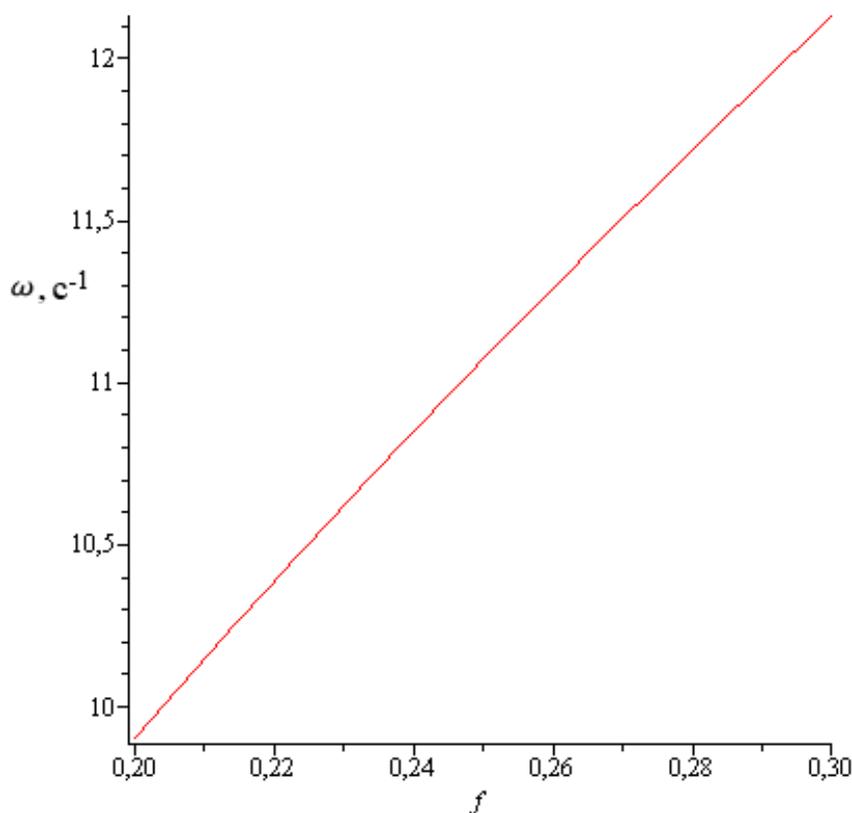


Рис 3. График взаимозависимости частоты вращения ω разбрасывающего диска и коэффициента трения f частицы материала о рабочую поверхность

Из графика видно, что при увеличении коэффициента трения частицы материала о рабочую поверхность требуются более высокие частоты вращения вращающегося диска, таким образом, можно определить оптимальную частоту вращения с учётом согласования пропускной способности дискового разбрасывателя и объёмного расхода материала, истекающего из бункера.

При выполнении условия (27) частица материала начнёт движение вдоль радиального направления плоскости разбрасывателя, одновременно подвергаясь воздействию силы Кориолиса, что приводит к встрече частицы материала с радиальной лопаткой разбрасывателя. В результате чего частица материала может начать движение вдоль лопатки или преодолеть высоту лопатки. Последнее событие определяется соотношением:

$$U \leq M, \quad (28)$$

где M – абсолютная величина момента силы Кориолиса; U – значение потенциальной энергии частицы, которая затрагивается при её подъёме на величину, равную высоте радиальной лопатки разбрасывателя.

Согласно расчётной схеме, представленной на рисунке 2, и, основываясь на результатах работ [4, 13, 15], неравенство (29) можно привести к следующему виду:

$$\frac{\omega^2 \rho_1}{2f} (d_0 - 2h_l) \leq h_l g, \quad (29)$$

где ρ_1 – расстояние от оси вращения разбрасывающего диска до места встречи частицы материала с радиальной лопаткой.

