

Научно-теоретический журнал

ВЕСТНИК

БГТУ им. В.Г. Шухова

ISSN 2071-7318

1

2025

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

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

№ 1, 2025 год

**SCIENTIFIC AND THEORETICAL JOURNAL
BULLETIN
of BSTU named after V.G. Shukhov
Vol. 1. 2025**

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:

- 2.1.1. – Строительные конструкции, здания и сооружения (технические науки)
- 2.1.3. – Теплоснабжение, вентиляция, кондиционирование воздуха, газоснабжение и освещение (технические науки)
- 2.1.5. – Строительные материалы и изделия (технические науки)
- 2.1.11. – Теория и история архитектуры, реставрация и реконструкция историко-архитектурного наследия (архитектура)
- 2.1.12. – Архитектура зданий и сооружений. Творческие концепции архитектурной деятельности (архитектура)
- 2.1.13. – Градостроительство, планировка сельских населенных пунктов (технические науки)
- 2.1.13. – Градостроительство, планировка сельских населенных пунктов (архитектура)
- 2.1.14. – Управление жизненным циклом объектов строительства (технические науки)
- 2.6.14. – Технология силикатных и тугоплавких неметаллических материалов (технические науки)
- 2.5.4. – Роботы, мехатроника и робототехнические системы (технические науки)
- 2.5.5. – Технология и оборудование механической и физико-технической обработки (технические науки)
- 2.5.6. – Технология машиностроения (технические науки)
- 2.5.21. – Машины, агрегаты и технологические процессы (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 Регистрационный номер и дата принятия решения 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. 522 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
Распространение	Журнал распространяется бесплатно в открытом доступе. Цена свободная
Подписан в печать	10.01.2025
Выход в свет	28.01.2025

Формат 60×84/8. Усл. печ. л. 16,97. Уч.-изд. л. 18,25. Тираж 35 экз. Заказ № 5

© ФГБОУ ВО «Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова», 2025

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:

- 2.1.1. – Building structures, constructions and facilities (technical sciences)
- 2.1.3. – Heat supply, ventilation, air conditioning, gas supply and lighting (technical sciences)
- 2.1.5. – Building materials and products (technical sciences)
- 2.1.11. – Theory and history of architecture, restoration and reconstruction of historical and architectural heritage (architecture)
- 2.1.12. – Architecture of buildings and structures. Creative concepts of architectural activity (architecture)
- 2.1.13. – Urban planning, rural settlement planning (technical sciences)
- 2.1.13. – Urban planning, rural settlement planning (architecture)
- 2.1.14. – Life-cycle management of construction projects (technical sciences)
- 2.6.14. – Technology of silicate and refractory nonmetallic materials (technical sciences)
- 2.5.4. – Robots, mechatronics and robotic systems (technical sciences)
- 2.5.5. – Technology and equipment of mechanical and physical-technical processing (technical sciences)
- 2.5.6. – Engineering technology (technical sciences)
- 2.5.21. – Machines, aggregates and technological processes (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. 522
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
Distribution	The journal is distributed free of charge in the public domain. Free price
Signed for printing:	10.01.2025

Главный редактор

Евтушенко Евгений Иванович, д-р техн. наук, проф., первый проректор, 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, академик РААСН, д-р арх., проф., заведующий кафедрой градостроительства Самарского государственного технического университета, Архитектурно-строительной академии (РФ, г. Самара).

Богданов Василий Степанович, д-р техн. наук, проф., заведующий кафедрой механического оборудования 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).

Бурьянов Александр Федорович, д-р техн. наук, проф. НИУ Московского государственного строительного университета (РФ, г. Москва), исполнительный директор Российской гипсовой ассоциации (РФ, г. Москва).

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

Воробьев Валерий Степанович, д-р техн. наук, проф., заведующий кафедрой технологии, организации и экономики строительства, Сибирский государственный университет путей сообщения (РФ, г. Новосибирск).

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).

Давидюк Алексей Николаевич, д-р техн. наук, научный руководитель АО «КТБ Железобетон» (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., НИУ Московского государственного строительного университета (РФ, г. Москва).

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).

Ильишкая 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).

Лесовик Руслан Валерьевич, д-р техн. наук, проректор по международной деятельности, проф. кафедры 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).

Мешерин 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., заведующий кафедрой теоретической и прикладной химии Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова (РФ, г. Белгород).

Перькова Маргарита Викторовна, д-р арх., проф., директор 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).

Полужкова Валентина Анатальевна – д-р техн. наук, проф. кафедры теоретической и прикладной химии Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова (РФ, г. Белгород).

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).

Севрюгина Надежда Савельевна, д-р техн. наук, проф. кафедры технического сервиса машин и оборудования, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева (РФ, г. Москва).

Семенов Сергей Владимирович, д-р арх., проф. кафедры градостроительства 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).

Сивенков Андрей Борисович, д-р техн. наук, проф., кафедры пожарной безопасности в строительстве, Академии Государственной противопожарной службы МЧС России (РФ, г. Москва).

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

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

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

Тиратурия Артем Николаевич, д-р техн. наук, проф. кафедры автомобильных дорог, Донского государственного технического университета (РФ, г. Ростов-на-Дону).

Тодорович Гордана, PhD, проф. технологии и информационных систем Шумадийской академии профессионального образования (Республика Сербия, г. Крагуевац).

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

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

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

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

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

Ялун 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, Academician 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).

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

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

Aleksandr F. Buryanov, Doctor of Technical Sciences, Professor, Moscow State University of civil engineering (National research university) (Russian Federation, Moscow).

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

Valery S. Vorob'ev, Doctor of Technical Sciences, Professor, Siberian Transport University (Russian Federation, Novosibirsk).

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

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

Aleksey N. Davidiyuk, Doctor of Technical Science, KTB Beton Group (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, Moscow State University of civil engineering (National research university) (Russian Federation, Moscow).

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).

Ruslan V. Lesovik, 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).

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

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).

Nadezhda S. Sevryugina, Doctor of Technical Sciences, Professor, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (Russian Federation, Moscow).

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).

Andrey B. Sivenkov, Doctor of Technical Sciences, Professor, Academy of State Fire Service of EMERCOM of Russia (Russian Federation, Moscow).

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).

Artem N. Tiraturyan, Doctor of Technical Sciences, Professor, Don State Technical University, (Russian Federation, Rostov-on-Don).

Gordana Todorovic, PhD, Professor of Technology and Information Systems at the Sumadija Academy of Vocational Education (Republic of Serbia, Kragujevac).

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).

ИТОГИ ВСЕРОССИЙСКОЙ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ «КОЛТУШИ – ТЕРРИТОРИЯ НОВЫХ ИДЕЙ» В ГОРОДЕ КОЛТУШИ ЛЕНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ	8
--	---

СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

Лутченко С.И. ОПОРНЫЙ ЦЕНТР РАССЕЛЕНИЯ – ГОРОД КОЛТУШИ. ПРИНЦИПЫ И ФАКТОРЫ ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАЗВИТИЯ	10
Хмелёва Е.В., Лутченко С.И. ПРАКТИКА ГРАДОСТРОИТЕЛЬНОГО ЗОНИРОВАНИЯ ТЕРРИТОРИИ КОЛТУШСКОГО ПОСЕЛЕНИЯ С УЧЕТОМ МИРОВОГО ОПЫТА	20
Ладик Е.И., Перькова М.В., Сударикова А.А., Фурсаева Е.В., Нецветаева О.В. ВЫЯВЛЕНИЕ ИДЕНТИЧНОСТИ ТЕРРИТОРИИ ДОСТОПРИМЕЧАТЕЛЬНОГО МЕСТА ФЕДЕРАЛЬНОГО ЗНАЧЕНИЯ «КОЛТУШСКАЯ ВОЗВЫШЕННОСТЬ И КОЛТУШСКОЕ ШОССЕ» В ЛЕНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ	30
Перькова М.В., Бобылев С.Ю., Ладик Е.И., Грачева А.А., Щапов Д.В. ФОРМИРОВАНИЕ ЗЕЛЕННОГО КАРКАСА Г. КОЛТУШИ ЛЕНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ	41
Нецветаева О.В. ДИЗАЙН-КОД КАК МЕТОД ВЫЯВЛЕНИЯ ИДЕНТИЧНОСТИ МЕСТНОСТИ (НА ПРИМЕРЕ Г. КОЛТУШИ)	55
Калита Д.И. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВОДООТДЕЛЕНИЯ ЦЕМЕНТА ПРИ ВХОДНОМ КОНТРОЛЕ КАЧЕСТВА В ПРОИЗВОДСТВЕ БЕТОНА	68
Траутвайн А.И., Сырых А.А. АНАЛИЗ РЫНКА СТАБИЛИЗИРУЮЩИХ ДОБАВОК ДЛЯ ЩЕБЕНОЧНО-МАСТИЧНОГО АСФАЛЬТОБЕТОНА. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПРЕДПОСЫЛКИ ПРИМЕНЕНИЯ ОРГАНИЧЕСКИХ ВОЛОКОН ДЛЯ СТАБИЛИЗАЦИИ БИТУМА	82
Буковцова А.И., Нецвет Д.Д., Жерновская И.В. АНАЛИЗ МЕХАНИЗМОВ САМООЧИЩЕНИЯ В МАТЕРИАЛАХ СТРОИТЕЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ	100
Римшин В.И., Сулейманова Л.А., Амелин П.А. ПРОЧНОСТЬ НОРМАЛЬНЫХ И НАКЛОННЫХ СЕЧЕНИЙ ИЗГИБАЕМЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ, ПОВРЕЖДЕННЫХ КОРРОЗИЕЙ И УСИЛЕННЫХ ВНЕШНИМ КОМПОЗИТНЫМ АРМИРОВАНИЕМ	117
Муртазин Р.Ш., Мухамадеев К.Т., Сабитов Л.С. ИССЛЕДОВАНИЯ СБОРНЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ НЕСУЩИХ СИСТЕМ С ПЛОСКИМ ПЕРЕКРЫТИЕМ	128

ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ

Харламов В.А., Лопанов А.Н., Дементьев К.В., Сысоев П.И. ГИДРОФОБНЫЕ СВОЙСТВА ЦЕМЕНТНОГО КАМНЯ С ДОБАВКАМИ ОТХОДОВ ЭКСТРАКЦИИ ЛЕЦИТИНА	138
---	-----

CONSTRUCTION AND ARCHITECTURE

Lutchenco S.I.

THE MAIN SETTLEMENT CENTER IS THE CITY OF KOLTUSHI. PRINCIPLES AND FACTORS OF SPATIAL DEVELOPMENT

10

Khmeleva E.V., Lutchenco S.I.

PRACTICE OF URBAN ZONING OF THE TERRITORY OF KOLTUH SETTLEMENT TAKING INTO ACCOUNT WORLD EXPERIENCE

20

Ladik E.I., Perkova M.V., Netsvetaeva O.V., Sudarikova A.A., Fursaeva E.V.

IDENTIFICATION OF THE IDENTITY OF THE TERRITORY OF A NOTABLE PLACE OF FEDERAL SIGNIFICANCE «KOLTUSHSKAYA UPLAND AND KOLTUSHSKOE HIGHWAY» IN THE LENINGRAD REGION

30

Ladik E.I., Perkova M.V., Sudarikova A.A., Fursaeva E.V.

FORMATION OF THE GREEN FRAMEWORK OF THE CITY OF KOLTUSHI LENINGRAD REGION

41

Netsvetaeva O.V.

DESIGN CODE AS A WAY TO IDENTIFY THE IDENTITY OF THE AREA (USING THE EXAMPLE OF KOLTUSHI)

55

Kalita D.I.

USING THE METHOD OF DETERMINING CEMENT PASTE BLEEDING FOR INPUT QUALITY CONTROL IN CONCRETE PRODUCTION

68

Trautvain A.I., Syryh A.A.

ANALYSIS OF THE MARKET OF STABILIZING ADDITIVES FOR CRUSHED STONE-MASTIC ASPHALT CONCRETE. THEORETICAL INFORMATION ON THE APPLICATION OF ORGANIC FIBERS FOR BITUMEN STABILIZATION

82

Bukovtsova A.I., Netsvet D.D., Zhernovskaya I.V.

ANALYSIS OF SELF-CLEANING MECHANISMS IN CONSTRUCTION MATERIALS

100

Rimshin V.I., Suleymanova L.A., Amelin P.A.

STRENGTH OF NORMAL AND INCLINED SECTIONS OF BENDING REINFORCED CONCRETE ELEMENTS DAMAGED BY CORROSION AND REINFORCED BY EXTERNAL COMPOSITE REINFORCEMENT

117

Murtazin R.Sh., Mukhamadeev K.T., Sabitov L.S.

RESEARCH ON PRECAST REINFORCED CONCRETE FRAME SYSTEMS WITH FLAT CEILING

128

CHEMICAL TECHNOLOGY

Kharlamov V.A., Lopanov A.N., Dementyev K.V., Sysoev P.I.

HYDROPHOBIC PROPERTIES OF CEMENT STONE WITH WASTE ADDITIVES OF LECITHIN EXTRACTION

138

ИТОГИ ВСЕРОССИЙСКОЙ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ «КОЛТУШИ – ТЕРРИТОРИЯ НОВЫХ ИДЕЙ» В ГОРОДЕ КОЛТУШИ ЛЕНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ

На территории Ленинградской области расположены исторические поселения, которые имеют высокий историко-культурный потенциал, уникальные ландшафты и нуждаются в формировании особой градостроительной политики. К одной из таких относится территория г. Колтуши Всеволожского района Ленинградской области, которая с недавнего времени является Достопримечательным местом Федерального значения. С целью решения проблем по строительству, реконструкции и установления ограничений, связанных с защитными и охранными зонами от объектов культурного наследия, в том числе в границах Достопримечательного места, была организована и проведена Летняя архитектурная школа «Колтуши – территория новых идей 2024» Правительства Ленинградской области, Комитета градостроительной политики Ленинградской области, ГКУ «Градостроительное развитие территорий Ленинградской области» и по инициативе Первого заместителя председателя комитета – главного архитектора Ленинградской области Сергея Ивановича Лутченко, а также руководства «Института физиологии имени И. П. Павлова». Над прикладным исследованием работали студенты трех университетов: магистранты Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого, магистранты и бакалавры старших курсов Санкт-Петербургского государственного архитектурно-строительного университета и бакалавры стар-

ших курсов Санкт-Петербургского горного университета с привлечением ученых, опытных градостроителей и архитекторов Союза архитекторов Санкт-Петербурга, крупных девелоперов.

В рамках Летней архитектурной школы с 8 июня по 10 июля 2024 г. проходила Всероссийская научно-практическая конференция с одноименным названием «Колтуши – территория новых идей» в г. Колтуши Ленинградской области. Такой формат организации научно-проектной практики позволил создать уникальную платформу для организации межвузовской командной работы, здоровой конкурентной профессиональной среды, обмена опытом между университетами и коммуникации студентов в рамках подготовки по УГСН «Архитектура». Учет уровня подготовки (бакалавриат или магистратура) при распределении задач дифференцировал зоны ответственности в соответствии с профессиональным стандартом, а лекции приглашенных спикеров расширили компетенции студентов. Первый опыт такого взаимодействия представлен в виде тезисов докладов в сборнике материалов конференции как результат коллективной работы студентов трех университетов Санкт-Петербурга под руководством преподавателей вузов, представителей Комитета градостроительной политики Ленинградской области, ГКУ «Градостроительное развитие территорий Ленинградской области», архитекторов – практиков и градостроителей.



Фото предоставлено Перьковой М.В.

Данный вариант научно-проектной практики магистрантов и бакалавров старших курсов

является актуальным и очень интересным примером гибридной практики, где на конкретном примере градостроительного анализа исследуются

существующие противоречия и проблемы развития территорий и моделируются пути их решения. Как отмечает вице-президент Санкт-Петербургского отделения Союза архитекторов России, генеральный директор ООО «Архитектурная мастерская С. Ю. Бобылева» Сергей Юрьевич Бобылев: «Такой подход к поиску рационального комфортного пространственного развития позволяет глубоко изучить существующую ситуацию, ознакомиться с градостроительным законодательством и действующей градостроительной и планировочной документацией, определить цели, задачи и способы их достижения. Доклады и дискуссии на конкретные акту-

альные темы, которые были организованы в процессе обучения, показали уровень профессиональной подготовки студентов, их представление о будущем окружающем мире, роли гражданина и профессионала». Организация научно-практического обучения под руководством опытейших наставников способствует максимально эффективному освоению профессиональных компетенций, научному обоснованию и практическому решению существующих актуальных проблем пространственного развития и поиску объективного компромисса для достижения поставленных целей в рамках градостроительной политики региона.

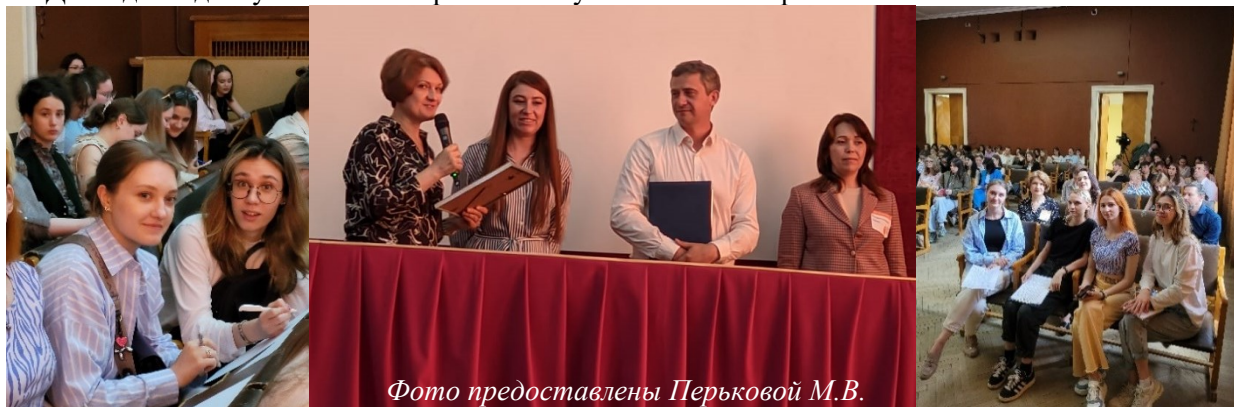


Фото предоставлены Перьковой М.В.

Как отмечает главный архитектор Ленинградской области Сергей Иванович Лутченко: «Формат, место и тема для «Летней архитектурной школы» как нельзя кстати актуальна именно сейчас и стоит на повестке дня у Федеральных ведомств России... Колтушские высоты с недавнего времени являются Достопримечательным местом Федерального значения, а это означает, что появились новые обязательства для собственников земельных участков по согласованию своих действий в профильных ведомствах, связанных с охраной объектов культурного наследия: капитальный ремонт, благоустройство, перекладка инженерных сетей, реконструкция и новое строительство». Очевидно, что в данном случае необходимым является проведение прикладного исследования с теоретическим обоснованием и экспериментальным моделированием.

Итоговый результат коллективной работы представлен в данном номере журнала. Это пять публикаций, последовательно раскрывающих анализ и поэтапное решение проблем градостроительного развития Колтушского городского поселения: планировочные факторы и принципы пространственного развития как пример многогранной территории, имеющей предпосылки в

социокультурном, агломерационном и планировочном направлениях градостроительного развития (статья С.И. Лутченко); практика градостроительного зонирования территории Колтушского поселения с учетом мирового опыта (Е.В. Хмельёва, С.И. Лутченко); формирование зеленого каркаса г. Колтуши с учетом сохранения уникального природного ландшафта, создании буферных зон для особо охраняемых природных территорий, корректировке транспортного каркаса и уточнении функционального зонирования (М.В. Перькова, С.Ю. Бобылев, Е.И. Ладик, А. А. Грачева, Д.В. Шапов); рассмотрение вопроса применения дизайн-кода как инструмента выявления индивидуальности территории и необходимости его разработки для формирования современной комфортной городской среды (Нецветева О.В.); выявление особенностей архитектурной и историко-культурной среды, характеризующих идентичность территории достопримечательного места Федерального значения «Колтушская возвышенность и Колтушское шоссе» в Ленинградской области как основы для создания единого дизайн-кода исторического населенного пункта (Ладик Е.И., Перькова М.В., Сударикова А.А., Фурсаева Е.В., Нецветева О.В.).

Маргарита Викторовна Перькова

директор Высшей школы дизайна и архитектуры

Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого, доктор архитектуры, советник РААСН, член Союза архитекторов России

СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

DOI: 10.34031/2071-7318-2024-10-1-10-19

Лутченко С.И.

Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет

E-mail: serg.lutchenko@yandex.ru

ОПОРНЫЙ ЦЕНТР РАССЕЛЕНИЯ – ГОРОД КОЛТУШИ. ПРИНЦИПЫ И ФАКТОРЫ ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАЗВИТИЯ

Аннотация. В статье рассматриваются планировочные факторы и принципы пространственного развития территории Колтушского городского поселения как примера многогранной территории, имеющей предпосылки в социокультурном, агломерационном и планировочном направлениях градостроительного развития. Предложен принцип управления и направления градостроительной политики, апробированный на крупном опорном центре расселения – город Колтуши. Выделены активные центры промышленного развития в районе города Колтуши, деревни Манушкино и посёлка железнодорожной станции Шестнадцатый километр. Также проанализированы ключевые принципы пространственного развития Ленинградской области и даны предложения по планировочной реорганизации и развитию Колтушского городского поселения, а именно: между крупными опорными центрами необходимо сформировать регулярное пассажирское сообщение пригородным транспортом, соединить вылетные магистральные направления федеральных и региональных дорог транспортными полукольцевыми связями, развить железнодорожное сообщение центральных населенных пунктов поселений Ленинградской области с г. Санкт-Петербургом, формировать социально-экономические функции селитебных территорий через создание региональных центров расселения с современной занятостью населения, сбалансировать потоки трудовой маятниковой миграции через региональные технопарки разной удаленности от центрального ядра агломерации, создать разнообразные рабочие места в секторе промышленности и инноваций, продолжить формировать комфортную городскую среду для жителей сельских и городских территорий, формировать достаточное и необходимое обеспечение социально-культурно-бытовыми объектами с оптимальной доступностью для населения, подготовить качественные и разнообразные предложения на рынке жилья.