На основании (29) находим:

$$h_l = \frac{\frac{d_0}{2}}{1 + \frac{gf}{\omega^2 \rho_1}}. \quad (30)$$

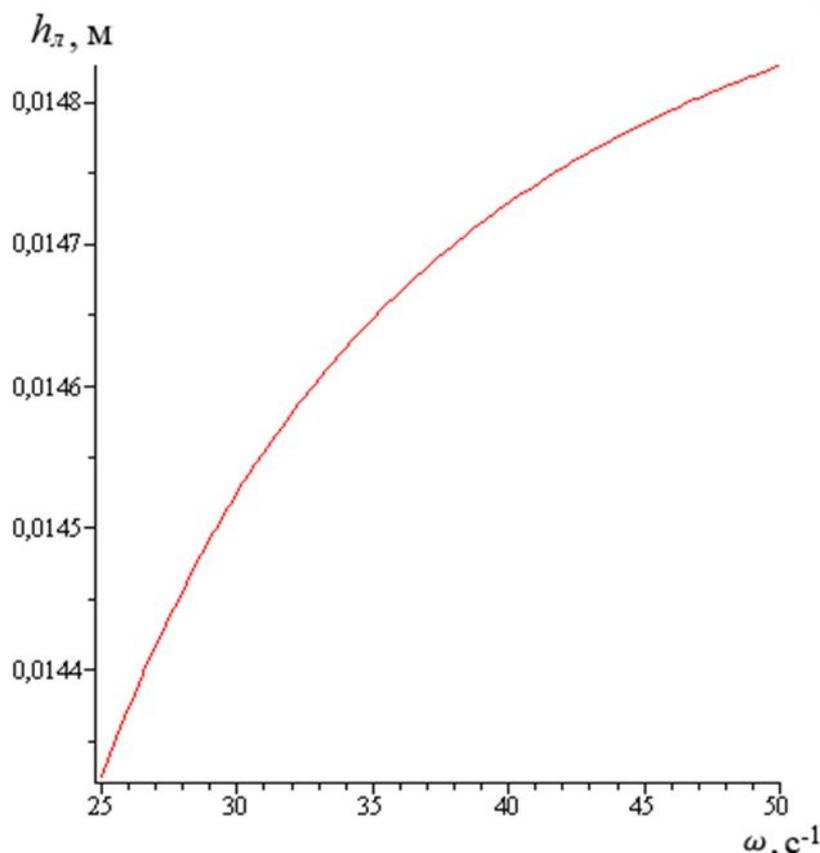


Рис. 4. График зависимости высоты лопатки h_l от частоты вращения разбрасывателя ω .

Кривая описывает предельно допустимый размер лопатки в зависимости от частоты вращения и показывает максимально допустимый размер лопатки, предотвращающий преодоление барьера в виде прямоугольной лопатки разбрасывателя частицы материала в форме шара

Иллюстрация работы разгрузочного узла ступенчатой дисковой мельницы при заданных конструктивных параметрах:

ω – частота вращения разбрасывателя, $\omega = 25 \dots 50 \text{ c}^{-1}$;

ρ_1 – расстояние от оси вращения нижнего диска до точки, в которой находится частица материала на радиальной лопатке разбрасывателя, $\rho_1 = 0,1 \text{ м}$;

H – высота конического бункера, $H = 0,3 \text{ м}$;

D_1 – диаметр верхнего основания распределяющего конуса, $D_1 = 0,1 \text{ м}$;

D_k – диаметр распределяющего конуса, установленного на разбрасывателе, $D_k = 0.005$ м;

D_0 – диаметр выходного отверстия бункера, $D_0 = 0.05$ м;

d_0 – диаметр частиц, движущихся по радиальной лопасти, $d_0 = 0.03$ м.

График приведенный на рисунке 3, позволяет сделать вывод, что при $\omega = 50$ с⁻¹, максимально допустимая высота лопатки, позволяющая разгрузить дисковый разбрасыватель $h_n = 0,04$ м, при этом данная высота исключает преодоление барьера в виде прямоугольной лопатки разбрасывателя частицы материала.

Полученное соотношение (27) определяет пороговое значение частоты вращения диска, обеспечивающее движение частицы вдоль рабочей поверхности лопатки разбрасывателя.

Выводы. Таким образом, полученные соотношения (27) и (30) определяют оптимальные конструктивный h_n и технологический ω параметры разбрасывавшего диска ступенчатой дисковой мельницы.