Ключевые слова: город Колтуши, опорный центр расселения, принципы, пространственное развитие, полицентричность, градостроительная политика.

Введение. Анализ результатов реализации документов территориального планирования и социально-экономической стратегии Всеволожского муниципального района Ленинградской области по выделенным показателям в 2019-2023 годах - лежат в основе определения перспективных планировочных направлений развития района и региона в целом на краткосрочный и долгосрочный периоды (10 и 20 лет включительно).

Произошедшие события – ковидный и санкционный периоды в нашей стране изменили вектор социально-экономического развития. Современные тренды макроэкономического развития стали больше влиять на стратегию развития и документы территориального планирования региона, района и отдельно взятого муниципального образования – Колтушского городского поселения (рис. 1).

Политика санкций Запада сформировала в нашей стране следующие необратимые тенденции, оказывающие влияние, в том числе на Ленинградскую область, как к региону, граничащему со странами Европейского союза.

С 2022 года экономическая позиция России относительно других стран кардинально изменилась и перестроилась [1]:

- внешнеэкономическая политика привела к оттоку капитала и уменьшению количества иностранных инвесторов;
- изменилась структура логистики в части взаимодействия со странами Азии и Африки;
- рост расходов на военно-промышленный комплекс, а также объекты социального обеспечения (с 2018 года рост на 8,2 млрд рублей);
- стабильно высокий уровень бедности населения (10 %) [2];
- увеличение платежеспособности населения, соотносящейся с повышением уровня доходов (рост на 8,5 % в 2023 году).

Однако в кризисный период 2020–2022 экономика Всеволожского муниципального района показала стабильный и высокий прогноз для перспективного роста экономики. В 2019–2023 годах район [3] показал по уровню областных темпов стабильное развитие основных отраслей экономики.

Целью данного исследования является выявление планировочных факторов и принципов пространственного развития территории Колтушского городского поселения.

Объект исследования – территория Колтушского городского поселения Всеволожского района Ленинградской области.

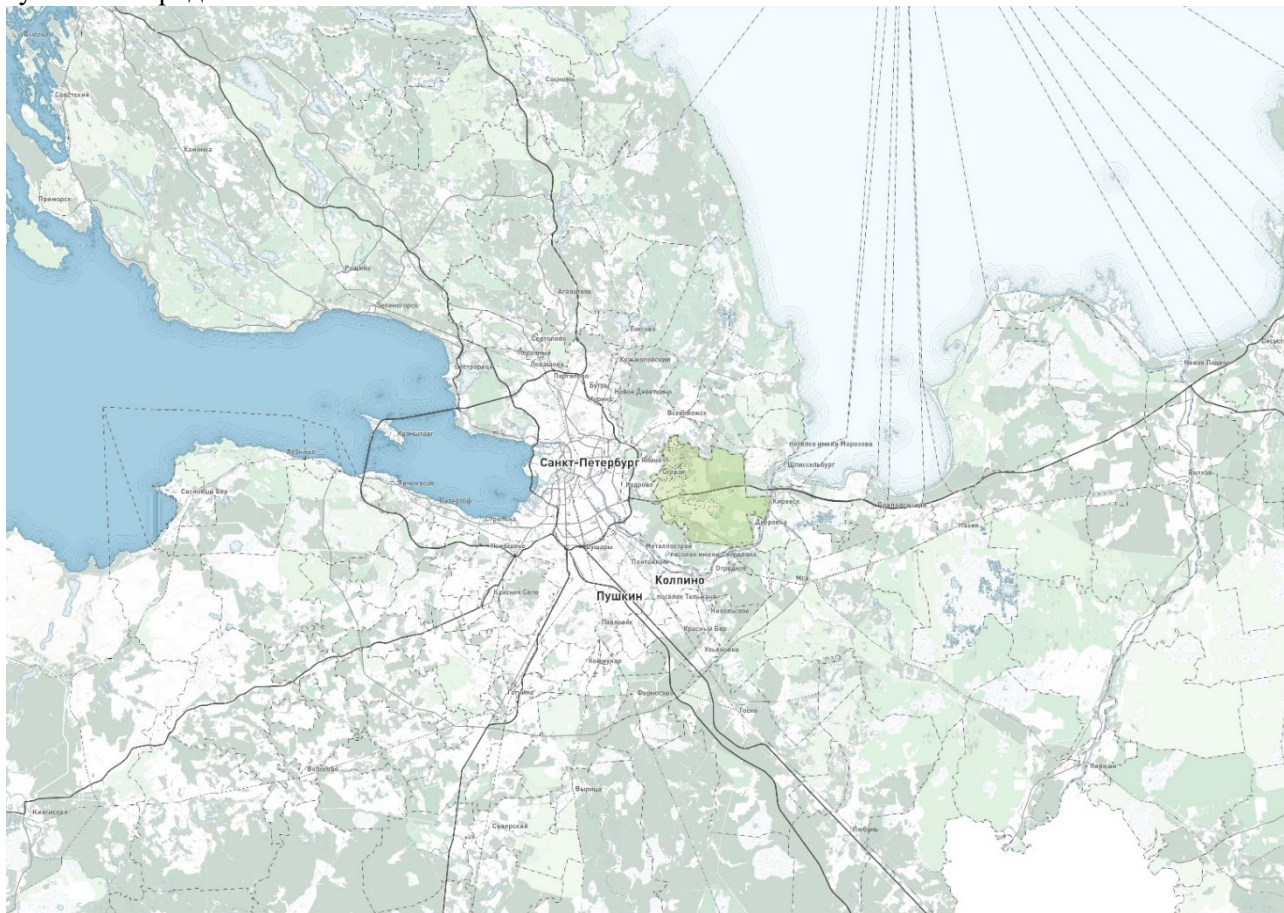


Рис. 1 Ситуационная схема г. Колтуши в системе расселения. Сост. Лутченко С.И., А.С. Тимченко

Методология. В основе сегодняшнего развития Северо-западного региона Российской Федерации – Ленинградской области автор статьи считает, лежит жесткий экономический протекционизм, с применением кластерного подхода [4–7] и практико-ориентируемой составляющей через распространение платформенных бизнес-моделей [8] для стимулирование внутреннего спроса. Как следствие указанных инструментов и подходов – ускоренная технологизация всех сфер и процессов экономики (роботизация, биотехнологии, искусственный интеллект, цифровизация, беспилотные технологии и т.д.).

В исследовательской работе рассматриваются принципы пространственного развития и полицентричности [9], комплексные решения к социально-экономическому развитию территорий. Автор статьи предлагает градорегулирующий принцип – принцип пространственного управления и направления градостроительной политики региона и отдельно взятого муниципального образования на примере опорного центра расселения – города Колтуши (рис. 2).

Основное исследование. Ближайшее 10–15 лет по мнению автора статьи будут отмечены отрицательными показателями роста населения и увеличением числа жителей пенсионного возраста. [1]. Вследствие этих причин, возрастёт активность трудовых миграционных процессов и конкуренция за качественные рабочие места.

Из-за дефицитов людских ресурсов начнут развиваться процессы автоматизации на рабочих местах, цифровая среда. Могут стать более лояльными требования к рабочему графику: удалённые форматы работы, краткосрочная занятость. Изменится формат образовательных услуг: образование станет больше ориентировано на запросы работодателя, с привлечением преподавательского состава из производственных сегментов.

Увеличение численности городского населения в Российской Федерации приводит к распространению территорий мегаполисов, смещению и расширению границ населённых пунктов, изменению структуры занятости в пользу непродовольственных отраслей экономики. Вышеперечисленные процессы являются предпосылками к

преобразованию сельских поселений в городские, как это в настоящее время произошло в Колтушах (населенный пункт преобразован в 2023 году из деревни в город). Это приведет к развитию внутригородской мобильности, потребности в повышенных инвестициях в инфраструктуру, потребностям в комплексном подходе при освоении территории.

Комплексный анализ социально-экономического развития Ленинградской области с опорой на национальные цели и приоритеты [10], позволяют выделить ключевые направления развития Колтушского городского поселения на ближайшую перспективу:

- сокращение естественной убыли населения в границах зоны влияния Санкт-Петербургской агломерации;
- увеличение плотности улично-дорожной сети с улучшением качества дорожных покрытий, увеличение доли обслуживания общегородским и внеуличным транспортом, что приведёт к сокращению среднего времени в пути;
- улучшение качества городской среды на территории всего поселения;
- увеличение туристского потока на территорию «Колтушской возвышенности» и в сам г. Колтуши (рис. 3).

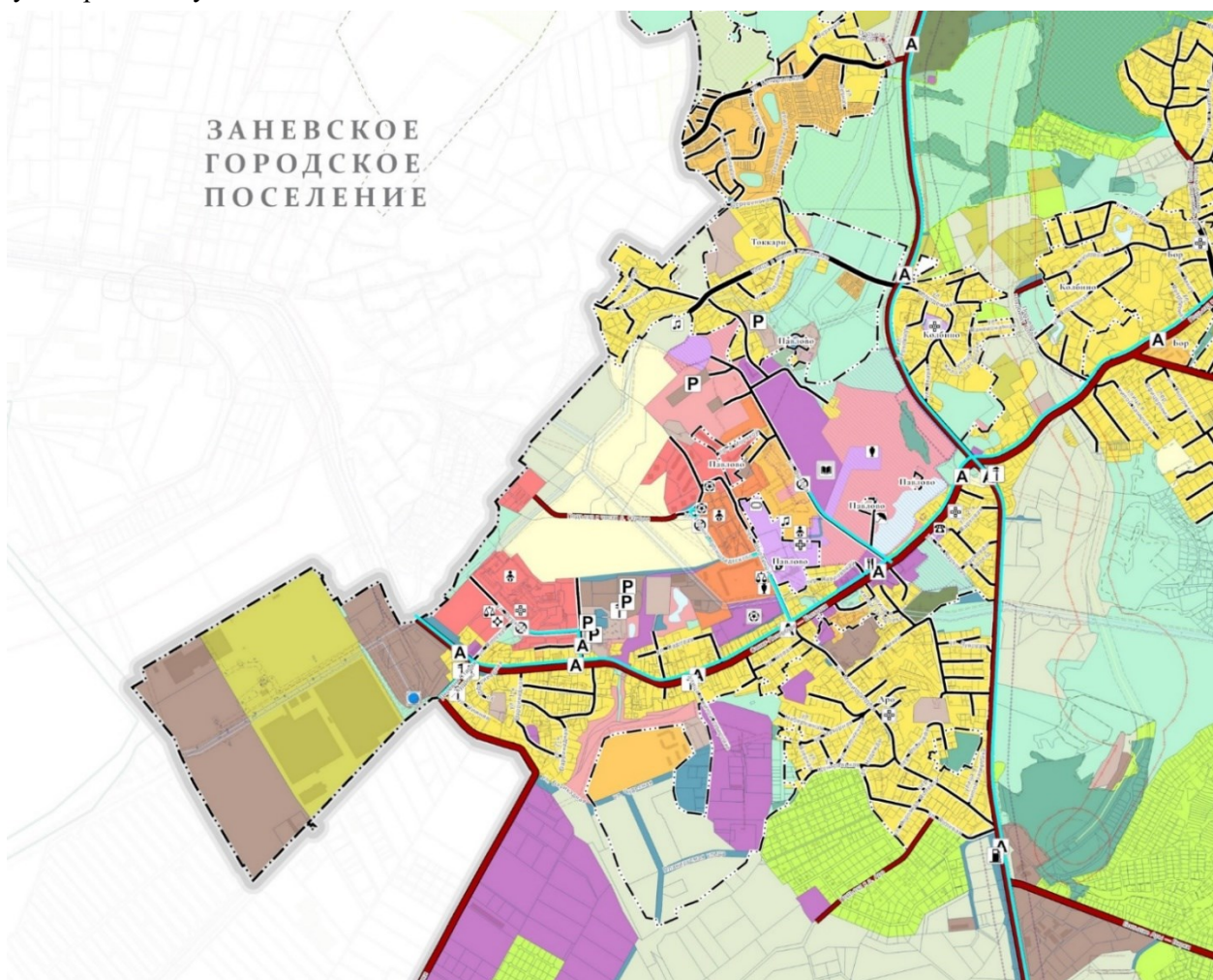


Рис. 2 Фрагмент современного состояния г. Колтуши. Сост. Лутченко С.И., А.С. Тимченко

К ключевым планировочным факторам пространственного развития Колтушского городского поселения можно отнести:

- возникновение нового полноценного «города» Ленинградской области с интенсификацией жилищного строительства и, однако без полного преобразования типа дисперсного расселения;
- реформа до 2029 года по реорганизации сельских и городских поселений в муниципальные округа [11];

- развитие и реализация масштабных инфраструктурных проектов на территории поселения;
- актуализация подходов к пространственному развитию, в частности усиление акцента на экономическую самодостаточность муниципальных образований, формирование сети опорных центров расселения [12, 13], ускоренное инфраструктурное развитие (рис. 4).

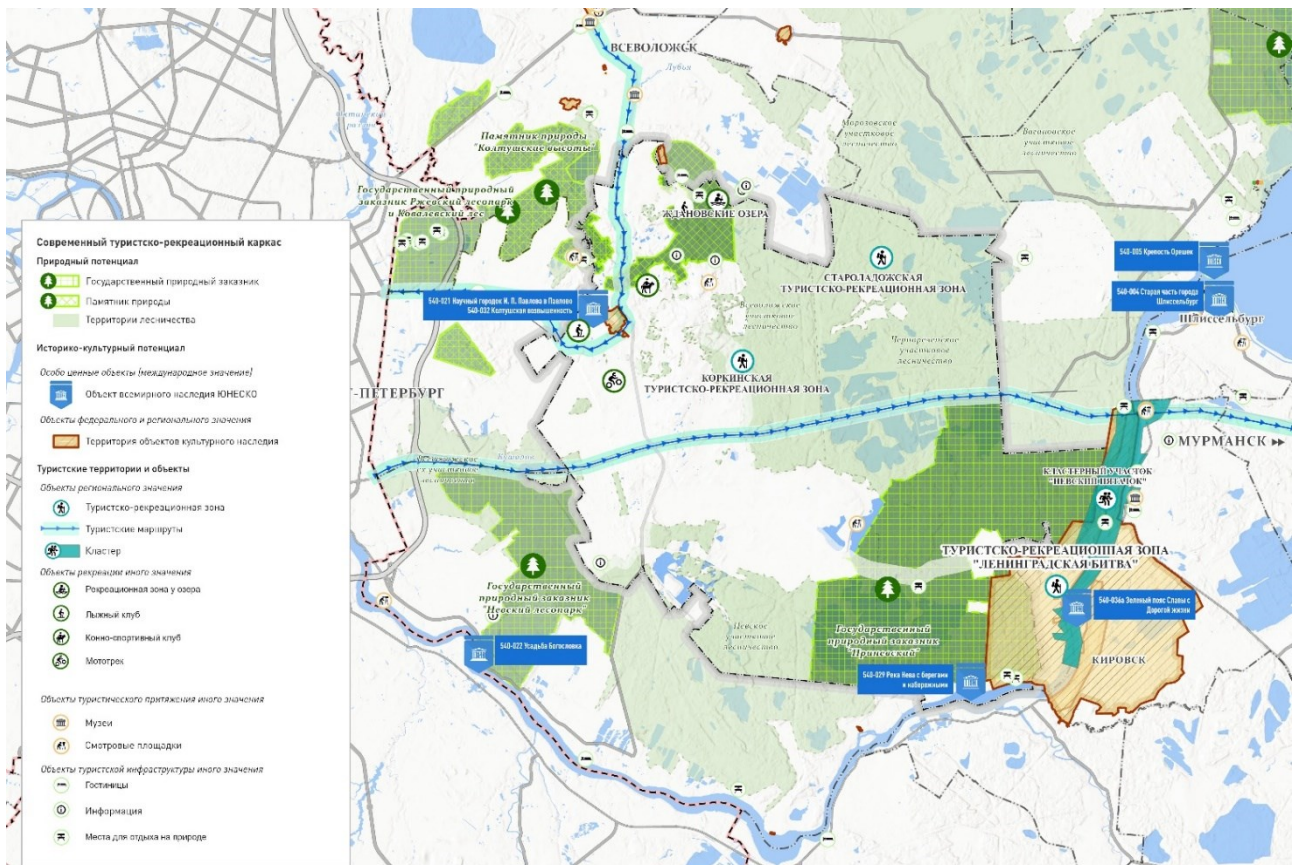


Рис. 3. Схема современного туристско-рекреационного каркаса «Колтушской возвышенности».

Сост. Лутченко С.И., А.С. Тимченко

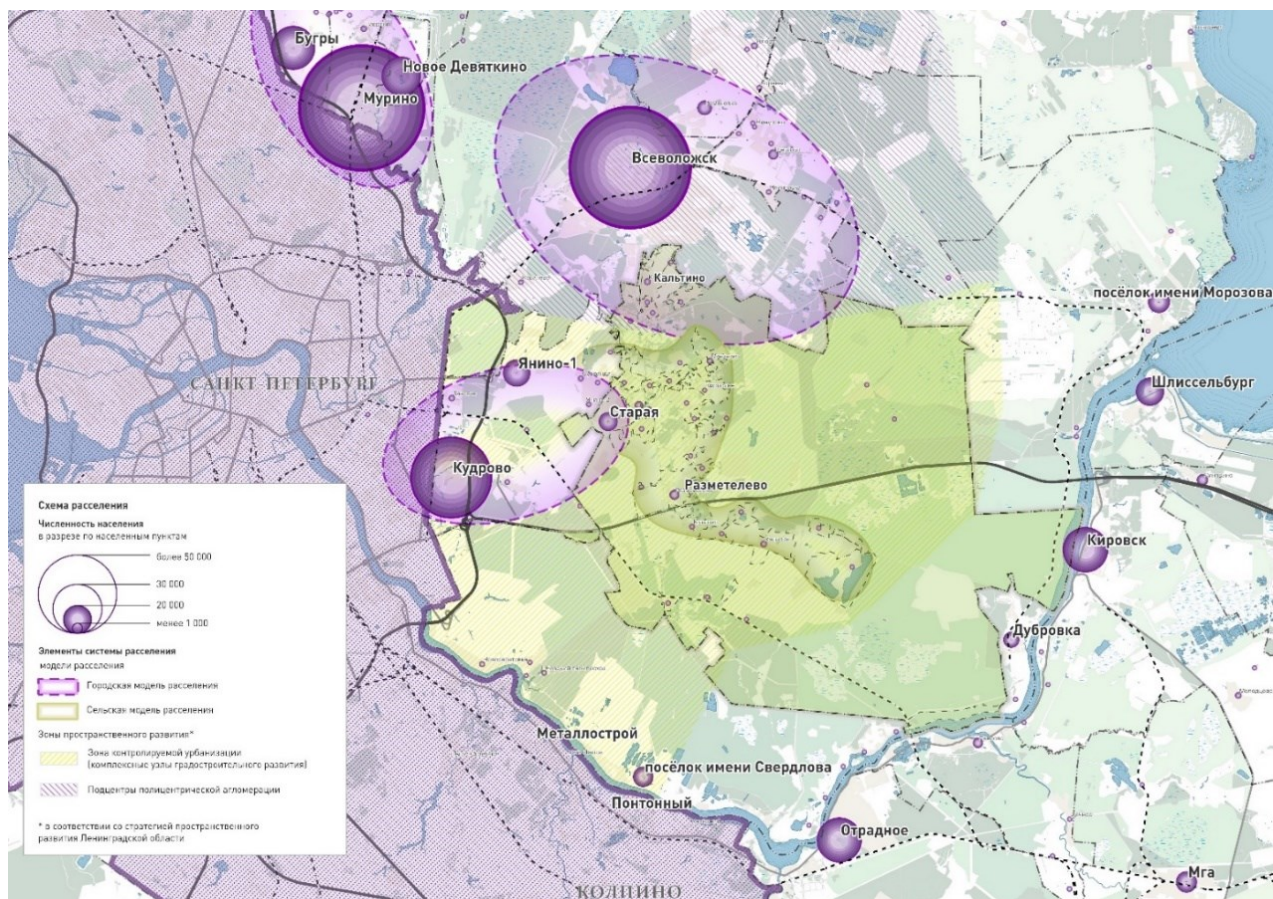


Рис. 4. Карта опорных центров расселения Всеволожского района.

Сост. Лутченко С.И., А.С. Тимченко

Опорные центры расселения могут классифицироваться с учетом региональных критериев и особенностей [12,13,14], а также оставаться в логике пространственного каркаса расселения Ленинградской области.

Опорный центр расселения – город Колтуши. Одним из крупных опорных центров в Ленинградской области является город Колтуши с современной системой расселения [15], включающей в себя 32 сельских населенных пункта Колтушского городского поселения. В поселении сложилась групповая система расселения, характеризующаяся сближенным расположением населенных пунктов. Как правило при такой форме расселения мелкие и средние города по своим экологическим, административным и культурным связям тяготеют к одному более крупному опорному центру расселения – центру экономического развития.

Анализ процесса распределения населения по населенным пунктам с разной численностью населения указывает на основную тенденцию трансформации системы сельского расселения – развитие процессов поляризации системы сельского расселения и концентрации сельского населения в более крупных населенных пунктах. Таким центром в групповой системе расселения «Старая-Колтуши-Павлово» является административный центр город Колтуши, выполняющий организационно-хозяйственные и социальные функции по обслуживанию всей территории расселения.

Выбор территорий для того или иного вида использования должен осуществляется на основе комплексных решений, направленных на социально-экономическое развитие поселения. Так, наиболее благоприятные с точки зрения доступности рекреационных ресурсов и удаленности от источников негативного воздействия территории – могут быть предусмотрены для размещения новой жилой застройки, тогда как территории, наиболее близкие к вылетным магистралям (чтобы уменьшить взаимодействие грузовых и пассажирских потоков) резервируются для размещения легкой промышленности.

Ограничение антропогенного воздействия предусматривается в документе территориального планирования, в генеральном плане Колтушского городского поселения предусмотрено постепенное снижение интенсивности использования территории по мере приближения к природным территориям, в первую очередь особо охраняемым. Реализация туристско-рекреационного и историко-культурного потенциала Колтушского городского поселения предусматривает создание инфраструктуры для привлечения

туристических потоков в первую очередь из Санкт-Петербурга.

Учитывая сложившуюся систему расселения Колтушского городского поселения, в градостроительных документах предложено сохранение структуры жилого фонда с преобладанием индивидуальной жилой застройки. В отдельных случаях предложено увеличение интенсивности использования территории путем внедрения отдельных участков блокированных домов. Обслуживание населения планируется осуществлять путем совмещения существующей социальной инфраструктуры в деревне Разметелево севернее Мурманского шоссе с вновь создаваемой инфраструктурой южнее трассы Кола.

Характер сложившейся застройки и перспективы развития территории требуют выработки принципиально новых подходов к её пространственной организации. Реализация экономического потенциала поселения предусматривает создание производственно-логистического кластера вблизи развязки Мурманского и Колтушского (Мягловского) шоссе, интегрированного с жилой застройкой. Необходимо задуматься о более креативных способах интеграции жилья и рабочих пространств для поддержки местного и регионального экономического роста. В некоторых случаях совмещение легких промышленных пространств с жильем может быть хорошим способом предоставить больше жилья, создать и защитить рабочие места, а также сохранить промышленную активность и инновации в поселении.

Предложенная в проекте генерального плана Колтушского городского поселения концепция развития производственно-жилой территории «Разметелево» предусматривает формирование отдельного планировочного района, в котором жилая застройка соседствует с легкой промышленностью и сельскохозяйственным производством. При этом территории с интенсивным использованием разделены разреженной застройкой, что снижает нагрузку на внутрирайонные распределительные транспортные связи и позволяет купировать факторы негативного воздействия производственных территорий.

Основные направления промышленного развития предусмотрены на территориях, расположенных южнее деревни Красная Горка, севернее деревни Рыжики и в юго-западной части Колтушского городского поселения в районе города Колтуши, деревни Манушкино и посёлка железнодорожной станции Шестнадцатый километр. Планируемые к размещению производственные зоны будут использоваться для организации на их территориях предприятий логистического, ремонтно-складского и строительного назначения, предприятий легкой, деревообрабатывающей

промышленности и иной производственной направленности. Создание новых производственных зон является продолжением развития, сло-

жившегося на территории Колтушского городского поселения комплекса промышленных предприятий (рис. 5).

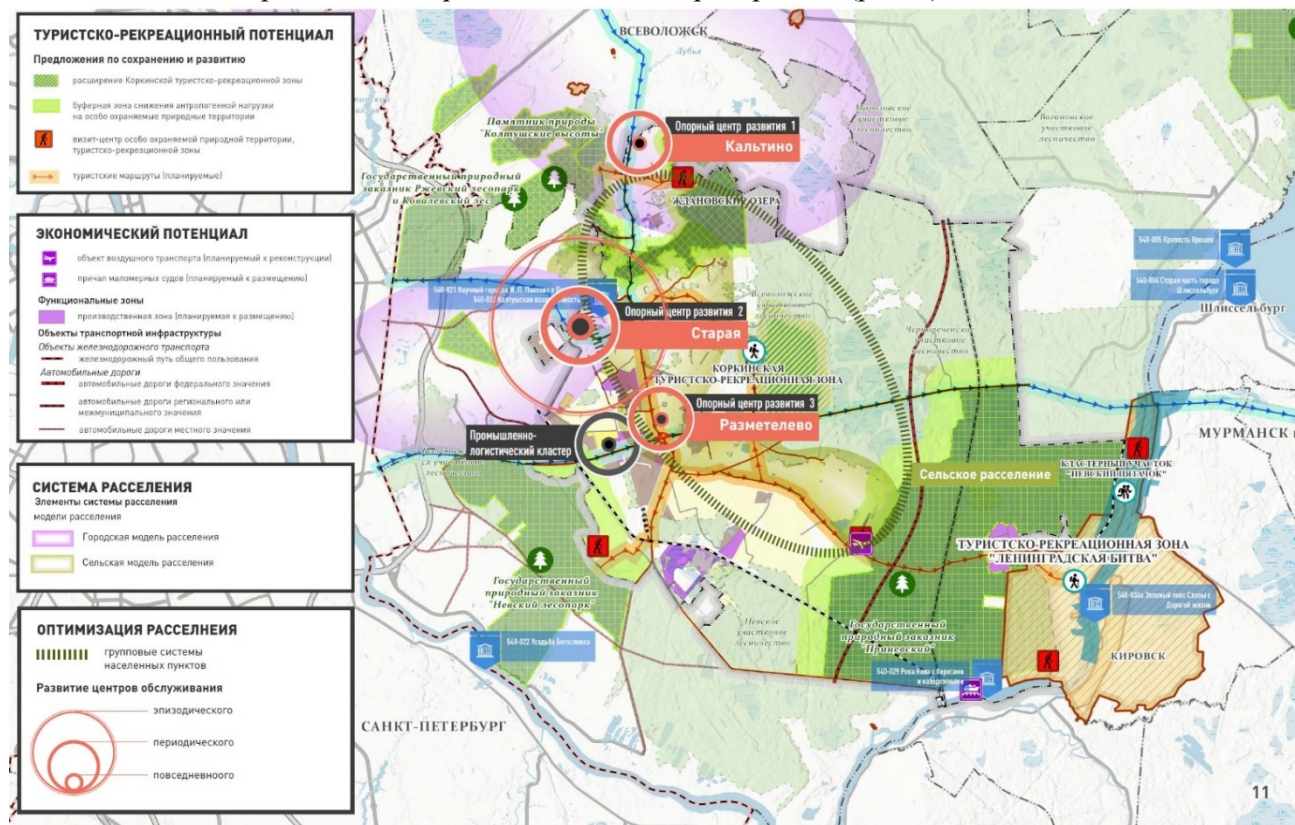


Рис. 5. Карта основных направлений развития опорного центра расселения – города Колтуши
Сост. Лутченко С.И., А.С. Тимченко

Автором статьи предлагаются использовать принципы полицентричности и комплексные градостроительные решения для градостроительного развития муниципальных образований и населенных пунктов Ленинградской области, граничащих с Санкт-Петербургом с возможной реализацией на примере поселений Всеволожского района:

- градостроительное развитие крупных деловых и общественных районов, введение многопрофильных функциональных зон (жилой, общественно-деловой и промышленной и т.д.), создание лесопаркового пояса Санкт-Петербурга, развитие ТПК и рельсового транспорта;
- разработка комплексных проектов развития на территории, находящиеся на стыке поселений. Обсуждение с представителями администрации Санкт-Петербурга единых подходов к регулированию урбанизации: регулирование транспортных потоков, размещение точек роста, вопросы обеспеченности инженерной, транспортной и социальной инфраструктурами, формирование планировочного каркаса.
- усиление динамики развития социальной инфраструктуры с учетом изменяющейся потребностей населения;

- выделение специальных трансграничных территорий с особыми условиями по размещению объектов обслуживания;
- завершение преобразования сельского поселения в городское, с ориентацией на новые вводные по объектам нормирования (повышение требований к качеству среды, изменение показателей обеспеченности, альтернативные подходы в части субсидий и дотаций).

С учетом изложенного автор статьи выделяет следующие ключевые принципы пространственного развития Ленинградской области:

- 1) принцип полицентричности – формирование пространственного каркаса региона на базе опорных центров расселения (центров экономического развития);
- 2) принцип комплексных решений, направленных на социально-экономическое развитие территории – уравнивание уровня качества жизни внутри района;
- 3) принцип управления и направления градостроительной политики – регулирование градостроительной политики через нормотворческую и пространственно-градостроительную деятельность.

В рамках принципа управления и направления градостроительной политики в Колтушском городском поселении необходимо:

- изменение функциональной роли центров роста внутри поселения (развитие технопарков, объектов обслуживания, образовательных центров и инновационных производств);
- целенаправленное формирование устойчивого рынка трудовых ресурсов в направлениях, соответствующих современной политике развития Российской Федерации: развитие производственного сектора, среднего и малого бизнесов;
- усиление особого внимания к благоустройству территории, размещению современных культурно-досуговых и бытовых объектов, развитие культурного разнообразия, конкурентноспособного центральному ядру агломерации;
- формирование спектра разнообразных предложений на рынке жилья;
- развитие транспортного каркаса в сторону центра агломерации, в том числе развитие внеуличного транспорта;
- проработка хордовых связей между радиальными сегментами дорог и городом Колтуши.

Выводы. В данном исследовании выявлены пространственные факторы, которые влияют на продолжение урбанизационного развития в границах Санкт-Петербургской агломерации, формирование муниципальных округов из городских, сельских поселений и муниципальных районов, на реализацию крупных инфраструктурных проектов и на усиление акцента на экономическую самодостаточность муниципальных образований.

Сформулированы принципы пространственного развития Ленинградской области: принцип полицентричности, принцип комплексных решений и принцип управления и направления градостроительной политики.

Рассмотрен крупный опорный центр расселения - город Колтуши, который является центром экономического развития Колтушского городского поселения, выполняющий организационно-хозяйственные и социальные функции по обслуживанию всей территории расселения.

Для опорных центров расселения Ленинградской области предложены рекомендации в части управления и направления градостроительной политики:

- развитие отраслевых направлений существующих специализаций и диверсификации стагнирующих;
- в соответствии с перспективными направлениями специализации привлечение резидентов в индустриальные зоны;
- развитие различной инфраструктуры в поселениях по направлениям специализации;

- продолжение формирования комфортной городской среды в поселениях Ленинградской области;

- развитие транспортных связей между опорными центрами расселения Санкт-Петербургской агломерации;

- приоритет разработки, утверждения и реализации мастер-планов и планов комплексного социально-экономического развития городов.

Основными ожидаемыми результатами в опорном центре расселения г. Колтуши при реализации принципа управления и направления градостроительной политики являются:

- развитие коммунальной, транспортной и социальной инфраструктуры;
- удержание позиции по разным направлениям социально-экономического развития;
- развитие туристской дестинаций;
- внедрение инновационных технологий в существующий промышленный сектор;
- формирование привлекательности населенных пунктов через инвестиции.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ленинградский областной закон «О Стратегии социально-экономического развития Ленинградской области до 2030 года» URL: <https://docs.cntd.ru/document/456011417> (дата обращения: 24.09.2024).
2. Статистика уровня бедности населения по регионам. Росстат. URL: <https://rosstat.gov.ru/folder/13723> (дата обращения: 24.09.2024).
3. Схема территориального планирования Всеволожского муниципального района Ленинградской области. URL: <https://www.vsevreg.ru/about/grad/docplan/skhema-raiona/> (дата обращения: 24.09.2024).
4. Vovenda A.V. Cluster modeling as the instrument of effective strategic city development // Международные отношения и диалог культур. 2021. № 9. С. 157–165.
5. Алексеев-Апраксин А.М., Богданова Р.Ю. Кластерный подход в отечественной урбанистике // Обсерватория культуры. № 4. Том 5. 2018. С. 413–421.
6. Тарасова Ю.И., Киншт А.В. Территориальный кластер в градостроительном планировании России // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2019. №4. С. 1–13. DOI:10.31675/1607-1859-2019-21-4-22-34.
7. Монастырный Е.А. Инновационный кластер // Инновации. 2006. №2 (89). С. 38–42.

8. Демидова Е.В., Колясников В.А., Титова Н.Н. Бизнес-модель маркетинговой градостроительной стратегии // Академический вестник УралНИИпроект РААСН. 2012. № 2 С. 21–28.

9. Поморов С.Б., Жуковский Р.С. Анализ современных представлений о полицентрической структуре города // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2016. №1. С. 67–70.

10. Кривов А.С. Градостроительство в стратегиях социально-экономического развития. URL: <https://urtmag.ru/public/442/> (дата обращения: 24.09.2024).

11. Джораева С.В., Двинских А.Ю. К вопросу о преобразовании в муниципальные округа // Аграрное и земельное право. 2020. № 2. С. 6–9.

12. Турин П.П. Роль опорных центров в сельском расселении региона. Материалы научно-практической конференции «Комплексное изучение экосистем горных территорий»

Сборник материалов VI Кавказского Международного экологического форума. Грозный, 2023.

13. Скрипник Е.О. Формирование региональных опорных центров расселения: влияние миграции (на примере Хабаровского края). Диссертация на соискание ученой степени кандидата экономических наук. 2011. С. 1–149.

14. Перькова М.В. Градостроительное развитие региональной системы расселения и ее элементов (на примере Белгородской области): автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора архитектуры специальность: 05.23.22 Градостроительство, планировка сельских населенных пунктов. Санкт-Петербург, 2019. 40 с.

15. Колтушское городское поселение: официальный сайт. Историческая справка. 2024. URL: <https://www.vsevre.ru/city/municipality/760/> (дата обращения: 08.08.2024).

Информация об авторе

Лутченко Сергей Иванович, главный архитектор Ленинградской области, кандидат архитектуры, советник РААСН, профессор МААМ, доцент кафедры Градостроительства. E-mail: serg.lutchenko@yandex.ru. Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет. Россия, 190005, г. Санкт-Петербург, 2-я Красноармейская ул., д. 4.

Поступила 02.09.2024 г.

© Лутченко С.И., 2025

Lutchenco S.I.

Saint-Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering

E-mail: serg.lutchenko@yandex.ru

THE MAIN SETTLEMENT CENTER IS THE CITY OF KOLTUSHI. PRINCIPLES AND FACTORS OF SPATIAL DEVELOPMENT

Abstract. The article examines the planning factors and principles of spatial development of the territory of the Koltush urban settlement as an example of a multifaceted territory with prerequisites in the socio-cultural, agglomeration and planning directions of urban development. The principle of management and direction of urban planning policy is proposed, tested on a large reference center of settlement – the city of Koltushi. Active industrial development centers have been identified in the area of the city of Koltushi, the village of Manushkino and the village of the Sixteenth Kilometer railway station. The key principles of the spatial development of the Leningrad region are also analyzed and proposals are made for the planning reorganization and development of the Koltush urban settlement, namely: it is necessary to form a regular commuter passenger service between large support centers, to connect the outbound main lines of federal and regional roads with semi-circular transport links, to develop railway communication between the central settlements of settlements of the Leningrad region and St. Petersburg, to form the socio-economic functions of residential areas through the creation of regional centers of settlement with modern employment of the population, to balance the flows of labor pendulum migration through regional technoparks of different distances from the central core of the agglomeration, to create a variety of jobs in the industry and innovation sector, to continue to form a comfortable urban environment for residents of rural and urban areas, to form sufficient and necessary provision of social, cultural and household facilities with optimal accessibility for the population, to prepare high-quality and diverse offers on the housing market.

Keywords: the city of Koltushi, the main center of settlement, principles, spatial development, polycentricity, urban planning policy.

REFERENCES

1. Leningrad Regional Law "On the Strategy of socio-economic development of the Leningrad region until 2030" [Leningradskij oblastnoj zakon «O Strategii social'no-ehkonomicheskogo razvitiya Leningradskoj oblasti do 2030 goda】 URL: <https://docs.cntd.ru/document/456011417> (date of access [data obrashcheniya]: 09/24/2024). (rus)
2. Statistics on the level of poverty of the population by region. Rosstat. [Statistika urovnya bednosti naseleniya po regionam.] Rosstat. URL: <https://rosstat.gov.ru/folder/13723> (date of application [data obrashcheniya]: 09/24/2024). (rus)
3. The scheme of territorial planning of the Vsevolozhsky municipal district of the Leningrad region. [Skhema territorial'nogo planirovaniya Vsevolozhskogo municipal'nogo rajona Leningradskoj oblasti.] URL: <https://www.vseereg.ru/about/grad/docplan/skhema-raiona/> (date of access [data obrashcheniya]: 09/24/2024). (rus)
4. Vovenda A.V. Cluster modeling as the instrument of effective strategic city development [Mezhdunarodnye otnosheniya i dialog kul'tur]. International relations and dialogue of cultures. No. 9 2021. Pp. 157–165. (rus)
5. Alekseev-Apraksin A.M., Bogdanova R.Y. Cluster approach in Russian urbanism [Klasternyj podkhod v otechestvennoj urbanistike]. Observatory of Culture. [Observatoriya kul'tury]. 2018. No. 4. Vol. 5. Pp. 413–421. (rus)
6. Tarasova Yu.I., Kinsht A.V. Territorial cluster in urban planning of Russia [Territorial'nyj klaster v gradostroitel'nom planirovanii Rossii]. Bulletin of the Tomsk State University of Architecture and Civil Engineering. [Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta]. 2019. No.4. Pp. 1–13. DOI: 10.31675/1607-1859-2019-21-4-22-34. (rus)
7. Monastyry E.A. Innovation cluster [Innovacionnyj klaster]. Innovations. [Innovacii]. 2006. No. 2 (89). Pp. 38–42. (rus)
8. Demidova E.V., Kolyasnikov V.A., Titova N.N. Business model of marketing urban planning strategy [Biznes-model' marketingovoj gradostroitel'noj strategii]. Academic Bulletin of UralNIIProekt RAASN. [Akademicheskij vestnik UralNIIProekt RAASN]. 2012. No. 2 Pp. 21–28. (rus)
9. Pomorov S.B., Zhukovsky R.S. Analysis of modern ideas about the polycentric structure of the city [Analiz sovremennykh predstavlenij o policentricheskoy strukture goroda]. Bulletin of the Tomsk State University of Architecture and Civil Engineering. [Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta.]. 2016. No.1. Pp. 67–70. (rus)
10. Krivov A.S. Urban planning in strategies of socio-economic development. [Gradostroitel'stvo v strategiyakh social'no-ehkonomicheskogo razvitiya] URL: <https://urtmag.ru/public/442/> (date of address [data obrashcheniya]: 09/24/2024) (rus)
11. Dzhoraeva S.V., Dvinskikh A.Yu. On the issue of transformation into municipal districts [K voprosu o preobrazovanii v municipal'nye okruga]. Agrarian and land law [Agrarnoe i zemel'noe pravo] 2020. No. 2. Pp. 6–9. (rus)
12. Turin P.P. The role of support centers in the rural settlement of the region. Materials of the scientific and practical conference "Integrated study of mountain ecosystems" Collection of materials of the VI Caucasian International Environmental Forum. Grozny, [Rol' opornykh centrov v sel'skom rasselenii regiona. Materialy nauchno-prakticheskoy konferencii «Kompleksnoe izuchenie ehkositsem gornykh territorij» Sbornik materialov VI Kavkazskogo Mezhdunarodnogo ehkologicheskogo foruma. Grozny], 2023. (rus)
13. Skripnik E.O. The formation of regional settlement support centers: the impact of migration (on the example of the Khabarovsk Territory). Dissertation for the degree of Candidate of Economic Sciences [Formirovanie regional'nykh opornykh centrov rasseleniya: vliyanie migracii (na primere Khabarovskogo kraja). Dissertaciya na soiskanie uchenoj stepeni kandidata ehkonomicheskikh nauk] 2011. Pp. 1–149. (rus)
14. Perkova M.V. Urban development of the regional settlement system and its elements (on the example of the Belgorod region): abstract of the dissertation for the degree of Doctor of Architecture specialty [Gradostroitel'noe razvitie regional'noj sistemy rasseleniya i ee ehlementov (na primere Belgorodskoj oblasti)]: avtoreferat dissertacii na soiskanie uchenoj stepeni doktora arkhitektury special'nost': 05.23.22 Urban planning, planning of rural settlements. St. Petersburg [Gradostroitel'stvo, planirovka sel'skikh naselennykh punktov. Sankt-Peterburg], 2019. 40 p. (rus)
15. Koltushskoye urban settlement: official website. Historical background [Koltushskoe gorodskoe poselenie: oficial'nyj saj. Istoricheskaya spravka]. 2024. URL: <https://www.vseereg.ru/city/municipality/760/> (accessed [data obrashcheniya] 08.08.2024). (rus)

Information about the author

Lutchenko, Sergey I. Chief Architect of the Leningrad Region, Candidate of Architecture, Advisor to the RAASN, Professor of МААМ, Associate Professor of the Department of Urban Planning. E-mail: serg.lutchenko@yandex.ru. St. Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering. Russia, 190005, St. Petersburg, 2nd Krasnoarmeyskaya str., 4.

Received 02.09.2025

Для цитирования:

Лутченко С.И. Опорный центр расселения – город Колтуши. Принципы и факторы пространственного развития // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2025. № 1. С. 10–19. DOI: 10.34031/2071-7318-2024-10-1-10-19

For citation:

Lutchenko S.I. The main settlement center is the city of Koltushi. Principles and factors of spatial development. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2025. No. 1. Pp. 10–19. DOI: 10.34031/2071-7318-2024-10-1-10-19

DOI: 10.34031/2071-7318-2024-10-1-20-29

Хмельва Е.В., Лутченко С.И.Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет
ГКУ «Градостроительное развитие территории Ленинградской области»***E-mail: khmeleva.ev@grtlo.ru*

ПРАКТИКА ГРАДОСТРОИТЕЛЬНОГО ЗОНИРОВАНИЯ ТЕРРИТОРИИ КОЛТУШСКОГО ПОСЕЛЕНИЯ С УЧЕТОМ МИРОВОГО ОПЫТА

Аннотация. В статье рассматривается организация системы пространственного планирования, систем зонирования с учетом мирового опыта Великобритании, Германии, Франции, Японии, Австралии и странах Скандинавии. Приведена дифференциация стран по принципам административного и юридического управления территориями, рассмотрены вопросы объединения и разделения функционального и градостроительного зонирования в рамках одного документа, последовательность и масштаб выполнения градостроительной документации, роль Единого документа территориального планирования и градостроительного зонирования в современной градостроительной практике и возможности его применения. Рассмотрены особенности реализации документов территориального планирования и градостроительного зонирования на примере Ленинградской области, в частности, при реализации Генерального плана и Правил землепользования и застройки Колтушского поселения как пример работы с Единым документом. На примере Колтушского городского поселения раскрываются типовые сложности разработки и утверждения градостроительной документации в Российской Федерации: невозможности установления территориальных зон в местах, где участки попадают в несколько функциональных зон, имеют пересечения с лесным фондом; непосредственное влияние землепользователей и строительных коалиций на принятие решений о зонировании. Предлагаются два полярных принципа зонирования территории при работе с Единым документом: полифункциональное зонирование территории с выделением приоритетных функций, которое позволит уточнить планируемую функцию территории на следующем уровне планирования; монофункциональное зонирование территории, которое позволит в автоматизированном режиме вносить изменения параллельно в оба типа зонирования.