Источник финансирования. Министерство науки и высшего образования РФ, Соглашение №075-11-2021-060 от 24.06.2021 г. «Создание высокотехнологичного производства роботизированных 6DOF платформ подвижности для тренажеров и симуляторов для авиационной и ракетно-космической отрасли» (уникальный номер 000000S407521QLB0002)

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Севостьянов В.С. Энергосберегающие помольные агрегаты. Белгород. 2006. 435 с.
2. Левданский Э.И., Левданский А.Э., Гребенчук П. С. Влияние конструктивных и технологических параметров роторно центробежной мельницы на эффективность измельчения материалов // Труды БГТУ. Сер. III, Химия и технология неорганических веществ. 2006. Вып. XIV. С. 129–132.
3. Пат. 2739620, Российская Федерация МПК В02С 7/00. Центробежный дисковый измельчитель / И.А. Семикопенко, Д.В. Вавилов, Е.А. Бороздин, А.Э. Севостьянов; заявитель и патентообладатель БГТУ им. В.Г. Шухова. № 2020130519; заявл. 16.09.2020; опубл. 28.12.2020. Бюл. № 1. 6 с.
4. Кузнецов С.И., Рогозин К.И. Справочник по физике. Профобразование, 2017. 219 с.
5. Лапшин В.Б. Интенсификация механохимических процессов в гетерогенных средах на основе дезинтеграторов с плоскими рабочими

элементами. Дисс. д-ра техн. наук: 05.17.08. Иваново: ИХТУ, 2005. 387 с.

6. Семикопенко И.А., Воронов В.П., Пензев П.П. Теоретические исследования скорости движения частиц материала вдоль поверхности ударного элемента мельницы дезинтеграторного типа. // Известия ВУЗов. Строительство, № 11-12. 2008. С. 93–96.

7. Богданов В.С., Семикопенко И.А., Воронов В.П. Дезинтеграторы. Конструкции. Теория. Эксперимент. Белгород, БГТУ им. В.Г. Шухова. 2016. 235 с.

8. Сиваченко Л.А. Современное технологическое машиностроение. Основные положения // Инженер-механик. 2010. № 4. С. 10–20.

9. Баталин Б.С. Процессы и аппараты в технологии строительных материалов. Пермь: Изд-во Пермского гос. технического ун-та, 2008. 95 с.

10. Андросов А.А. Расчёт и проектирование деталей машин. Ростов н/Д: Издательский центр ДГТУ. 2002. 285 с.

11. Блиничев В.Н. Описание процесса тонкого измельчения в сепарационной мельнице ударно-отражательного действия // Сб. статей Междунар. научн.-практ. конференции. Краков, 2008. С. 43-48.

12. Анурьев В.И. Справочник конструктора-машиностроителя: в 3 т. Т.1. 8-е изд. Машиностроение. 2001. 900 с.

13. Черепяхин А.А., Колтунов И.И., Кузнецов В. А. Материаловедение: учебник. 4-е изд., стер. Москва: КНОРУС, 2018. 236 с.

14. Прокопец В.С. Увеличение работоспособности мельниц ударного действия с помощью твердых безвольфрамовых сплавов // Журн. «Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века», 2005. №7. С. 50–51.

15. Несмеянов Н. П., Богданов В.С., Горшков П.С., Бражник Ю.В. Механическое оборудование общего назначения предприятий строительных материалов и изделий. Белгород: Изд-во БГТУ им. В. Г. Шухова. 2012. 104 с.

16. Зельдович Я.Б., Мышкис А.Д. Элементы прикладной математики. М. Лань. 4. изд. 2002. 592 с.

17. Богданов В.С., Богданов Н.Э., Богданов Д.В., Самсонова П.С. Интенсификация процесса измельчения в вибрационных мельницах // Журнал физики: серия конференций. Международная конференция «Высокие Технологии и инновации в исследованиях и производстве». NIRM 2019. 2019. 012041.