Ключевые слова: градостроительная практика, Единый документ территориального планирования и градостроительного зонирования, генеральный план, правила землепользования и застройки, Колтушское поселение.

Введение. В Градостроительный кодекс в 2022 г. были внесены изменения, включающие возможность создания в правовом поле Единого документа территориального планирования и градостроительного зонирования (далее – Единый документ). Впоследствии состав и содержание такого документа были уточнены Постановлением Правительства РФ от 29 июня 2023 г. № 1076. Однако, до настоящего момента (2024 г.) крайне мало подготовленных на территории РФ проектов Единого документа. Основной причиной этого, по мнению авторов, является отсутствие механизмов оперативного внесения изменений в Генеральный план, а также механизмов автоматизированной работы в увязке функциональных зон Генерального плана с территориальными зонами Правил землепользования и застройки. В связи с этим встаёт вопрос необходимости укрупнения функциональных зон относительно градостроительных, которые в свою очередь могут и должны иметь более дисперсное и подробное зонирование по границам земельных участков и не противоречить контуру функциональных зон.

В данной статье рассматривается практика реализации Генерального плана и Правил землепользования и застройки на примере Колтушского поселения. Проиллюстрирована ситуация, типичная для многих муниципальных образований Российской Федерации: функциональное зонирование расходится с территориальным, стратегические мероприятия генерального плана не имеют дальнейшего воплощения в Правилах землепользования и застройки (ПЗЗ). Во избежание подобных ошибок в странах Европы и США [1] с начала 20 века вопрос зонирования был достаточно детально проработан, сформировались несколько подходов, которые в дальнейшем имели в той или иной мере своё отражение в Российской практике. Прочтение Единого документа через призму международного опыта даёт ответы на вопросы, волнующие проектировщиков-градостроителей по настоящее время. В своих исследованиях, обзор градостроительных подходов с применением систем зонирования приводили: Соня Хёрт [2], Ньюман и Торнби [3, 4], Надин и Стэд [5], Цвайгарт, Кётц и Вэйер [6], МакКензи, Платт, Каллингворт, Нивола и Делафонс [7–10].

Обзор опыта зонирования в США был представлен в статье «Утраченная функция в функциональном зонировании генеральных планов городов» [1]. Правовые вопросы трактовки Единого документа в своих исследованиях освещали также Митягин С.Д. и Майборода В.А. [11, 12], Калмыкова А.К., Херувимова И.А. [13], Рудяшко А.А. [14].

Цель исследования – формирование принципов зонирования территории при работе с Единым документом территориального планирования и градостроительного зонирования для достижения максимальной оперативности внесения изменений в градостроительную документацию.

Объектом исследования являются документы функционального и градостроительного зонирования территории.

Методология. В исследовании применялись методы исторического и сравнительного анализа и синтеза, графоаналитический метод анализа городской структуры.

Основная часть. В 1995 году был выпущен, а далее обновлён Сборник политики планирования стран Европейского союза [3], в котором подчёркивалось, что каждое государство-член ЕС имеет собственную правовую, нормативную базу и терминологию, принципиально отличную от другой. Таким образом, все страны мира по отношению к градостроительным подходам в зонировании могут быть разделены на несколько групп: пять европейских градостроительных семей (Англия, Франция, Германия, Швеция, Россия) [2, 4, 5] (рис. 1, 2), а также отдельно стоящие Япония, Австралия, США и Канада.



Рис. 1. Объединение и разделение стран Европы по юридическому и административному принципам, согласно классификации Ньюмана и Торнли [4].



Рис. 2. Деление стран мира на «семьи» по типам зонирования и градорегулирования, согласно классификации Ньюмана и Торнли [4].

В Германии [2, 4] этот путь идёт от общих и предварительных планов *Flächennutzungspläne* к детальным планам *Bebauungspläne*. Зонирование делится на смешанное, жилое и коммерческое. Так, в состав крупной жилой зоны могут входить более мелкие жилые, коммерческие, коммунальные и рекреационные элементы, однако процент жилой функции как правило должен превышать 60 %. Площадь крупных зон при этом может достигать 100 га. Как и во Франции, немецкие нормативные акты не предусматривают полного функционального разделения жилых и нежилых зон. Они не запрещают все виды деятельности в рамках определенной категории землепользования. Вместо этого они разрешают проводить мероприятия в нежилых помещениях, которые отвечают повседневным потребностям жителей, и ограничивают те, которые могут привлечь более широкую региональную аудиторию. Такой подход подчеркивает разнообразие и многофункциональность жилых районов Германии.

Англия была первой страной в мире, которая остро столкнулась с индустриализацией в самом ярком её проявлении и её последствиями: перегруженностью дорог, экологическими проблемами соседства промышленности и жилья. Основные законы, связанные с ограничениями посредством градорегулирования, появляются в 20 веке (слишком высокая плотность застройки, большое количество вредных производств), хотя их корни можно обнаружить уже в 19 в. В этот период задачей правительства становится сдерживание потоков населения с низким доходом в элитные жилые районы [7,8]. В 1909 году в силу вступает Закон о городском жилищном планировании, который внедряет в систему районирования и зонирование территории по функции. Буквально через несколько десятков лет эта структура распространяется по всей Европе, и Англия становится типичной страной в общей картине. Ситуация меняется в 1947 году, когда принимается новый Закон о городском и деревенском планировании. Он принципиально меняет отношение властей в части развития территории к частной собственности. Если гражданин обладает землёй, то он не может безгранично ей распоряжаться в отношении перспективной функции, он должен уважать интересы соседей и общества. И с того момента решения по зонированию в Англии становятся «прицельными», индивидуальными, с ориентацией на Генеральный план, однако, с учетом общественных интересов. С момента 1947 года эта система остаётся стабильной и неизменной по сегодняшний день. Закон специально не учитывает компенсационные

выплаты владельцам участков в случае изъятия, подчеркивая важность общей градостроительной политики. В Англии отсутствует набор четких правил по зонированию, а решения принимаются в результате дебатов, переговоров между землепользователями, властями и общественными представителями [9]. Такой поиск компромисса позволяет разрешить имеющиеся и исключить потенциально возможные градостроительные конфликты [15].

В Швеции, как и в Германии, масштабное городское планирование начинается с конца 19 века после активной индустриализации 1800-х годов [16]. С 1960-х годов правительство разрабатывает национальные планы землепользования, в которых определены районы для городского развития, сельского хозяйства, основных отраслей промышленности и отдыха. Однако эти планы носят рекомендательный характер, а не жесткие предписания. Обязательные законом к выполнению являются более подробные планы с эскизами застройки. Отличительной чертой скандинавских систем планирования (в Швеции, Дании, Норвегии и Финляндии) является усиленная система муниципального управления территориями, так как населённые пункты находятся на значительном удалении друг от друга. Также в Швеции значительно выше доля муниципальных земель относительно других стран, что также способствует «плановой монополии» – концепции местного регионального планирования [17].

В Японии основополагающим градостроительным подходом планирования землепользования, который отражает европейские системы, является регулирование видов деятельности, разрешенных в определенных зонах, и их конкретное местоположение [18]. Это достигается с помощью ряда требований, касающихся формы, размера и плотности застройки, а не путем полного запрета определенных видов деятельности в пределах определенных границ. Традиция гибкого планирования землепользования продолжается и сегодня, когда действующее национальное японское законодательство определяет несколько различных типов районов для жилья: уникальные малоэтажные жилые территории двух категорий комфортности, уникальные жилые районы домов средней и повышенной этажности, смешанные жилые территории повышенной и средней и этажности, а также районы высотного типа.

В Австралии в каждой зоне землепользования присутствует разветвленная иерархическая структура, которая классифицирует разрешенные виды использования на предпочтительные, дополнительные, предполагаемые, запрещенные или неуместные [2]. Планы землепользования со-

держат краткий обзор ожидаемого или «прогнозируемого» характера землепользования в городских районах. Например, жилые районы описываются как ориентированные на постоянное присутствие жилой функции различных типов, потенциально включающее предприятия на дому. Как жилая функция, так и надомная коммерческая деятельность классифицируются как «предпочтительные». Ограниченный спектр других видов использования также может считаться «подходящим», включая специализированное жилье, места отдыха, местные магазины, общественные и культурные центры, школы и медицинские учреждения. Дома престарелых, отнесенные ко 2-й категории использования по состоянию здоровья, попадают под категорию «использование по назначению». В большинстве европейских стран к системам зонирования и территориального планирования также применяется подход от общего к частному.

Таким образом, во многих странах мы имеем сначала общее видение градостроительного зонирования территории, а далее детальную конкретизацию по каждому локальному участку.

Российская практика. Применительно к нашим российским документам был выбран путь от Генерального плана к Правилам землепользования и застройки. Детализация может осуществляться через мастер-планы, концепции пространственного развития, проекты планировки территории. В настоящий момент в российской практике существуют единицы утверждённых Единых документов. Один из них - Единый документ Ханты-Мансийского автономного округа – Югра. Документ внешне не отличается от отдельно взятых карт Генерального плана (функционального зонирования) и Правил землепользования и застройки (градостроительное зонирование). Оперативного цифрового взаимодействия по-прежнему между указанными градостроительными документами не происходит. Таким образом, можно сделать вывод, что возложенная задача на Единый документ в России, остаётся пока не решена, а именно оптимизация планировочных решений через объединённый документ в настоящее время не сократила время для принятия решений по развитию территории.

Для примера рассмотрим Генеральный план Колтушского сельского поселения Всеволожского района Ленинградской области [19], который в описательной части декларирует идеи эволюционного, преемственного градостроительного развития по отношению к сложившейся застройке города (рис. 3). Документом территориального планирования предусматривается формирование сомасштабной человеку, комфортной

и экологически безопасной городской среды, использование выразительных архитектурно-планировочных приемов, сохранение и развитие природного и культурного своеобразия поселения.

Генеральный план предлагает выделение подцентров групповых систем расселения городского типа – зон многофункциональной общественно-деловой и жилой застройки, для реализации административных, обслуживающих и жилых функций. Приоритетными градостроительными мероприятиями по развитию таких центров являются:

- формирование благоустроенной обслуживающей рекреационной зоны у основных объектов притяжения;
- строительство всех видов обслуживающих объектов;
- реконструкция существующих зелёных насаждений - скверов, бульваров, организация новых парковых и рекреационных зон;
- реставрация объектов культурного наследия и воссоздание утраченных памятников;
- организация пешеходных зон;
- организация современных автостоянок.

Генеральным планом также запланированы мероприятия по развитию системы озеленения и сохранению природного каркаса поселения, которые призваны способствовать снижению антропогенной нагрузки на особо охраняемые природные территории, повышению культуры туризма благодаря созданию благоустроенных рекреационных зон, информационных визит-центров при ООПТ. При этом действующий генеральный план Колтушского сельского поселения включает отдельные жилые зоны с преобладанием среднеэтажной, малоэтажной и застройки индивидуальными жилыми домами, общественно-деловые, рекреационные, производственные и другие зоны, которые разбивают территорию на мелкие неструктурированные контуры, призванные больше решать вопросы частной собственности, а не вопросы комплексного развития всего поселения. На карте функциональных зон поселения отсутствуют сведения о видах, назначении и наименованиях планируемых для размещения объектов местного значения, их основные характеристики, их местоположение, а также характеристики зон с особыми условиями использования территорий. Параметры функциональных зон имеются на карте в единичных случаях, в отдельной взятой функциональной зоне и имеют ограниченные по количеству и качеству значения: по этажности, плотности населения, коэффициенту застройки территории. Также включены ссылки на рекомендательные нормативы и законы Российской Федерации,

что в целом противоречит Градостроительному кодексу и дублирует нормы действующих законов на территории России. Рассматривая отдельный градостроительный документ Правила землепользования и застройки Колтушского сельского поселения [20], который должен соответствовать функциональному зонированию, установленному в генеральном плане поселения, можно сделать вывод о противоречии утвержденных документов (рис. 4). Параметры функциональных зон не соответствуют параметрам, установленным в правилах землепользования и застройки поселения, а границы территориальных зон в большей части транслируют границы земельных участков, установленных в едином

государственном реестре недвижимости. На части территории, где было установлено функциональное зонирование, регламент правил землепользования и застройки не был установлен, из чего следует, что генеральный план требует переработки и синхронизации с градостроительным зонированием в виде Единого документа.

Таким образом, в формате Единого документа зонирование Генерального плана (рассматриваемого как общий документ) должно стать настолько крупным и обобщенным, чтобы не требовалось постоянных внесений изменений. При этом раздел с градостроительным зонированием должен остаться гибким и видоизменяемым. Решение вопроса, по мнению авторов, может основываться на двух полярных принципах.

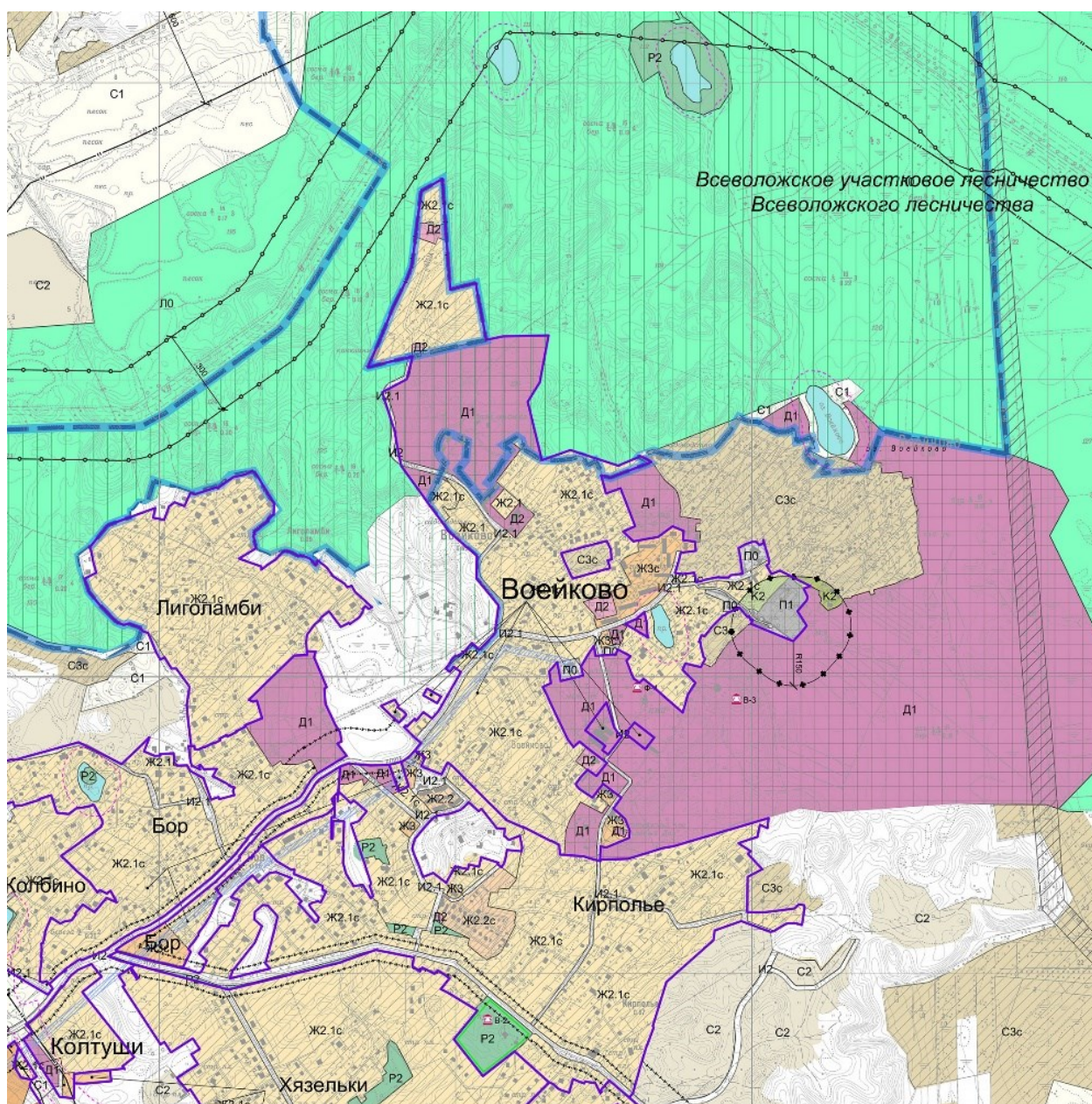


Рис. 3. Фрагмент генерального плана Колтушского сельского поселения [19]



Рис. 4. Фрагмент правил землепользования и застройки Колтушского сельского поселения [20]

Первый принцип – полифункциональное зонирование территории с выделением приоритетных функций. Так, например, если на территории находятся участки жилого, общественного, рекреационного и коммунального назначения, то возможно установление именно такого наименования функциональной зоны: жилая-общественная-рекреационно-коммунальная, при этом ограничения по развитию находятся внутри параметра территориальной зоны. Значимость каждой функции при этом должно определяться через максимальный суммарный показатель предельного фонда застройки. Полифункциональное зонирование территории подразумевает необходимость подготовки проектов планировки больших территорий за счет бюджета с целью проработки уточненных параметров зонирования территории. Такое решение иллюстрируется подготавливаемым на данный момент Единым документом федеральной территории «Сириус» [21]. В этом документе границы функциональных зон

приближены к границам планировочных районов, зоны являются многофункциональными и укрупненными. Территориальные зоны устанавливаются строго по границам земельных участков и по масштабу в несколько раз меньше функциональных зон.

Второй принцип – назначение зон строго таргетированное. Обращаясь к рассматриваемой территории Колтушского поселения в качестве примера, следует, что функциональная зона будет жилая, однако функции могут разделяться на предпочтительные, дополнительные и запрещенные, что в дальнейшем перейдет в регламент маленьких по площади территориальных зон в Правилах землепользования и застройки. Таргетированный вариант функционального зонирования при этом выглядит как инструмент для принятия решений органами местного самоуправления и является наиболее понятным и объяснимым для всех участников градостроительной деятельности.

Выводы. В исследовании освещены подходы в мировой практике к функциональному и градостроительному зонированию территории, которые раскрывают необходимость последовательного перехода от крупных схем районов к детальным планировкам с отображением застройки. Промежуточные уровни, как правило, носят рекомендательный характер, чтобы сохранить маневренность и возможности «прицельного» планирования.

Рассмотрен вопрос формирования Единого документа. Выявлено, что на настоящий момент нет устоявшегося понимания сценария внесения изменений в Единый документ и решения сложностей, рождаемых противоречиями в границах и параметрах/регламентах функциональных/территориальных зон.

На примере Колтушского городского поселения раскрываются типовые сложности разработки и утверждения градостроительной документации в Российской Федерации: невозможности установления территориальных зон в местах, где участки попадают в несколько функциональных зон, имеют пересечения с лесным фондом (Генеральный план создавался без прямого взаимодействия со сведениями Росреестра); непосредственное влияние землепользователей и строительных коалиций на принятие решений о зонировании. Выявлено, что параметры функциональных зон не соответствуют параметрам, установленным в правилах землепользования и застройки поселения, а границы территориальных зон в большей части транслируют границы земельных участков, установленных в едином государственном реестре недвижимости. На части территории, где было установлено функциональное зонирование, регламент правил землепользования и застройки в Колтушах не был установлен, из чего следует, что генеральный план требует переработки и синхронизации с градостроительным зонированием в виде Единого документа.

Предлагаются два полярных принципа зонирования территории при работе с Единым документом:

- полифункциональное зонирование с уточнением функции на следующем уровне планирования;

- назначение монофункционального зонирования с более широким взглядом на разрешенное использование внутри функции (приоритетное, запрещенное, допустимое использование), что позволит в автоматизированном режиме вносить параллельные изменения в оба типа зонирования и избежать чрезмерного количества правок в документы.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Хмелёва Е.В. Утраченная «функция» в функциональном зонировании генеральных планов городов // Экономика строительства. 2024. № 2. С.175–179.
2. Hirt S. Zoned in the USA. Cornell University press. 2014. Pp. 60–89.
3. Shaw D., Nadin V. The Compendium of European Spatial Planning Systems. European Commission, 1999. Pp. 33–47.
4. Newman P., Thornley A. Planning World Cities: Globalization and Urban Politics. New York: Palgrave Macmillan, 2005. Pp. 61–81.
5. Nadin V., Stead D. European Spatial Planning Systems, Social Models and Learning // The Planning Review. 2008 № 172. Pp. 35–47.
6. Zweigert K., Kötz H., Weir T. An Introduction to Comparative Law. Oxford University Press, 1998. Pp. 50–100.
7. Delafons J. Politics and Preservation: A Policy History of the Built Heritage 1882–1996. London: Routledge. 2005. Pp. 50–100.
8. McKenzie E. Privatopia: Homeowners Associations and the Rise of Residential Private Government. New Haven, Conn.: Yale University Press. 1994. Pp. 70–90.
9. Platt R. Land Use and Society: Geography, Law, and Public Policy. Rev. ed. Washington, D.C.: Island Press, 2004. Pp. 60–70.
10. Cullingworth B., Nadin V. Town and Country Planning in the UK. London: Routledge, 2006. Pp. 110–130.
11. Митягин С.Д., Майборода В.А. Единство публичной власти в едином документе градостроительного зонирования и территориального планирования // Теория градостроительства. 2023. № 1-2 (83-84). С. 2–6.
12. Майборода В.А. О новом публично-правовом инструменте - едином документе территориального планирования и градостроительного зонирования // Хозяйство и право. 2023. № 1 (552). С. 84–95.
13. Калмыкова А.К., Херувимова И.А. Единый документ территориального планирования и градостроительного зонирования // Материалы конференции «XXXV Международная научно-практическая конференция "Вопросы планировки и застройки городов". Пенза. 08–09 июля 2023 г. С. 5–120.
14. Рудяшко А.А. Новая градостроительная политика. Предпосылки создания, полномочия органов власти // Юриспруденция, государство и общество: современные правовые проблемы. Сборник статей Международной научно-практической конференции. Пенза. 2023. С. 28–32.

15.Перькова, М. В. Градостроительное развитие региональной системы расселения и ее элементов (на примере Белгородской области) : специальность 05.23.22 "Градостроительство, планировка сельских населенных пунктов" : диссертация на соискание ученой степени доктора архитектуры / Перькова Маргарита Викторовна. Санкт-Петербург, 2019. 912 с.

16.Magnusson L. An Economic History of Sweden. London: Routledge, 2000. Pp. 50-100.

17.Nordregio. Regional Planning in Finland, Iceland, Norway and Sweden. Ministry of Environment, Forest and Nature Agency, Spatial Planning Department of Denmark. URL: http://www.naturstyrelsen.dk/NR/rdonlyres/C0C24D17-46A3-49FC9667-09D69A31ECEE/6998/regional_planning_in20Nordic_UK.pdf. Accessed 15.09.2024.

18.Sorensen A. The Making of Urban Japan: Cities and Planning from Edo to Twenty-First Century. London: Routledge, 2002. Pp. 367–374.

19.Постановление Правительства Ленинградской области от 28.12.2018 № 523 "Об утвер-

ждении изменений в Генеральный план муниципального образования "Колтушское сельское поселение" Всеволожского муниципального района Ленинградской области", <https://arch.lenobl.ru/ru/dokumenty/dokumenty-territorialnogo-planirovaniya/generalnye-plany-municipalnyh-obrazovaniy/vsevolozhskij-municipalnyj-rajon/> (обращение 15.09.2024).

20.Приказ Комитета градостроительной политики Ленинградской области от 25.01.2023 № 11 «Об утверждении Правил землепользования и застройки муниципального образования Колтушское сельское поселение Всеволожского муниципального района Ленинградской области», <https://npa47.ru/docs/government/view/100523/> (обращение 15.09.2024).

21.Постановление Главы администрации Федеральной территории «Сириус» от 08.07.2024 г. № 87-п «О подготовке проекта единого документа территориального планирования и градостроительного зонирования федеральной территории «Сириус».

Информация об авторах

Хмелёва Екатерина Владимировна, аспирант, заместитель руководителя ГКУ «Градостроительное развитие территории Ленинградской области». E-mail: khmeleva.ev@grtlo.ru. Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет. Россия, 190005, г. Санкт-Петербург, 2-я Красноармейская ул., д.4.

Лутченко Сергей Иванович, главный архитектор Ленинградской области, профессор практики института дизайна и урбанистики Университета ИТМО, доцент кафедры градостроительства Санкт-Петербургского государственного архитектурно-строительного университета, кандидат архитектуры. E-mail: serg.lutchenko@yandex.ru. Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет. Россия, 190005, г. Санкт-Петербург, 2-я Красноармейская ул., д.4.

Поступила 18.08.2024 г.

© Хмелёва Е.В., Лутченко С.И., 2025

***Khmeleva E.V., Lutchenko S.I.**

*Saint-Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering
State Public Institution "Urban Development of the Leningrad Region"*

**E-mail: khmeleva.ev@grtlo.ru*

PRACTICE OF URBAN ZONING OF THE TERRITORY OF KOLTUH SETTLEMENT TAKING INTO ACCOUNT WORLD EXPERIENCE

Abstract. The article examines the organization of the spatial planning system, zoning systems taking into account the world experience of Great Britain, Germany, France, Japan, Australia and Scandinavian countries. The differentiation of countries by the principles of administrative and legal management of territories is given, the issues of unification and division of functional and urban zoning within one document, the sequence and scale of implementation of urban planning documentation, the role of the Unified Document of Territorial Planning and Urban Zoning in modern urban planning practice and the possibilities of its application are considered. The features of the implementation of documents of territorial planning and urban zoning are considered on the example of the Leningrad Region, in particular, in the implementation of the General Plan and the Rules for Land Use and Development of the Koltuhskeye Settlement as an example of working with the Unified Document. The example of the Koltuhskeye urban settlement reveals typical difficulties in the development and approval of urban planning documentation in the Russian Federation: the impossibility of establishing territorial zones in places where plots fall into several functional zones, intersect with forest

resources; the direct influence of land users and construction coalitions on zoning decisions. Two polar principles of territory zoning are proposed when working with a Single Document: polyfunctional zoning of the territory with the allocation of priority functions, which will allow specifying the planned function of the territory at the next planning level; monofunctional zoning of the territory, which will allow automatic changes to be made in parallel to both types of zoning.

Keywords: *urban planning practice, Unified criterion for planning and urban zoning, master plan, land use and development rules, Koltush settlement.*

REFERENCES

1. Khmelyova E.V. The Lost "Function" in Functional Zoning of City Master Plans [Utrachennaya «funkciya» v funkcional'nom zonirovanii general'nyh planov gorodov] Construction Economics [Ekonomika stroitel'stva]. 2024. No 2. Pp. 175–179. (rus)
2. Hirt S. Zoned in the USA. Cornell University press, 2014. Pp. 60–89.
3. Shaw D., Nadin V. The Compendium of European Spatial Planning Systems. European Commission, 1999. Pp. 33–47.
4. Newman P., Thornley A. Planning World Cities: Globalization and Urban Politics New York : Palgrave Macmillan, 2005. Pp. 61–81.
5. Nadin V., Stead D. European Spatial Planning Systems, Social Models and Learning. The Planning Review. 2008. No. 172. Pp. 35–47.
6. Zweigert K., Kötz H., Weir T. An Introduction to Comparative Law. Oxford University Press, 1998. Pp. 50–100.
7. Delafons J. Politics and Preservation: A Policy History of the Built Heritage 1882–1996. London: Routledge, 2005. Pp. 50–100.
8. McKenzie E. Privatopia: Homeowners Associations and the Rise of Residential Private Government. New Haven, Conn.: Yale University Press, 1994. Pp. 70–90.
9. Platt R. Land Use and Society: Geography, Law, and Public Policy. Rev. ed. Washington, D.C.: Island Press? 2004. Pp. 60–70.
10. Cullingworth B., Nadin V. Town and Country Planning in the UK. London: Routledge. 2006, Pp. 110–130.
11. Mityagin S.D., Majboroda V.A. Unity of public authority in a single document of urban zoning and territorial planning [Edinstvo publichnoy vlasti v edinom dokumente gradostroitel'nogo zonirovaniya i territorial'nogo planirovaniya]. Theory of urban planning [Teoriya gradostroitel'stva]. 2023. No. 1-2 (83-84). Pp. 2–6. (rus)
12. Majboroda V.A. On a new public-legal instrument - a single document of territorial planning and urban zoning [O novom publichno-pravovom instrumente - edinom dokumente territorial'nogo planirovaniya i gradostroitel'nogo zonirovaniya]. Economy and law [Hozyajstvo i pravo]. 2023. No. 1 (552). Pp. 84–95. (rus)
13. Kalmykova A.K., Heruvimova I.A. Unified document of territorial planning and urban zoning [Edinyj dokument territorial'nogo planirovaniya i gradostroitel'nogo zonirovaniya] International scientific and practical conference "Issues of planning and development of cities" [«XXXV Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferenciya "Voprosy planirovki i zastrojki gorodov"». Penza. 08–09 julay, 2023. Pp. 5–120. (rus)
14. Rudyashko A.A. New urban development policy. Prerequisites for creation, powers of authorities [Novaya gradostroitel'naya politika. Predposylki sozdaniya, polnomochiya organov vlasti]. Jurisprudence, state and society: modern legal problems. Collection of articles of the International scientific and practical conference. [Yurisprudenciya, gosudarstvo i obshchestvo: sovremennye pravovye problem. Sbornik statej Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii]. Penza. 2023. Pp. 28–32. (rus)
15. Per'kova M.V. Urban development of the regional settlement system and its elements (using the example of the Belgorod region) [Gradostroitel'noe razvitie regional'noj sistemy rasseleniya i ee elementov (na primere Belgorodskoj oblasti)] Dissertation for the degree of Doctor of Architecture. Saint Petersburg, 2019. 912 p. (rus)
16. Magnusson L. An Economic History of Sweden. London: Routledge, 2000. Pp. 50–100.
17. Nordregio. Regional Planning in Finland, Iceland, Norway and Sweden. Ministry of Environment, Forest and Nature Agency, Spatial Planning Department of Denmark. URL: http://www.naturstyrelsen.dk/NR/rdonlyres/C0C24D17-46A3-49FC9667-09D69A31ECEE/6998/regional_planning_in20Nordic_UK.pdf. Accessed 15.09.2024.
18. Sorensen A. The Making of Urban Japan: Cities and Planning from Edo to Twenty-First Century. London: Routledge, 2002. Pp. 367–374.
19. Resolution of the Government of the Leningrad Region dated 28.12.2018 No. 523 "On approval of amendments to the General Plan of the municipal formation "Koltushskoye rural settlement" of the Vsevolozhsk municipal district of the Leningrad Region [Postanovlenie Pravitel'stva Leningradskoj oblasti ot 28.12.2018 № 523 "Ob utverzhdenii izmenenij v General'nyj plan municipal'nogo obrazovaniya "Koltushskoe sel'skoe poselenie" Vsevolozhskogo municipal'nogo rajona Leningradskoj ob-

lasti"]]. URL: <https://arch.lenobl.ru/ru/dokumenty/dokumenty-territorialnogo-planirovaniya/generalnye-plany-municipalnyh-obrazovaniy/vsevolozhskij-municipalnyj-rajon/> (accessed 15.09.2024). (rus)

20. Order of the Committee for Urban Development Policy of the Leningrad Region dated 01/25/2023 No. 11 "On approval of the Rules for land use and development of the municipal formation Koltushskoye rural settlement of the Vsevolozhsk municipal district. [Prikaz Komiteta gradostroitel'noj politiki Leningradskoj oblasti ot 25.01.2023 № 11 «Ob utverzhdenii Pravil zemlepol'zovaniya i zastrojki municipal'nogo obrazovaniya Koltushskoe

sel'skoe poselenie Vsevolozhskogo municipal'nogo rajona Leningradskoj oblasti]] URL: <https://npa47.ru/docs/government/view/100523/> (accessed 15.09.2024). (rus)

21. Resolution of the Head of Administration of the Federal Territory "Sirius" dated 08.07.2024 No. 87-p "On the preparation of a draft unified document for territorial planning and urban zoning of the federal territory "Sirius". [Postanovlenie Glavy administracii Federal'noj territorii «Sirius» ot 08.07.2024 g. No 87-p «O podgotovke proekta edinogo dokumenta territorial'nogo planirovaniya i gradostroitel'nogo zonirovaniya federal'noj territorii «Sirius»]. (rus)

Information about the authors

Khmeleva, Ekaterina V. Postgraduate student, deputy head of the State Public Institution "Urban Development of the Leningrad Region". E-mail: khmeleva.ev@grtlo.ru. St. Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering. Russia, 190005, St. Petersburg, 2-ya Krasnoarmeyskaya St., Bldg.4.

Lutchenko, Sergey I. Chief architect of the Leningrad Region, professor of practice at the Institute of Design and Urban Studies at ITMO University, associate professor of the urban planning department of the St. Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering, PhD in architecture. E-mail: serg.lutchenko@yandex.ru St. Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering. Russia, 190005, St. Petersburg, 2-ya Krasnoarmeyskaya St., Bldg.4.

Received 18.08.2025

Для цитирования:

Хмельёва Е.В., Лутченко С.И. Практика градостроительного зонирования территории Колтушского поселения с учетом мирового опыта // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2025. № 1. С. 20–29. DOI: 10.34031/2071-7318-2024-10-1-20-29

For citation:

Khmeleva E.V., Lutchenko S.I. Practice of urban zoning of the territory of Koltuh settlement taking into account world experience. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2025. No. 1. Pp. 20–29. DOI: 10.34031/2071-7318-2024-10-1-20-29

DOI: 10.34031/2071-7318-2024-10-1-30-40

^{1,*}Ладик Е.И., ¹Перькова М.В., ¹Сударикова А.А., ¹Фурсаева Е.В., ²Нецветаева О.В.¹Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого²Государственное казенное учреждение

«Градостроительное развитие территорий Ленинградской области»

*E-mail: krushelnitskaya1@rambler.ru

ВЫЯВЛЕНИЕ ИДЕНТИЧНОСТИ ТЕРРИТОРИИ ДОСТОПРИМЕЧАТЕЛЬНОГО МЕСТА ФЕДЕРАЛЬНОГО ЗНАЧЕНИЯ «КОЛТУШСКАЯ ВОЗВЫШЕННОСТЬ И КОЛТУШСКОЕ ШОССЕ» В ЛЕНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ

Аннотация. На фоне растущих процессов урбанизации в современном обществе все острее встают вопросы сохранения регионального своеобразия архитектурной среды исторических малых городов и поселений. В исследовании представлен процесс выявления идентичности территории достопримечательного места федерального значения «Колтушская возвышенность и Колтушское шоссе» в Ленинградской области. В ходе исследования применялся комплексный подход, включающий методы ретроспективного, проблемного, визуально-ландшафтного анализа, анализа существующих знаков и символов местности. Были рассмотрены социальные аспекты, влияющие на формирование идентичности городской среды. В ходе исследования территории проанализированы четыре основных зоны, имеющие свои символы и айдентику: Колтушские высоты, научный городок физиолога И.П. Павлова, Колтушское шоссе, поселок Колбино. Выявлены основные градостроительные проблемы дальнейшего развития территории, наиболее распространенными из которых являются угроза утраты исторического наследия, неэффективное использование пространства, наличие диссонирующих объектов новой застройки и др. Определены основные архитектурные объекты, культурные особенности и нематериальное культурное наследие, характеризующее идентичность каждой зоны. Выявлены основные особенности архитектурной и историко-культурной среды, характеризующие идентичность территории достопримечательного места федерального значения «Колтушская возвышенность и Колтушское шоссе» в Ленинградской области как основа для создания единого дизайн-кода исторического населенного пункта. Это позволит укрепить связь с историей и культурой местности, повысить визуальные качества городской среды и раскрыть туристический потенциал территории.

Ключевые слова: архитектурная среда, идентичность территории, точки притяжения, дизайн-код, благоустройство

Введение. Идентичность среды в целом раскрывает уникальные характеристики, черты и особенности освоенного пространства. Понимание идентичности среды важно для разработки устойчивых стратегий планирования, а также для сохранения историко-культурного наследия. В последние десятилетия градостроительное развитие пригородных зон, малых городов и сельских поселений характеризуется ростом массовой застройки и освоением незастроенных территорий. Активные процессы урбанизации неизбежно ведут к противоречиям развития территории [1]. С одной стороны, формируются тенденции универсализации и глобализации, с другой стороны, как ответная реакция на них формируются тенденции регионализма и сохранения индивидуальности территорий [2]. Привнесение в сложившуюся историческую застройку тенденций интернациональной архитектуры и игнорирование контекста зачастую разрушает местное культурное своеобразие.

В настоящее время проявляется необходимость сохранения архитектурной идентичности малых исторических городов и поселений, а

также развития городской среды, удовлетворяющей растущие потребности населения, способствующей привлечению инвесторов и туристов, а, следовательно, и росту региональной экономики. Идентичность архитектурно-пространственной среды формируется в сознании зрителей посредством субъективного восприятия визуальных образов архитектуры и ощущений человека в пространстве [3]. Идентичность среды включает уникальные элементы ландшафта, материальное и нематериальное культурное наследие и архитектурные особенности территории. Разработка дизайн-кода территорий на современном этапе является инструментом сохранения идентичности городской среды. Исследование эффективности внедрения дизайн-кода имеет важное значение для улучшения качества жизни горожан, развития инфраструктуры и создания образа города [4].

В последние десятилетия вопрос сохранения архитектурной идентичности малых городов и поселений стал актуальным как в научных исследованиях, так и в практической деятельности.

Этот интерес был вызван различными факторами, включая глобализацию, урбанизацию и изменения в культурных ценностях. Исследования в этой области охватывают широкий спектр тем, включая влияние глобализации на местную архитектуру, роль культурного наследия в формировании идентичности, а также методы и стратегии сохранения уникальных черт городской среды. Влияние глобализации на местную архитектуру изучали зарубежные ученые Э. Соид и Д. Хейл. Они указывали на угрозу унификации архитектурных стилей, что может привести к утрате уникальности местной идентичности. Исследователи К. Фрэмpton и Дж. Хатчинсон акцентировали внимание на важности культурного наследия как инструмента формирования идентичности территории. К. Линч и Ян Гейл рассматривали аспекты восприятия элементов городской среды. Вопросы, касающиеся идентичности архитектурно-пространственной среды затронуты в работах отечественных ученых Г.В. Есаулова, Т.В. Вавилонской, Н.Г. Благовидовой [3] и др., однако характеристики архитектурной идентичности среды малых городов и поселений на сегодняшний день все еще требуют комплексного изучения. Необходимы исследования о том, какие стратегии могут быть применены для защиты идентичности среды в условиях растущей урбанизации. Существует потребность в более широком применении комплексных методов в изучении идентичности территорий, включая социологические и экологические аспекты.

Вопросы сохранения идентичности архитектурной среды являются особенно актуальными для городов и исторических поселений Ленинградской области. Средние и малые города Ленинградской области обладают высоким природным и историко-культурным потенциалом, включающим уникальные ландшафты, объекты культурного наследия, архитектурные ансамбли [5, 6]. Сохранение архитектурной идентичности и предотвращение хаотичной застройки являются ключевыми задачами для города Колтуши. Брендинг территории и создание единого дизайн-кода будет способствовать упорядочению застройки и созданию гармоничного пространства, учитывающему местные традиции и особенности, что станет шагом к улучшению качества городской среды [7].

Целью данного исследования является выявление идентичности территории достопримечательного места федерального значения «Колтушская возвышенность и Колтушское шоссе». *Объект исследования* – территория достопримечательного места федерального значения «Колтушская возвышенность и Колтушское шоссе».

Методология. В исследовании применялся комплексный подход, включающий методы ретроспективного и визуально-ландшафтного анализа, анализа существующих знаков и символов местности, фотофиксацию, изучение и систематизацию научной литературы и нормативно-правовых документов.

Основная часть. Колтушское городское поселение располагается во Всеволожском районе Ленинградской области, менее чем в 10 км от Санкт-Петербурга. Населенный пункт имеет развитую транспортную инфраструктуру. В Колтушах пересекаются автодороги Колтушское шоссе и трасса Санкт-Петербург – Всеволожск. Статус города был присвоен Колтушскому сельскому поселению летом 2023 г., кроме того, территория Колтушей была объединена с территорией населенного пункта д. Старая. Согласно приказу Министерства культуры Российской Федерации от 20.02.2024 г. № 312 рассматриваемая территория включена в единый государственный реестр объектов культурного наследия (памятников истории и культуры) народов Российской Федерации в качестве объекта культурного наследия федерального значения [8]. Кроме того, согласно приказу комитета по культуре Ленинградского области от 13.07.2015 г. № 01-03/15-33 «Научный городок физиолога И.П. Павлова на Колтушской возвышенности», расположенного в границах рассматриваемой территории имеет статус достопримечательного места [9] (рис. 1).

Территория г. Колтуши обладает высоким культурно-историческим потенциалом и природными ландшафтами с уникальными геологическими особенностями. Первое упоминание о территории датируется XV веком, где Колтуши упомянуты в «Переписной окладной книге водской пятины». Колтушский погост входил в состав Новгородской республики [10]. Когда-то эти территории входили в состав Шведского королевства, а также здесь проживали древнерусские народы. В 1580 году происходит первое картографическое упоминание Колтуш (селение «Kjeltis») на шведской карте Карелии, составленной после взятия Кексгольма (ныне г. Приозерск). Исторически Колтушское поселение имеет шведско-финское происхождение. Само название «Колтуши» происходит от прибалтийско-финского «kelttu». По настоящее время в городе проживают ингерманландские финны.

Колтуши и Колтушская возвышенность имеют богатую историю, которая прослеживается через ключевые архитектурные объекты, сохранившиеся до настоящего времени. На основании изученной литературы, авторами был проведен ретроспективный анализ территории (рис. 1).

Территория Колтушей была рассмотрена начиная от небольшого приграничного поселения в XV в. и заканчивая современными постройками.

В 1500-е годы на территории Колтушей начинается активное освоение земель. Первые упоминания о поселениях свидетельствуют о начале формирования местной культуры. С развитием Санкт-Петербурга в 1700-е годы, Колтуши становятся важным пунктом на пути из столицы вглубь страны. XIX век ознаменован строительством новых церквей и общественных зданий. Так, в 1820 году была построена церковь Святого Николая, ставшая центром духовной жизни местных жителей. В начале XX в. в 1900-е годы Колтуши становятся дачным районом для петербуржцев. Появляются новые жилые дома и дачи в стиле модерн, что меняет облик местности. В 1920-х гг. XX века в Колтушах была организована Физиологическая лаборатория Академии наук под руководством великого ученого-физиолога И.П. Павлова. Научная деятельность Физиологического института была неразрывно

связана с деятельностью павловской «команды» на биостанции в Колтушах и была сосредоточена на изучении физиологии высшей нервной деятельности [11]. 1930-е годы – период индустриализации, что приводит к строительству новых объектов, таких как фабрики и жилые комплексы для рабочих. Этот период также характеризуется активным развитием инфраструктуры. В период 1960–1980-х годов происходит массовое строительство многоэтажных жилых комплексов, что значительно изменяет архитектурный облик Колтушей. После распада Советского Союза начинается новая волна строительства, включая современные жилые комплексы и коммерческие объекты. В это время также усиливается интерес к сохранению культурного наследия и восстановлению исторических зданий. Таким образом, история Колтушей и Колтушской возвышенности представлена множеством архитектурных объектов, которые отражают различные этапы развития региона и его культурную идентичность.



Рис. 1. Ситуационная схема г. Колтуши. Сост. Ладик Е.И., Перькова М.В., Сударикова А.А., Фурсаева Е.В.



Рис. 2. Ретроспектива развития территории

В архитектурно-ландшафтном контексте важно найти баланс между сохранением исторического наследия и интеграцией в среду современных элементов, которые соответствуют требованиям комфорта и функциональности. Лого-

типы, цветовые решения, типографика и графические элементы должны быть тщательно продуманы и выполнены в едином стиле, отражающем многослойную историю и природную уникальность Колтушей. Кроме того, важное значение имеет организация общественных пространств,

туристических маршрутов и инфраструктуры, чтобы они не только гармонично вписывались в

окружающую среду, но и способствовали улучшению качества жизни населения и повышению туристической привлекательности региона.