Информация об авторах

Семикопенко Игорь Александрович, кандидат технических наук, доцент кафедры механического оборудования. E-mail: semickopenko.i@yandex.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Воронов Виталий Павлович, кандидат физико-математических наук, профессор кафедры механического оборудования. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Латышев Сергей Сергеевич, кандидат технических наук, доцент кафедры начертательной геометрии и графики. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Севостьянов Владимир Семёнович, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой технологических комплексов, машин и механизмов. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Рыбак Лариса Александровна, доктор технических наук, профессор кафедры технологии машиностроения. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Севостьянов Александр Эдуардович, аспирант кафедры механического оборудования. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Вавилов Дмитрий Владимирович, аспирант кафедры механического оборудования. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Поступила 02.12.2020 г.

© Семикопенко И.А., Воронов В.П., Латышев С.С., Севостьянов В.С., Рыбак Л.А., Севостьянов А.Э., Вавилов Д.В., 2021

***Semikopenko I.A., Voronov V.P., Latyshev S.S., Sevostyanov A.E.**

Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov

**E-mail: semickopencko.i@yandex.ru*

DETERMINATION OF DESIGN PARAMETERS OF A STEP DISK MILL

Abstract. *The calculation of the design parameters of a disc mill equipped with a feeder made in the form of a conical hopper is given. For shredders of the disintegrator type, it is very important to ensure the uniformity of loading of the crushed material of the working zone of active impact on particles. In addition, the most important factor is the throughput capacity of all sections of the grinding plant. The throughput should be determined by the design and technological parameters of the working chamber of the mill. Its overload can lead to a blockage of the working chamber, and insufficient throughput will negatively affect the intensity and effectiveness of the impact on the particles of the material. For example, insufficient concentration of particles in the secondary zone of the grinding chamber leads to a decrease in the efficiency of mutual abrasion. The article attempts to determine the design and technological parameters in the loading and accelerating parts of the disk mill. At the same time, it is necessary to coordinate the throughput of the disk spreader and the volumetric flow rate of the material particles flowing from the hopper. In this case, it is advisable to take into account that as a result of a rather high rotational speed and the size of the initial particles, with the wrong height of the radial blade of the spreader, material particles can roll over the radial blades, which leads to a delay of the material in the zone of the spreading disc. Therefore, it is necessary to determine the calculation formulas for finding the required height of the radial blade of the spreading disc, depending on the size of the initial particles. The formula demonstrates that the height of the separating blade depends on the particle size, the speed of rotation of the disks and the distance to the point of meeting of the particle with the radial blade.*

Keywords: *material, particle, disk mill, grinding, grinding chamber.*

REFERENCES

1. Sevostyanov V.S. Energy-saving grinding units [Energosberegayushchie pomol'nye agregaty]. Belgorod. 2006. 435 p (rus)
2. Levdansky E.I., Levdansky A.E., Grebenchuk P.S. The influence of design and technological

parameters of a rotary centrifugal mill on the efficiency of grinding materials [Vliyanie konstruktivnyh i tekhnologicheskikh parametrov rotornogo centrobezhnoj melnicy na ehffektivnost izmelcheniya materialov] Transactions BSTU. Ser. III, Chemistry and technology neorgan. v-v. 2006. No XIV. Pp. 129–132. (rus)

3. Semikopenko I.A., Vavilov D.V., Borozdin E.A., Sevostyanov A.E. Centrifugal disk grinder. Patent RF, no. 2739620, 2020.
4. Kuznetsov S.I., Rogozin K.I. Handbook of Physics [Spravochnik po fizike]. Vocational education. 2017. 219 p. (rus)
5. Lapshin V.B. Intensification of mechanochemical processes in heterogeneous media based on disintegrators with flat working elements. [Intensifikaciya mekhanohimicheskikh processov v geterogennykh sredakh na osnove dezintegratorov s ploskimi rabochimi elementami]. Diss. Doctor of Technical Sciences: 05.17.08. Ivanovo: IHTU, 2005. 387 p. (rus)
6. Semikopenko I.A., Voronov V.P., Penzev P.P. Theoretical studies of the speed of movement of material particles along the surface of the impact element of a mill of a disintegrator type. [Teoreticheskiye issledovaniya skorosti dvizheniya chastits materiala vdol' poverkhnosti udarnogo elementa mel'nitsy dezintegratornogo tipa]. Proceedings Of The Universities. Construction., 2008. No 11-12. Pp. 93–96. (rus)
7. Bogdanov V.S., Semikopenko I.A., Voronov V.P. Disintegrators. Designs. Theory. Experiment. Monograph. [Dezintegratory. Konstruktsii. Teoriya. Eksperiment.] Belgorod, BSTU named after V. G. Shukhov, 2016. 235 p. (rus)
8. Sivachenko L.A. Modern technological machine-building. Basic principles. [Sovremennoye tekhnologicheskoye mashinostroyeniye. Osnovnyye polozheniya]. Mechanical engineer. 2010. No. 4. Pp. 10–20. (rus)
9. Batalin B.S. Processes and apparatuses in the technology of building materials. [Process i apparaty v tekhnologii stroitelnykh materialov] Perm: Publishing house of the Perm State Technical University, 2008. 95 p. (rus)
10. Androsov A.A. Calculation and design of machine parts. [Raschyot i proektirovanie detalej mashin] Study guide. Rostov n/A: Publishing center of DSTU, 2002. 285 p. (rus)
11. Blinichev V.N. Description of the fine grinding process in a shock-reflective separation mill [Opisanie processa tonkogo izmel'cheniya v separatsionnoy mel'nice udarno-otrazhatel'nogo dejstviya]. Collection of articles of the International Scientific and Practical Conference. Krakow, 2008. pp. 43-48.] (rus)
12. Anuryev V.I. Handbook of a designer-machine builder: in 3 vols. [Spravochnik konstruktora mashinostroitelya v 3 t] Vol. 1. 8th ed. Mechanical engineering. 2001. 900 p. (rus)
13. Cherepakhin A.A., Koltunov I.I., Kuznetsov V.A. Material Science [Materialovedenie] textbook. 4th ed., ster. - Moscow: KNORUS, 2018. 236 p. (rus)
14. Prokopets B.C. Increasing the efficiency of impact mills with the help of solid tungsten-free alloys. Zhurn. "Construction materials, equipment, technologies of the XXI century", 2005. No. 7. Pp. 50–51. [Uvelichenie rabotosposobnosti mel'nic udarnogo dejstviya s pomoshch'yu tverdykh bezvol'framovykh splavov] (rus)
15. Nesmeyanov N.P., Bogdanov V.S., Gorshkov P.S., Brazhnik Yu.V. Mechanical equipment of general purpose enterprises of construction materials and products [Mekhanicheskoe oborudovanie obshchego naznacheniya predpriyatij stroitelnykh materialov i izdelij] Belgorod: Publishing house of BSTU named after V.G. Shukhov. 2012. 104 p. (rus)
16. Zeldovich Ya.B., Myshkis A.D. Elements of applied mathematics [Ehlementy prikladnoy matematiki] M. Lan. 4. ed. 2002. 592 p. (rus)
17. Bogdanov V.S., Bogdanov N.E., Bogdanov D.V., Samsonova P.S. Intensification of the grinding process in vibration mills [Intensifikaciya processa izmel'cheniya v vibratsionnykh mel'nitsah]. Journal of Physics: Conference Series. International Conference «High-Tech and Innovations in Research and Manufacturing». HIRM 2019. 2019. 012041. (rus)

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, Vitaly P. DSc, Professor. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Latyshev, Sergei S. PhD, Assistant professor. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Sevostyanov, Vladimir S. DSc, Professor. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Rybak, Larisa A. DSc, Professor. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Sevostyanov, Aleksandr E. Research assistant. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Vavilov, Dmitrii V. Research assistant. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Received 02.12.2020

Для цитирования:

Семикопенко И.А., Воронов В.П., Латышев С.С., Севостьянов В.С., Рыбак Л.А., Севостьянов А.Э., Вавилов Д.В. Определение конструктивных параметров ступенчатой дисковой мельницы // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2021. № 12. С. 98–106. DOI: 10.34031/2071-7318-2021-6-12-98-106

For citation:

Semikopenko I.A., Voronov V.P., Latyshev S.S., Sevostyanov V.S., Rybak L.A., Sevostyanov A.E., Vavilov D.V. Determination of design parameters of a step disk mill. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2021. No. 12. Pp. 98–106. DOI: 10.34031/2071-7318-2021-6-12-98-106