Территории объектов культурного наследия в границах ДМ «Колтушские высоты и Колтушское шоссе»

— территория объекта культурного наследия федерального значения «Научный городок ученого-физиолога И.П. Павлова, 1932–1937, архитектор И.Ф. Беспалов (ансамбль)»

— территория выявленного объекта культурного наследия «Парк усадьбы П.Н. Чоглокова»

● — объекты исторической застройки

— границы достопримечательного места

Объекты ОКН

Федерального назначения



Научный городок ученого-физиолога И.П. Павлова



Дом И.П. Павлова



Памятник-бюст великому английскому ученому Ч. Дарвину



Памятник-бюст известному французскому ученому Р. Декарту



Памятник-бюст австрийскому биологу и ботанику Г. Менделю



Памятник-бюст И.П. Павлову, редактору русского ученого И.М. Сеченову



Коттедж сотрудников научного городка № 10



Коттедж сотрудников научного городка № 12



Коттедж сотрудников научного городка № 14



Коттедж сотрудников научного городка № 16



Коттедж сотрудников научного городка № 18



Гостиница (Новак лаборатория)



Коттедж № 34 (дом И.А. Орбеля)



Антропогенные



Здание старой лаборатории генетики, в которой работал И.П. Павлов



Памятник И.П. Павлову

Регионального назначения



Дом местного приюта в деревне Колтуши



Колтушские высоты



Парк



Парк усадьбы П.Н. Чоглокова

Местного назначения

Рис. 3. Схема анализа историко-культурного каркаса Колтушей.
Сост. Ладик Е.И., Перькова М.В., Сударикова А.А., Фурсаева Е.В.

Основываясь на составляющих образа города, был проведен анализ существующих опознавательных знаков и символов местности. Наряду с архитектурной средой были изучены и характеристики нематериального культурного наследия. Объекты нематериального наследия — это культурные практики, традиции, знания и навыки, которые передаются из поколения в поколение и формируют идентичность местных сообществ. К ним относятся традиционные ремесла — навыки и техники, связанные с изготовлением предметов искусства и быта: фольклор, традиционные обряды и праздники, ритуалы, связанные с важными событиями в жизни общества др. Сохранение нематериального наследия играет значимую роль в поддержании культурной идентичности и разнообразия. Элементы опознаваемости городской среды возможно использовать для формирования городской айдентики — архитектурного имиджа города [12].

В ходе исследования территория Колтушей подразделена на четыре основных зоны: 1) Колтушские высоты, 2) научный городок имени Павлова, 3) Колтушское шоссе, 4) поселок Колбино. Каждая из этих частей имеет свои символы и айдентичку, которые отражают их уникальные особенности.

Колтушские высоты представляют собой уникальные ландшафты и являются особо охраняемой природной территорией, включающей в

себя редкие экосистемы. На данный момент Колтушские высоты находятся под защитой государства, и на их территории действуют ограничения, направленные на сохранение экосистем и биоразнообразия [13]. Главным символом этой территории являются сами высоты — их уникальный рельеф, который формирует характерный ландшафт и служит важным элементом местной идентичности. Колтушские высоты связаны с рядом местных легенд, в народных сказаниях они обозначены как «место силы» и являются важной частью идентичности территории (рис. 4).

В ходе анализа территории были выделены основные современные проблемы Колтушских высот, среди которых: отсутствие инфраструктуры для посетителей ООПТ (навигации, пешеходных троп и пр.), несогласованность облика объектов новой застройки на близлежащих территориях, диссонирующие ограждения объектов жилой застройки, нерациональное повышение антропогенной нагрузки и риск утраты имеющегося биоразнообразия (стихийно организованные трассы для езды на квадроциклах, мотоциклах, автомобилях и других транспортных средствах). В этой связи при разработке перспективных стратегий развития территории особенно важно сохранить баланс между естественными и искусственными компонентами среды, обеспечивая ее экологическую устойчивость [14].

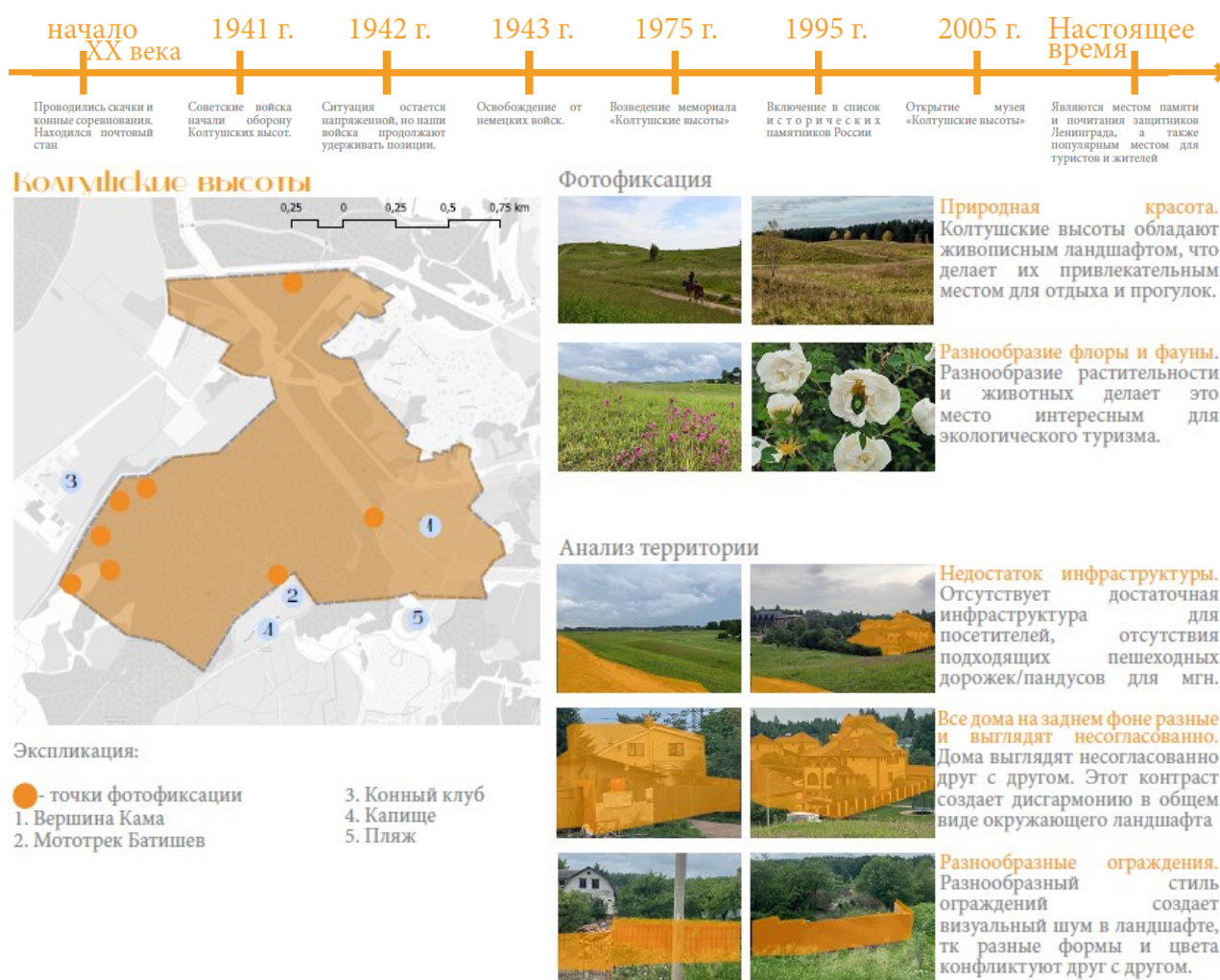


Рис. 4. Анализ территории Колтушских высот.
Сост. Ладик Е.И., Пьеркова М.В., Сударикова А.А., Фурсаева Е.В.

Научный городок физиолога И.П. Павлова является одним из наиболее значимых объектов на рассматриваемой территории, входит в список всемирного наследия ЮНЕСКО. Ансамбль научного городка включает в себя комплекс зданий и обширный парк. В парке сохранилась исторически сложившаяся планировочная структура. Символом научного городка является сам Институт физиологии имени Павлова (рис. 5). Его здания и лаборатории представляют собой не только архитектурные памятники, но и места, где создаются новые знания и технологии. Одним из наиболее значимых объектов культурного наследия рассматриваемой территории является лаборатория генетики, в которой работал нобелевский лауреат И.П. Павлов, спроектированная архитектором И.Ф. Безпаловым [15].

Среды современных проблем территории следует выделить угрозу утраты объектов культурного наследия (здания требуют серьезных реставрационных работ, на настоящий момент времени уже утрачен значимый объект – дом И.П. Павлова), парк требует ухода, часть деревьев

представляет угрозу и требует вырубки, на территории слабо развита навигация и освещение.

Колтушское шоссе связывает различные части Колтушей и служит важной транспортной артерией. Колтушское шоссе известно с 1834 года (обозначено на карте Ф.Ф. Шуберта), оно соединяло территории Охтинского разлива и Колтушей. На протяжении шоссе расположены постройки и объекты с уникальной архитектурой: коттеджи, ранее предназначавшиеся для работников Института физиологии, представляющие постройки с элементами фахверка, возведенные в 1930-х гг.; колокольня Благовещенской церкви и др. Объектами, формирующими образ территории, также являются современные постройки, в их числе часы и памятный знак, установленные в честь 510-летия Колтушской волости. Эти здания и сооружения создают уникальную атмосферу на Колтушском шоссе и отражают разнообразие архитектурных стилей и исторических периодов.

Основными угрозами для данной территории являются диссонирующие объекты нового строительства, визуальный шум и несогласован-

ные элементы наружной рекламы, неэффективное распределение пространства, угроза утраты объектов культурного наследия (рис. 6).

Деревня Колбино имеет богатое историческое прошлое. Первые картографические упоминания деревни: селение «Kolpano» на «Карте Ингерманландии: Ивангорода, Яма, Копорья, Нотеборга» 1676 года. Деревня интересна своей архи-

тектурой и историей. Исторически символом рассматриваемой территории являлась лютеранская церковь Святого Георгия [16]. Первое здание кирхи сгорело во время Северной войны. В 1768 г. к востоку от д. Колбино была построена новая деревянная кирха. В 1938 году кирха была закрыта, а в 1939 году разобрана на сооружение военных укреплений.

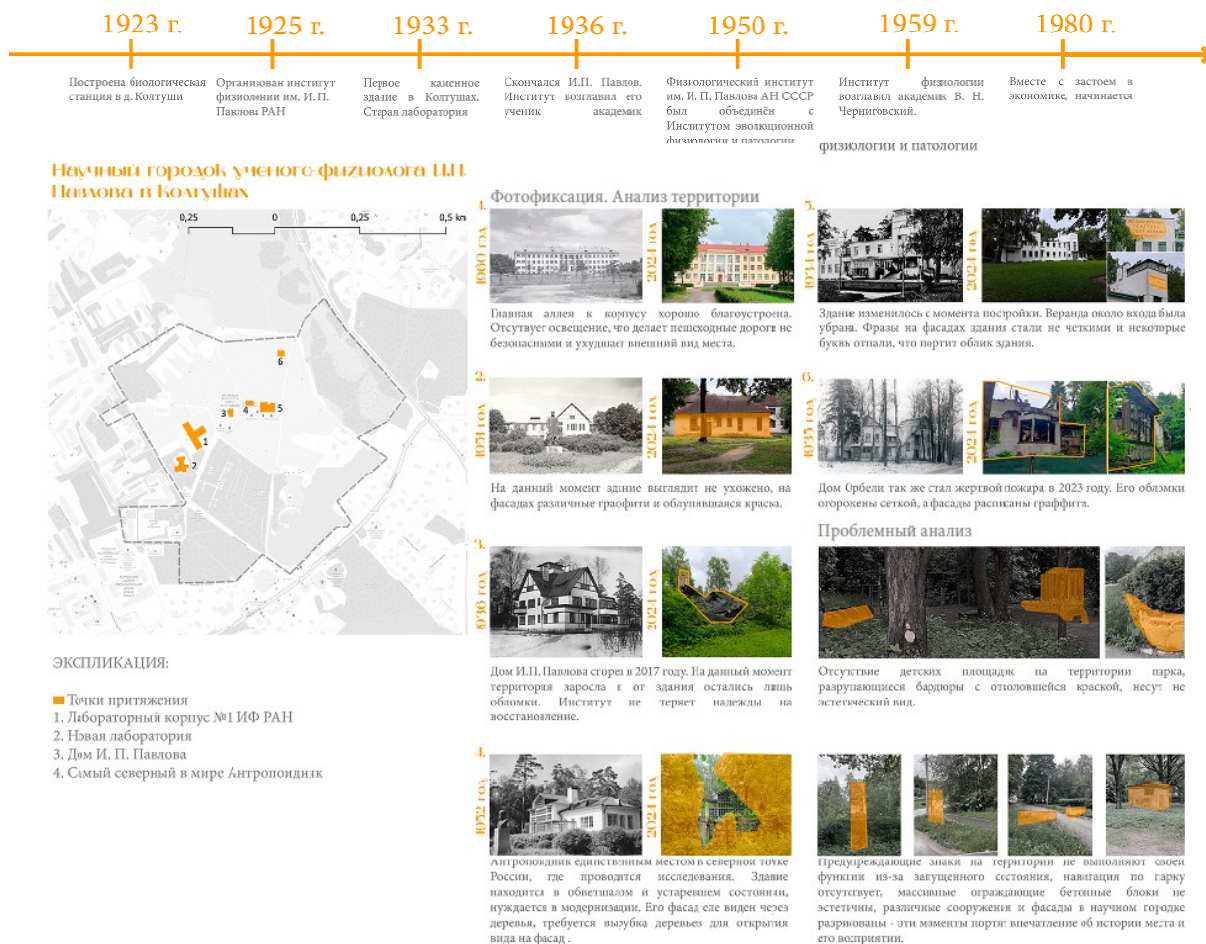


Рис. 5. Анализ территории Научный городок физиолога И.П. Павлова.

Сост. Ладик Е.И., Перькова М.В., Сударикова А.А., Фурсаева Е.В.

В начале 1990-х гг. в Колбино началось строительство нового каменного храма. В настоящее время церковь Святого Георгия является одним из значимых символов территории и может рассматриваться как символ разнообразия религиозных традиций региона. Она стала первой финской лютеранской церковью, построенной после революции. На её территории открылся Теологический институт Церкви Ингрии им. С.Я. Лауриккалы. Лютеранская церковь играет важную роль в жизни местных жителей, являясь культурным центром для общения и взаимодействия.

В числе современных проблем территории выделяются недостаточно развития транспортно-пешеходная инфраструктура, слабо развитая навигация (рис. 7).

Выводы. Каждая из четырех рассмотренных частей Колтушей (Колтушские высоты, научный

городок имени Павлова, Колтушские шоссе и поселок Колбино) обладает своей уникальной айдентикой и символами. Вместе они формируют целостный образ идентичности территории как места науки, культуры и уникальной природы. Эти объекты не только определяют физическое пространство Колтушей, но и создают его духовную атмосферу, делая его значимым как для местных жителей, так и для туристов. Идентичность Колтушей строится на основе материального и нематериального культурного наследия, которое должно быть учтено в едином дизайн-коде территории. Этот уникальный синтез сформирует не только визуальную идентичность Колтушей, но и их нематериальный образ для горожан и гостей города.

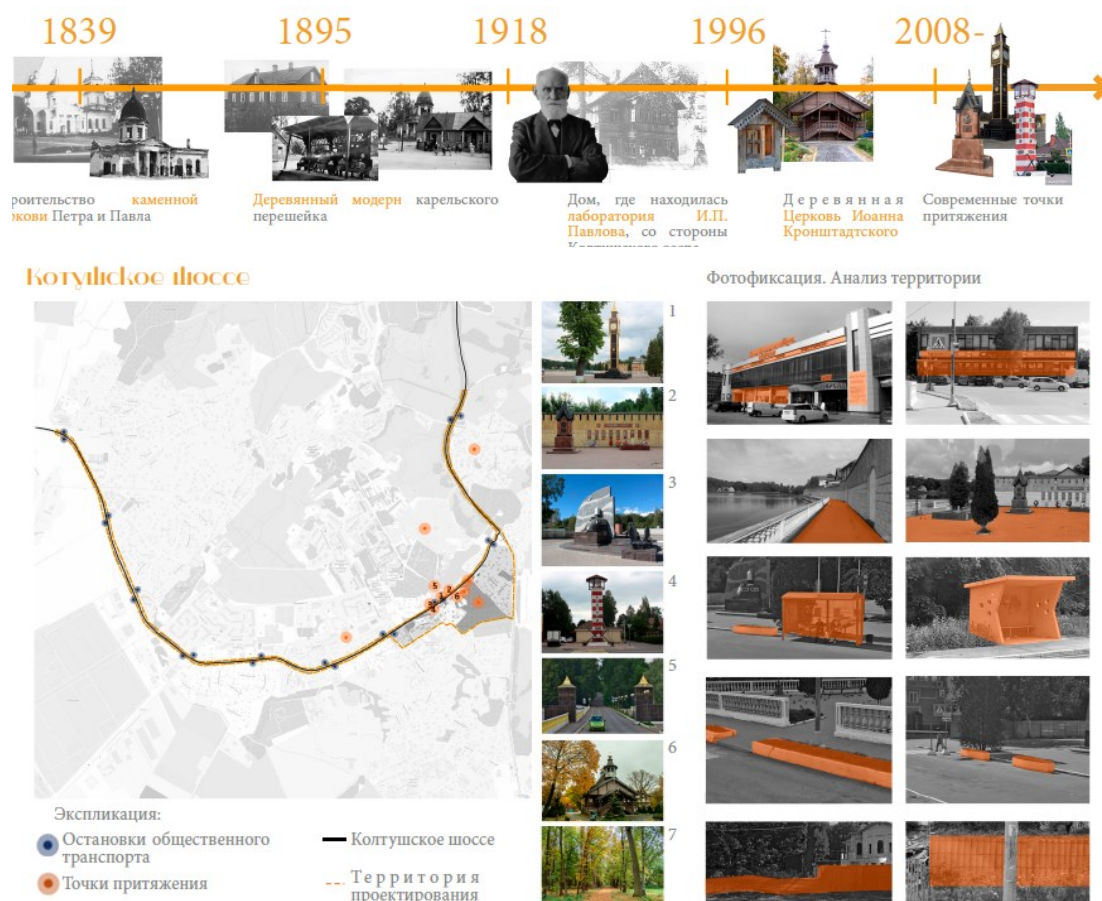


Рис. 6. Анализ территории Колтушского шоссе.
 Сост. Ладик Е.И., Перькова М.В., Сударикова А.А., Фурсаева Е.В.

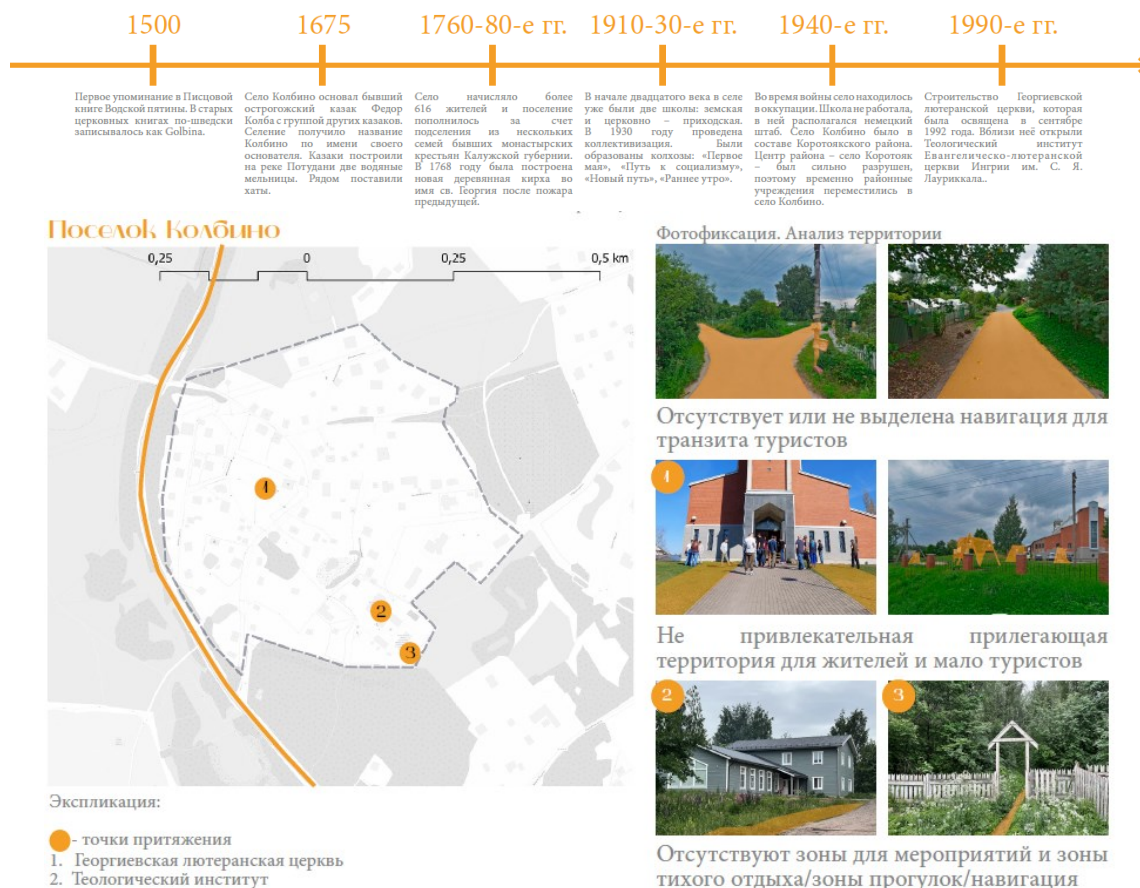


Рис. 7. Анализ территории д. Колбино. Сост. Ладик Е.И., Перькова М.В., Сударикова А.А., Фурсаева Е.В.

Таким образом, в процессе исследования идентичности территорий Колтушских возвышенностей и Колтушского шоссе выявлено, что идентичность среды формируется на основе объектов культурного наследия, включая архитектурные объекты конструктивизма и деревянного зодчества, представляющих собой значимый историко-культурный слой, требующий бережного отношения и продуманного развития. Значимую роль в формировании образа территории имеет нематериальное культурное наследие, которое формирует ее уникальный контекст. В ходе анализа существующих знаков и символов местности территорий были рассмотрены 4 зоны с ярко выраженным ресурсным потенциалом: 1) Колтушские высоты, 2) научный городок физиолога И.П. Павлова, 3) Колтушское шоссе, 4) поселок Колбино. В каждой из них выявлены ключевые материальные и нематериальные историко-культурное и архитектурное наследие, формирующее местную идентичность территории, так называемый «дух места»: Памятник природы «Колтушские высоты», «Научный городок физиолога И.П. Павлова на Колтушской возвышенности и Колтушское шоссе (часть)», Лютеранская церковь в д. Колбино. Эти объекты не только представляют собой художественные и исторические ценности, являются важными ориентирами для жителей и туристов, но и могут стать основными символами для брендинга территории.

Для предотвращения хаотичной застройки и сохранения историко-культурной среды необходимо разработать единый дизайн-код территории с учетом особенностей каждой из 4 выявленных зон. Это позволит сохранить характерные черты архитектуры и ландшафта, а также обеспечить сбалансированное градостроительное развитие территории. Выявленная идентичность Колтушей станет основой для развития туристической привлекательности данной территории и будет способствовать созданию комфортной уникальной городской среды для жителей и возможности развития человеческого потенциала.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Перькова М.В. Градостроительное развитие региональной системы расселения и ее элементов (на примере Белгородской области): автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора архитектуры специальность: 05.23.22 Градостроительство, планировка сельских населенных пунктов. Санкт-Петербург, 2019. 40 с.
2. Скалкин А.А. Понятие идентичности и факторы ее формирования // *Architecture and Modern Information Technologies*. 2017. № 4 (41). С. 57–67.
3. Благовидова Н.Г., Иванова О.А. Семантический аспект формирования идентичности архитектурно-пространственной среды новых городов-столиц. Часть 2. Преимущество и идентичность // *Academia. Архитектура и строительство*. 2024. № 1. С. 147–158. DOI: 10.22337/2077-9038-2024-1-147-158.
4. Баранова Е.А. Структура городской идентичности в проектировании дизайн-кода для брендинга малых городов//Дайджест выпускных квалификационных работ института дизайна и урбанистики университета ИТМО. Ежегодный выпуск. 2023. №1. СПб: изд-во: Национальный исследовательский университет ИТМО, 2024. С. 154-163
5. Лутченко С.И. Территориально-планировочная организация туристской инфраструктуры Ленинградской области: дис. канд. арх наук: 2.1.13. Санкт-Петербург, 2023. 266 с.
6. Перькова М.В., Ладик Е.И. Реновация городской среды исторического центра г. Новая Ладога // *Градостроительство и архитектура*. 2024. Т. 14. № 1 (54). С. 178–190.
7. Лутченко С.И., Корня Е.А. Дизайн-код как культурный параметр для сохранения исторического наследия в местах активного развития туризма и рекреации // *Градостроительство и архитектура*. 2022. Т. 12. № 3. С. 154–162. DOI: 10.17673/Vestnik.2022.03.22.
8. Приказ Министерства культуры Российской Федерации от 20.02.2024 № 312 "О включении выявленного объекта культурного наследия «Научный городок физиолога И.П. Павлова на Колтушской возвышенности и Колтушское шоссе (часть)», 1932-1937 гг., середина XX века (Ленинградская область, Всеволожский район, с. Павлово, г. Колтуши (ранее д. Колтуши и д. Старая), д. Колбино, д. Токкари, д. Янино-2, д. Суоранда, д. Хирвосты) в единый государственный реестр объектов культурного наследия (памятников истории и культуры) народов Российской Федерации в качестве объекта культурного наследия федерального значения и утверждении границ его территории».
9. Приказ Комитета по сохранению культурного наследия Ленинградской области от 26.06.2024 № 01-03/24-57 «Об установлении предмета охраны объекта культурного наследия федерального значения «Научный городок физиолога И.П. Павлова на Колтушской возвышенности и Колтушское шоссе (часть)», 1932–1937 гг., середина XX века по адресу: Ленинградская область, Всеволожский район, с. Павлово, г. Колтуши (ранее д. Колтуши и д. Старая), д. Колбино, д. Токкари, д. Янино-2, д. Суоранда, д. Хирвосты».
10. Колтушское городское поселение: официальный сайт. Историческая справка. 2024.

[Электронный ресурс] URL: <https://www.vsevreg.ru/city/municipality/760/> (дата обращения: 08.08.2024).

11. Филаретова Л.П., Дюжикова Н.А., Андреева Л.Е. История первого физиологического института России – Института физиологии им. И.П. Павлова РАН // Историко-биологические исследования. 2023. Т. 15. № 3. С. 8–50.

12. Степанов А.В., Степанова Т.М. Конструктивизм в структуре архитектурно-стилевой айдентики Екатеринбурга // Академический вестник УралНИИпроект РААСН. 2014. №2. С. 15–19

13. Памятник природы «Колтушские высоты» [Электронный ресурс] URL: <https://ooptlo.ru/oopt-koltushskie-vyisoty.html> (дата обращения: 16.08.2024).

14. Рощупкина О.Е., Перькова М.В. Ландшафты как фактор развития территории. Сборник докладов Международного онлайн-конгресса «Фундаментальные основы строительного материаловедения». Белгород: БГТУ им. В.Г. Шухова, 2017. С. 1244–1252.

15. Филаретова Л.П., Дюжикова Н.А., Андреева Л.Е., Вовенко Е.П., Рыбникова Е.А. История первого физиологического института России – Института физиологии им. И.П. Павлова РАН // Историко-биологические исследования. 2023. № 3. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/istoriya-pervogo-fiziologicheskogo-instituta-rossii-instituta-fiziologii-im-i-p-pavlova-ran> (дата обращения: 28.08.2024).

16. Александрова Е.Л., Браудзе М.М., Высоцкая В.А., Петрова Е.А. История финской Евангелическо-лютеранской церкви Ингерманландии 400 лет, 1611–2011. Санкт-Петербург: Гйоль, 2012. 398 с.

Информация об авторах

Ладик Елена Игоревна, кандидат архитектуры, доцент Высшей школы архитектуры и дизайна. E-mail: krushelnitskaya1@rambler.ru. Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого. Россия, 195251, Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д. 29.

Перькова Маргарита Викторовна, доктор архитектуры, доцент, советник РААСН, директор 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.

Сударикова Александра Александровна, магистрант Высшей школы архитектуры и дизайна. E-mail: sashasударикова@yandex.ru. Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого. Россия, 195251, Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д. 29.

Фурсаева Елизавета Владимировна, магистрант Высшей школы архитектуры и дизайна. E-mail: fursik.01@mail.ru. Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого. Россия, 195251, Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д. 29.

Нецветева Ольга Владимировна, заместитель руководителя. E-mail: netsvetaeva.ov@grtlo.ru. Государственное казенное учреждение «Градостроительное развитие территорий Ленинградской области». Россия, 195197, г. Санкт-Петербург, ул. Замшина, д. 6, офис 45.

Поступила 17.10.2024 г.

© Ладик Е.И., Перькова М.В., Нецветева О.В. Сударикова А.А., Фурсаева Е.В., 2024

^{1,*}Ladik E.I., ¹Perkova M.V., ¹Sударикова A.A., ¹Fурсаева E.V., ²Netsvetaeva O.V.

¹Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University

²State budgetary institution "Urban Development of Territories of the Leningrad Region"

*E-mail: krushelnitskaya1@rambler.ru

IDENTIFICATION OF THE IDENTITY OF THE TERRITORY OF A NOTABLE PLACE OF FEDERAL SIGNIFICANCE «KOLTUSHSKAYA UPLAND AND KOLTUSHSKOE HIGHWAY» IN THE LENINGRAD REGION

Abstract. Against the background of growing urbanization processes in modern society, the issues of preserving the regional identity of the architectural environment of historical small towns and settlements are becoming increasingly acute. The study presents the process of identifying the identity of the territory of the landmark of federal significance "Koltushskaya Upland and Koltushskoye Highway" in the Leningrad Region. The study used a comprehensive approach, including methods of retrospective, problematic, visual-landscape analysis, analysis of existing signs and symbols of the area. Social aspects influencing the formation of the identity of the urban environment were considered. In the course of the study of the territory, four main zones

with their own symbols and identity were analyzed: Koltuhskie Heights, the scientific town of physiologist I.P. Pavlov, Koltuhskey Highway, the village of Kolbino. The main urban planning problems of further development of the territory are identified, the most common of which are: the threat of loss of historical heritage, inefficient use of space, the presence of dissonant new buildings, etc. The main architectural objects, cultural features and intangible cultural heritage characterizing the identity of each zone are determined. The main features of the architectural and historical-cultural environment characterizing the identity of the territory of the landmark of federal significance "Koltuhskey Upland and Koltuhskey Highway" in the Leningrad Region have been identified as a basis for creating a single design code for the historical settlement. This will strengthen the connection with the history and culture of the area, improve the visual qualities of the urban environment and reveal the tourist potential of the territory.

Keywords: architectural environment, identity of the territory, points of attraction, design code, improvement of the territory

REFERENCES

1. Perkova M.V. Urban development of the regional settlement system and its elements (on the example of the Belgorod region) [Gradostroitel'noe razvitiye regional'noj sistemy rasseleniya i ee elementov (na primere Belgorodskoj oblasti)]: abstract of the dissertation for the degree of Doctor of Architecture: specialty 05.23.22 Urban planning, planning of rural settlements. St. Petersburg, 2019. Pp. 40. (rus)
2. Skalkin A.A. The concept of identity and factors of its formation. [Ponyatie identichnosti i prichiny ee formirovaniya] Architecture and Modern Information Technologies. 2017. No. 4 (41). Pp. 57–67. (rus)
3. Blagovidova N.G., Ivanova O.A. Semantic aspect of the formation of identity of the architectural and spatial environment of new capital cities. Part 2. Continuity and identity [Semanticheskij aspekt formirovaniya identichnosti arhitekturno-prostranstvennoj sredy novyh gorodov-stolic. Chast' 2. Preemstvennost' i identichnost']. Academia. Architecture and Construction. 2024. No. 1. Pp. 147–158. DOI: 10.22337/2077-9038-2024-1-147-158 (rus)
4. Baranova E.A. The structure of urban identity in the design of a design code for branding small cities [Struktura gorodskoj identichnosti v proektirovanii dizajn-koda dlya brendinga malyh gorodov]. Digest of Graduation Projects of the Institute of Design and Urban Studies of ITMO University. Annual issue. 2023. No. 1. St. Petersburg: Publishing House: National Research University ITMO. 2024. Pp. 154–163. (rus)
5. Lutchenko S.I. Territorial planning organization of the tourist infrastructure of the Leningrad Region [Territorial'no-planirovochnaya organizaciya turistskoj infrastruktury Leningradskoj oblasti]: Dissertation of a candidate of architectural sciences: 2.1.13. St. Petersburg, 2023. Pp 266. (rus)
6. Perkova M.V., Ladik E.I. Renovation of the urban environment of the historical center of Novaya Ladoga [Renovatsiya gorodskoy sredy istoricheskogo tsentra g. Novaya Ladoga]. Urban Planning and architecture. 2024. Vol. 14. No. 1 (54). Pp. 178–190. (rus)
7. Lutchenko S.I., Kornya E.A. Design code as a cultural parameter for preserving historical heritage in places of active tourism and recreation development [Dizayn-kod kak kul'turnyy paramet r dlya sokhraneniya istoricheskogo naslediya v mestakh aktivnogo razvitiya turizma i rekreatsii]. Urban Planning and architecture. 2022. Vol. 12. No. 3. Pp. 154–162. DOI: 10.17673/Vestnik.2022.03.22. (rus)
8. Order of the Ministry of Culture of the Russian Federation dated 02/20/2024 No. 312 «On the inclusion of the identified object of cultural heritage «Scientific town of physiologist I.P. Pavlov on Koltush hill and Koltushskoe highway (part)», 1932–1937, mid-twentieth century (Leningrad region, Vsevolozhsky district, Pavlovo village, Koltushi (formerly Koltushi village and Old), D. Kolbino, D. Toccari, D. Yanino-2, D. Suoranda, D. To the unified state register of cultural heritage objects (historical and cultural monuments) of the peoples of the Russian Federation as an object of cultural heritage of federal significance and approval of the boundaries of its territory.» [Prikaz Ministerstva kul'tury Rossijskoj Federacii ot 20.02.2024 № 312 "O vkl'yucheni i vyavlenno go ob"ekta kul'turnogo naslediya «Nauchnyj gorodok fiziologa I.P. Pavlova na Koltushskoj vozvyshe nnosti i Koltushskoe shosse (chast')», 1932–1937 gg., sere dina HKH veka (Leningradskaya oblast', Vsevolozhskij rajon, s. Pavlovo, g. Koltushi (ranee d. Koltushi i d. Staraya), d. Kolbino, d. Tokkari, d. YAnino-2, d. Suoranda, d. Hirvosti) v edinyj gosudarstvennyj reestr ob"ektov kul'turnogo naslediya (pamyatnikov istorii i kul'tury) narodov Rossijskoj Federacii v kachestve ob"ekta kul'turnogo naslediya federal'nogo znacheniya i utverzhdenii granic ego territorii»] URL: <https://ooptlo.ru/oopt-koltushskie-vyisoty.html> (date of application: 03/09/2024).
9. Order of the Committee for the Preservation of the Cultural Heritage of the Leningrad Region dated 06/26/2024 No. 01-03/24-57 «On the establishment of the subject of protection of an object of cultural heritage of federal significance «Scientific town of physiologist I.P. Pavlov on the Koltush hill and Koltushskoe highway (part)», 1932–1937, the middle of the XX century at the address: Leningrad region, Vsevolozhsky district, S. Pavlovo, Koltushi

(formerly Koltushi and D. Old), D. Kolbino, D. Tocari, D. Yanino-2, D. Suoranda, D. Hirvosti". [Prikaz Komiteta po sohraneniyu kul'turnogo naslediya Leningradskoj oblasti ot 26.06.2024 № 01-03/24-57 «Ob ustanovlenii predmeta ohrany ob'ekta kul'turnogo naslediya federal'nogo znacheniya «Nauchnyj gorodok fiziologa I.P. Pavlova na Koltushskoj vozvyshehnosti i Koltushskoe shosse (chast')», 1932-1937 gg., seredina XX veka po adresu: Leningradskaya oblast', Vsevolozhskij rajon, s. Pavlovo, g. Koltushi (ranee d. Koltushi i d. Staraya), d. Kolbino, d. Tokkari, d. Yanino-2, d. Suoranda, d. Hirvosti»] URL: https://lenobl.ru/media/npa/documents/2024/06/26/01-03-24-57__101925.pdf (date of application: 03/09/2024).

10. Koltushskoye urban settlement: official website. Historical information [Koltushskoe gorodskoe poselenie: oficial'nyj sayt. Istoricheskaya spravka] URL: <https://www.vseereg.ru/city/municipality/760/> (date of reference: 08.08.2024).

11. Filaretova L.P., Dyuzhikova N.A., Andreeva L.E. History of the first physiological institute in Russia - the Pavlov Institute of Physiology of the Russian Academy of Sciences [Istoriya pervogo fiziologicheskogo instituta Rossii - Instituta fiziologii im. I.P. Pavlova RAN]. Historical and biological studies. 2023. Vol. 15. No. 3. Pp. 8–50. (rus)

12. Stepanov A.V., Stepanova T.M. Constructivism in the Structure of the Architectural and Stylistic Identity of Yekaterinburg [Konstruktivizm v

strukture arkhitekturno-stilevoy aydentiki Yekaterinburga]. Academic Bulletin of UralNIIPROJECT RAASN, 2014. No. 2. Pp. 15–19. (rus)

13. Natural monument «Koltush heights» [Pamyatnik prirody «Koltushskie vysoty»] URL: <https://ooptlo.ru/oopt-koltushskie-vyisoty.html> (date of application: 08.16.2024).

14. Roshchupkina O.E., Perkova M.V. Landscapes as a factor of territory development [Landscape kak faktor razvitiya territorii] Sbornik dokladov Mezhdunarodnogo onlajn-kongressa «Fundamental'nye osnovy stroitel'nogo materialovedeniya». 2017. Pp. 1244–1252. (rus)

15. Filaretova L.P., Dyuzhikova N.A., Andreeva L.E., Vovenko E.P., Rybnikova E.A. History of the First Physiological Institute in Russia — the I.P. Pavlov Institute of Physiology of the Russian Academy of Sciences [Istoriya pervogo fiziologicheskogo instituta Rossii - Instituta fiziologii im. I.P. Pavlova RAN]. Historical and Biological Research. 2023. No. 3. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/istoriya-pervogo-fiziologicheskogo-instituta-rossii-instituta-fiziologii-im-i-p-pavlova-ran> (accessed: 28.08.2024). (rus)

16. Alexandrova E.L., Braudze M.M., Vysotskaya V.A., Petrova E.A. History of the Finnish Evangelical Lutheran Church of Ingria 400 years, 1611-2011. [Istoriya finskoy Evangelicheskoy luteranskoy tserkvi Ingermanlandii]. Saint Petersburg: Gyl, 2012. 398 p. (rus)

Information about the authors

Ladik, Elena I. PhD, Assistant Professor. E-mail: krushelnitskaya1@rambler.ru. Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University. Russia, 195251, St. Petersburg, st. Politekhnikeskaya, 29.

Perkova, Margarita V. Doctor of Architecture, Professor. E-mail: perkova.margo@mail.ru. Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University. Russia, 195251, St. Petersburg, st. Politekhnikeskaya, 29.

Sudarikova, Alexandra A. Graduate student. E-mail: sashasudarikova@yandex.ru. Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University. Russia, 195251, St. Petersburg, st. Politekhnikeskaya, 29.

Fursaeva, Elizaveta V. Graduate student. E-mail: fursik.01@mail.ru. Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University. Russia, 195251, St. Petersburg, st. Politekhnikeskaya, 29.

Netsvetaeva Olga V. Deputy Head. E-mail: netsvetaeva.ov@grtlo.ru. State Budgetary Institution "Urban Development of Territories of the Leningrad Region". Russia, 195197, St. Petersburg, Zamshina St., 6, office 45.

Received 17.10.2024

Для цитирования:

Ладик Е.И., Перькова М.В., Сударикова А.А., Фурсаева Е.В., Нецветаева О.В. Выявление идентичности территории достопримечательного места федерального значения «Колтушская возвышенность и Колтушское шоссе» в Ленинградской области // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2025. № 1. С. 30–40. DOI: 10.34031/2071-7318-2024-10-1-30-40

For citation:

Ladik E.I., Perkova M.V., Netsvetaeva O.V., Sudarikova A.A., Fursaeva E.V. Identification of the identity of the territory of a notable place of federal significance «Koltushskaya Upland and Koltushskoe Highway» in the Leningrad Region. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2025. No. 1. Pp. 30–40. DOI: 10.34031/2071-7318-2024-10-1-30-40

DOI: 10.34031/2071-7318-2024-10-1-41-54

¹Перькова М.В., ²Бобылев С.Ю., ^{1,*}Ладик Е.И., ¹Грачева А.А., ¹Щапов Д.В.¹Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого²ООО «Архитектурная мастерская С.Ю. Бобылева»

*E-mail: krushelnitskaya1@rambler.ru

ФОРМИРОВАНИЕ ЗЕЛЕННОГО КАРКАСА Г. КОЛТУШИ ЛЕНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ

Аннотация. На территории Ленинградской области расположены исторические поселения, которые имеют высокий историко-культурный потенциал, уникальные ландшафты и нуждаются в формировании особой градостроительной политики. К одной из таких относится территория г. Колтуши Всеволожского района Ленинградской области. Целью исследования является выявление природного ресурсного потенциала территории и разработка рекомендаций по формированию зеленого каркаса г. Колтуши Ленинградской области. Организация зеленого каркаса не только отвечает на запрос общества, но и является необходимым элементом для развития города. В исследовании выявлены и проанализированы особенности природно-ресурсного потенциала г. Колтуши, основными природными ядрами которого являются: особо охраняемая природная территория «Памятник природы «Колтушские высоты», территория Научного городка физиолога И.П. Павлова и лесопарки. «Зеленая» ткань города состоит из семи основных общественных пространств. Экологические связи города обеспечиваются через систему зеленых коридоров, которые соединяют экологические ядра и зеленую ткань. В отношении туристической составляющей в Колтушском поселении насчитывается 11 ключевых точек притяжения туристов. Также выявлены стагнирующие и неиспользуемые территории: лесопарки, парки, скверы, аллеи и прочие зеленые насаждения, которые представляют собой перспективные озелененные территории общего пользования. В результате SWOT – анализа выявлены слабые и сильные стороны природного ресурсного потенциала территории, возможности и угрозы. Разработаны предложения по формированию зеленого каркаса г. Колтуши, фокусирующиеся на сохранении уникального природного ландшафта, создании буферных зон для особо охраняемых природных территорий, формировании транспортного каркаса и функционального зонирования, оздоровлении жилой среды за счет выноса очистных сооружений из центра поселка и определении оптимальных параметров развития жилых зон. В ходе работы были выявлены новые функциональные зоны и детализированы существующие зоны в актуальном Генеральном плане.

Ключевые слова: природный ресурсный потенциал, зеленый каркас, генеральный план, «Колтушские высоты», уникальный природный ландшафт

Введение. На территории Ленинградской области расположены исторические поселения, которые имеют высокий историко-культурный потенциал, включают в себя уникальные ландшафты и нуждаются в формировании особой градостроительной политики [1]. К одной из таких территорий относится г. Колтуши Всеволожского района Ленинградской области. В 2023 г. Колтушское сельское поселение обрело статус города. «Научный городок физиолога И.П. Павлова на Колтушской возвышенности и Колтушское шоссе (часть)» получил статус достопримечательного места, особый статус объекта культурного наследия, который ставит территорию под государственную охрану [2]. Согласно Федеральному закону «Об объектах культурного наследия», Колтушская возвышенность, связанная с именем выдающегося физиолога И.П. Павлова, имеет статус достопримечательного места, этот статус влечет за собой ряд обязательств, направленных на сохранение и развитие данной территории, в том числе поддержание экологической устойчивости и баланса зеленого каркаса.

Новая нормативная ситуация меняет вектор развития территории и накладывает особую ответственность при градостроительном проектировании. Острее встает задача сохранения исторического и экологического наследия места, его уникального природного ландшафта – камовых плато, и поддержании экологической устойчивости системы. Возникает необходимость в создании зеленого планировочного каркаса территории.

Предметом охраны ОКН-Ф «Научный городок физиолога И.П. Павлова на Колтушской возвышенности и Колтушское шоссе (часть)» являются Колтушские высоты, характер камовых ландшафтов и компоненты объекта Всемирного наследия ЮНЕСКО «Исторический центр Санкт-Петербурга и связанные с ним группы памятников» на основе имеющихся документов [3–6].

Анализ документации выявил преобладание фактического использования территорий и интересов землевладельцев и застройщиков при недостаточном учете принципов гармоничного градо-

строительного развития [7]. Отмечается отсутствие единого концепта «зеленого каркаса», а также недостаточное количество предложений по сохранению уникальных природных ландшафтов. Кроме того, значительное антропогенное воздействие обусловлено интенсивной урбанизацией.

При подготовке Генерального плана муниципального образования, согласно Градостроительному кодексу, отсутствует требование по выделению и отображению «зеленого каркаса» в качестве отдельного документа. В составе функциональных зон Генерального плана присутствуют отдельные категории, связанные с рекреацией, зелеными насаждениями общего пользования, санитарно-защитными зонами, но создание «единого зеленого каркаса» должно рассматриваться комплексно и системно [8]. Это накладывает дополнительные обязательства по сохранению и развитию территории, включая поддержание экологического равновесия зеленого каркаса. Проблема формирования устойчивых городских территорий охватывает все жизненные циклы культурных ландшафтов, учитывает многофункциональное назначение системы городского планирования, а также правовые, социальные и экологические компоненты, регулирующие ее развитие. В условиях нарастающего воздействия техногенных факторов важно сохранить баланс между естественными и искусственными компонентами среды, обеспечивая ее экологическую устойчивость [9]. Таким образом, актуальность данного исследования обусловлена необходимостью решения проблем деградации природных территорий и утраты биологического разнообразия. Укрепление и дальнейшее формирование природно-экологического каркаса на Колтушской возвышенности позволит создать условия для улучшения экологической обстановки территории [10]. В результате активных процессов урбанизации территории, в г. Колтуши необходима адаптация городских пространств к растущему числу жителей и туристов при одновременном развитии и поддержании устойчивости территории в целом и в частности укреплении зеленого каркаса. Туристическая деятельность в границах достопримечательного места может рассматриваться как функциональная основа для планировочных преобразований или перспективная «градобразующая база» г. Колтуши [11]. Основополагающим в реализации устойчивости развития выступает достижение стратегического баланса между деятельностью человека и сохранением экологического равновесия.

Целью работы является выявление природного ресурсного потенциала территории и разработка рекомендаций по формированию зеленого каркаса г. Колтуши Ленинградской области.

Объект исследования – территория г. Колтуши Ленинградской области в границах достопримечательного места «Колтушские высоты и Колтушское шоссе».

Материалы и методы. Современное городское землепользование характеризуется высокой степенью изменения природно-территориального комплекса. В связи с этим решение проблемы устойчивого развития целесообразно на основе комплексного подхода и анализа данных. В исследовании используется качественная оценка территории и проблемный анализ. Для анализа существующей ситуации были использованы документы территориального планирования Колтуши Ленинградской области, а также авторские результаты обследования озелененных территорий различного назначения с фотофиксацией. Аналитическая основа исследования базируется на текущих градостроительных документах [2, 4, 5–7].

Основная часть. Понятие «зеленый каркас» основывается на экологическом состоянии территории, ее природных особенностях. Это целостная система зеленых пространств различного функционального назначения, которая обеспечивает экологическую стабильность территории, формирует комфортную и безопасную среду проживания, способствует сохранению и восстановлению природных экосистем. Наполнение зеленого каркаса зависит от существующей локальной ситуации: окружающих функциональных зон, транспортной системы, объектов социальной инфраструктуры, культуры, истории и идентичности места. Благодаря созданию зеленой системы реализуются экологические, рекреационные, эстетические и средообразующие функции. «Зеленый каркас» не является самостоятельной функциональной зоной в Генеральном плане, однако идея каркаса закладывается на этапе его разработки и отражается в регламентах освоения территории [12, 13]. Зеленый каркас обеспечивает проникающие связи, которые оказывают воздействие на всю городскую структуру, поэтому возникает необходимость комплексной оценки территории и выработки стратегии, учитывающей все факторы, влияющие на его формирование.

Говоря о структурных элементах экологического каркаса, в первую очередь стоит выделить природные ядра, которые являются основой и представляют собой самодостаточные крупные зелёные пространства на территории города. Су-

ществуют и другие территории – меньшего размера и значения – площадные элементы, а также линейные элементы – экологические коридоры, которые формируют непрерывную систему озеленения на всей территории города. На территории выделяются ключевые элементы, которые могут стать «точками экологической активности» и сыграть важную роль в поддержании биоразнообразия и вопросах охраны природы.

Формирование зеленого каркаса не только отвечает на запрос общества, но и является необходимым элементом для развития города. Сам термин «каркас» в наши дни понимается как внутренняя несущая конструкция структуры ГПК [14]. Каркас может работать как основа для совместного развития других функций города. Важной составляющей в такой ситуации становится наличие особо охраняемых природных территорий (ООПТ). Однако, существует ряд проблем, влияющих на уникальные природные ландшафты территорий г. Колтуши. Примерами достаточно активного антропогенного воздействия являются: интенсивная урбанизация вблизи памятников природы, нарушение ландшафтов при новом жилищном строительстве, механическое воздействие на рельеф местности. Также были выявлены заброшенные придорожные пустыри, которые потенциально могут быть использованы

как резервные территории для создания зеленых зон. Рассмотрим природный ресурсный потенциал исследуемой территории.

Исторический обзор. Ландшафт территории Колтушской возвышенности сформировался более 12 тысяч лет назад в послеледниковое время. Ландшафт характеризовался чередованием песчаных холмов (камов) с ложбинами и котловинами, часть из которых была занята небольшими болотами и озёрами. Такой уникальный природный комплекс создал особые условия для биологического разнообразия флоры и фауны. Изначально микроклимат Колтушской возвышенности не способствовал развитию древесной растительности, поэтому леса на этой территории отсутствовали. В 1930-1940 годах была произведена искусственная посадка сосны веймутовой, сибирской лиственницы и широколиственных пород деревьев, что способствовало значительному обогащению местного ландшафта. Сегодня территория Колтушских высот включена в список объектов особо охраняемых природных территорий (ООПТ) и находится под защитой ЮНЕСКО. Здесь функционирует шесть экологических маршрутов. Каждый из маршрутов способствует повышению экологической осведомленности и пропаганде значимости сохранения природных комплексов (рис. 1).



Рис. 1. Ретроспективный анализ. Материалы презентации по предпроектному анализу территории г. Колтуши.

Сост. А.А. Грачева, Е.В. Фалалеева, Д.В. Шапов, А.В. Кожусь

Проведен поуровневый анализ территории, начиная с макроуровня – Всеволожского муниципального района. Район занимает площадь около 3 036 кв. км и граничит с Санкт-Петербур-

гом. В его состав входят лесные массивы, охраняемые природные территории, включая заказник и четыре объекта особо охраняемых природных территорий (ООПТ):

- ООПТ регионального значения «Государственный природный заказник «Коккоревский»;
- ООПТ регионального значения «Памятник природы «Колтушские высоты»;
- Заказник «Государственный природный парк «Токсовский»;
- ООПТ регионального значения «Памятник природы «Токсовские высоты»;
- ООПТ местного значения «Охраняемый природный ландшафт озера Вероярви» [15] (рис. 2).

Особо охраняемая природная территория «Памятник природы «Колтушские высоты» расположена во Всеволожском муниципальном районе Ленинградской области на территории муниципальных образований Колтушское городское поселение, Заневское городское поселение, Всеволожское городское поселение, южнее города Всеволожск, севернее деревень Хирвосты, города Колтуши и поселка Воейково [16]. Максимальная высота Колтушских высот 78 м. Территория памятника природы занимает северную часть Колтушской возвышенности и имеет площадь 1211 га. Территория включает три участка. Колтушская возвышенность относится к камовым

плато – одной из редко встречающихся разновидностей озерно-ледникового камового рельефа. Ландшафт территории сформировался в послеледниковое время и представлен чередованием песчаных холмов (камов) с ложбинами и котловинами. Часть ложбин и котловин занята небольшими болотами и шестью озёрами, наиболее крупными из которых являются 1-е и 2-е Ждановские. Наиболее крупный торфяник расположен южнее озера 3-е Токкаревское. На вершинах и склонах холмов сохранились таёжные хвойные леса возрастом более 100 лет. Ельники преобладают к востоку от шоссе Всеволожск-Колтуши, а сосняки к западу от него. Встречаются на территории широколиственные породы клёна, дуба и лещина. Северо-восточная и восточная части памятника природы имеют равнинный рельеф и почти полностью покрыты сосновыми борами, ельниками и смешанными лесами с обилием берёзы. Уникальность биологического разнообразия Колтушских высот заключается в том, что на 1 км² произрастает более 500 видов растений. Выявлено нахождение более 110 видов птиц.

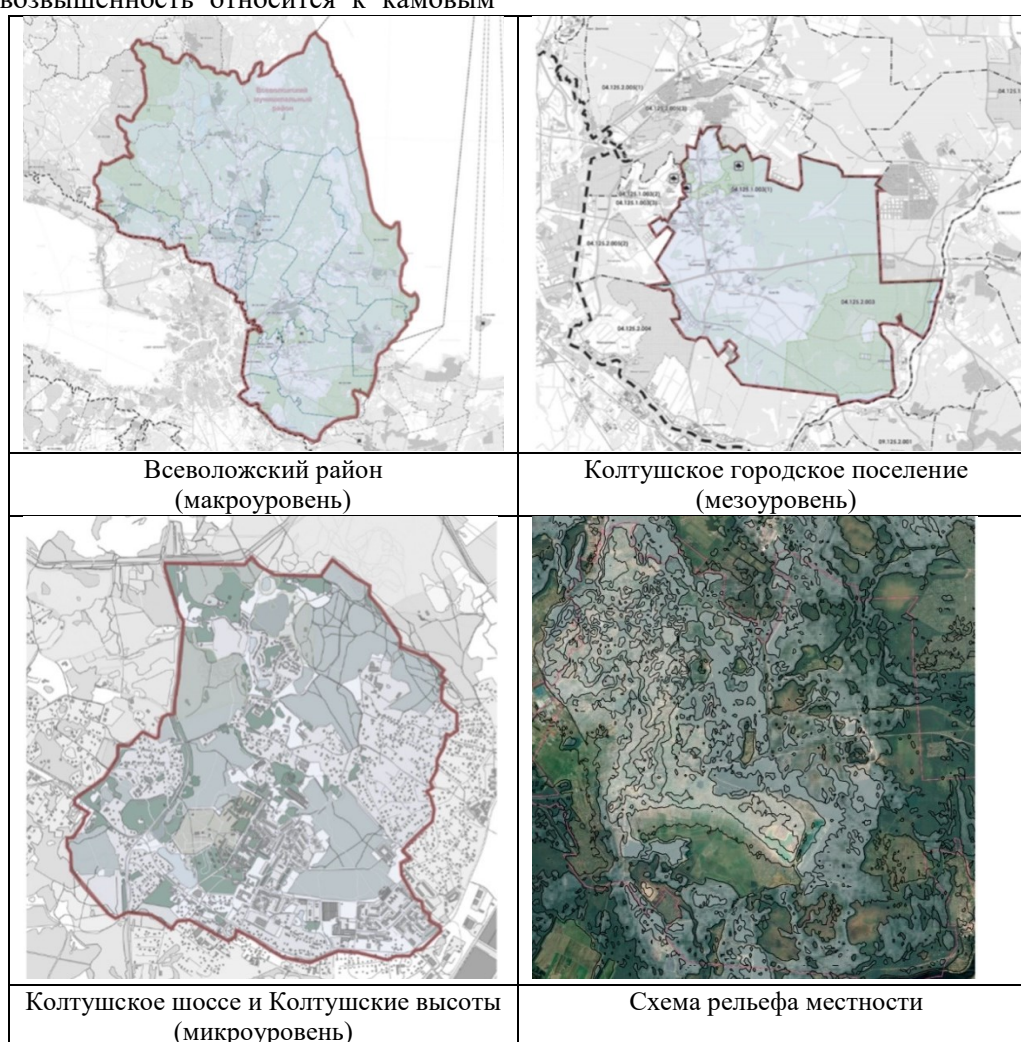


Рис. 2. Местоположение и рельеф исследуемой территории. Материалы презентации по предпроектному анализу территории г. Колтуши. Сост. А.А. Грачева, Е.В. Фалалеева, Д.В. Щапов, А.В. Кожусь

К основным градостроительным ограничениям относятся границы территорий ООПТ «Памятник природы регионального значения «Колтушские высоты», граница достопримечательного места «Научный городок физиолога И.П. Павлова на Колтушской возвышенности и Колтушское шоссе (часть)», защитные зоны объектов культурного наследия, охранный зона трубопровода, охранные зоны объектов энергетики. Всеволожский район, граничащий с Санкт-Петербургом, испытывает значительные изменения, вызванные высоким уровнем урбанизации. Близость к большому мегаполису приводит к оттоку населения из центра города в пригородные районы, что, в свою очередь, способствует демографическому росту на прилегающих территориях, таких как Колтушское поселение.

В настоящее время в Колтушском поселении наблюдается масштабное строительство многоэтажных жилых комплексов. Эта тенденция несет в себе угрозу для уникальных природных ландшафтов района. Разрастание городской застройки может привести к разрушению уникальных экосистем, утрате биоразнообразия и созданию неблагоприятной среды. В рамках предпроектного анализа было проведено исследование существующего природного ресурсного потенциала с целью формирования единого «зеленого каркаса», который свяжет все рекреационные и прочие зеленые территории в единую систему и будет способствовать созданию устойчивой среды. На текущий момент лесопарковые территории занимают 62,5 гектара, что соответствует существующим нормам. Однако перспективы развития поселения, основанные на демографических прогнозах и планах городского развития, указывают на необходимость расширения озелененных территорий. Оптимистичный сценарий предполагает значительное увеличение населения и, соответственно, потребности в рекреационных и озелененных зонах. Это подчеркивает важность планирования и реализации мер по улучшению зеленого каркаса и инфраструктуры для поддержания биоразнообразия и экологической устойчивости. В связи с этим необходимо увеличение площади озелененных территорий. Это не только улучшит экологическое состояние, но и создаст новые возможности для отдыха и туризма.

В основе зеленого каркаса лежат существующие главные зеленые ядра: особо охраняемые природные территории «Колтушских высот» и территория Научного городка физиолога И.П. Павлова, лесопарки. На ООПТ предполагается минимальная антропогенная нагрузка, акцент делается на максимальное сохранение существующего экологического и исторического состояния.

Первостепенным мероприятием является снижение антропогенных нагрузок с этой территории. Экологические ядра – это ключевые зоны, которые играют важную роль в поддержании экологической устойчивости и биоразнообразия региона. Они составляют основу для поддержания жизнедеятельности местных экосистем и обеспечивают жизненно необходимые услуги как для природы, так и для человека. Ядра обеспечивают не только сохранность природных ресурсов, но и поддерживают экологическое равновесие, что критически важно в условиях урбанизированной среды и играют роль в образовании и воспитании экологической культуры среди населения, предоставляя возможности для экологического туризма и отдыха. «Зеленая» ткань города состоит из семи основных общественных пространств, которые включают городские парки, скверы и бульвары. Эти зоны не только улучшают экологическую ситуацию, но и служат важными социальными и рекреационными центрами для жителей и гостей города. Экологические связи города обеспечиваются через систему зеленых коридоров, которые соединяют различные экологические ядра и зеленую ткань. Эти коридоры позволяют животным перемещаться между различными биотопами без риска для жизни, а также способствуют распространению растений и поддержанию экологического равновесия. Эта сложная и взаимосвязанная структура природного каркаса играет важнейшую роль в поддержании устойчивости экосистемы (рис. 3). В отношении туристической составляющей в Колтушском поселении насчитывается 11 ключевых точек притяжения туристов, включая музеи, исторические памятники, экологические тропы и видовые площадки, которые привлекают посетителей своей уникальностью и красотой. Однако на данный момент существуют стихийно образованные рекреационные территории. В связи с этим встает вопрос о правильной организации процессов общественного использования зеленых территорий и обозначения этого в регулирующих документах [7]. Также выявлены стагнирующие и неиспользуемые территории: лесопарки, парки, скверы, аллеи и прочие древесные посадки, которые представляют собой перспективные озелененные территории общего пользования (рис. 4).

В результате SWOT – анализа выявлены слабые стороны природного ресурсного потенциала территории:

- ограниченная защита (не вся территория имеет статус ООПТ);
- отсутствие непрерывности элементов природного каркаса на территории населенного пункта в целом (парки, скверы, бульвары и т.д.);

- недостаточное количество ядер природного каркаса;
- экологические риски (негативного воздействия антропогенной нагрузки);
- недостаток финансирования (возможные трудности с привлечением средств для укрепления и дальнейшего формирования зеленого каркаса);

Выявленные угрозы включают:

- открытые камовые холмы находятся под влиянием высокой антропогенной нагрузки и урбанизации территории, что может привести к утрате уникального природного ландшафта;
- присутствует риск утраты имеющегося биоразнообразия из-за стихийно организованных трасс для езды на квадроциклах, мотоциклах, автомобилях и других транспортных средствах;
- экологическое загрязнение – возможное ухудшение экологической ситуации при активных процессах урбанизации и промышленной деятельности.

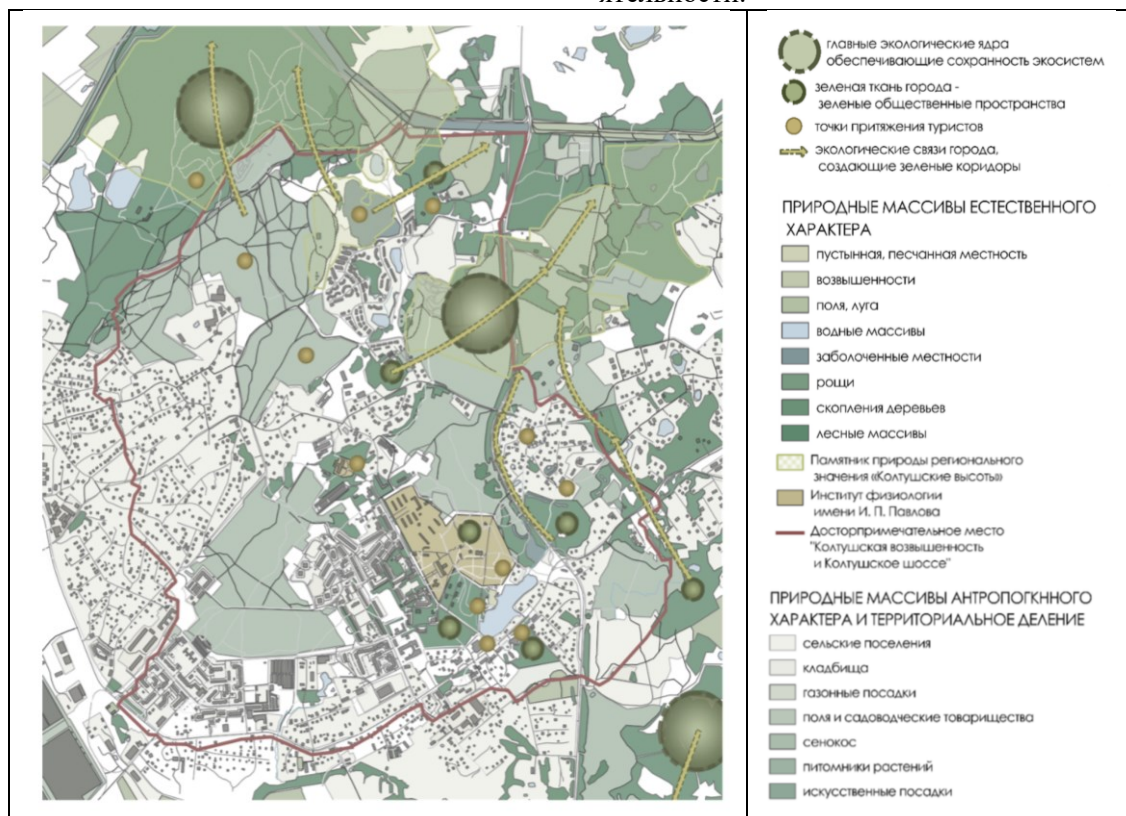


Рис. 3. Анализ существующего природного ресурсного потенциала территории. Материалы презентации по предпроектному анализу территории г. Колтуши. Сост. А.А. Грачева, Е.В. Фалалеева, Д.В. Щапов, А.В. Кожусь. Руководители М.В. Перькова, Е.И. Ладик

Для обеспечения комплексной работы по формированию зеленого каркаса города предлагается ряд мероприятий:

1. Разработка сценариев сохранения уникального камового ландшафта и укрепления экологического каркаса разного масштаба (от глобальных и долгосрочных идей до быстрореализуемых, требующих минимальных затрат и времени).
2. Разработка экологических, культурно-познавательных, спортивных, рекреационных, событийных организованных туристических маршрутов.
3. Рациональное распределение рекреационной нагрузки на озелененные территории и ее снижение в границах уникальных ландшафтов.

4. Формирование новых экологических ядер, экологических коридоров, площадных и точечных элементов на основе имеющегося ресурсного потенциала.

5. Интеграция технологий для сохранения биоразнообразия и поддержания стабильности экосистем.

6. Многоуровневый комплексный подход: максимальное сохранение существующих природных комплексов и внедрение природных компонентов в различные элементы планировочной структуры (улицы, общественные пространства, парковые зоны, улично-дорожная сеть).

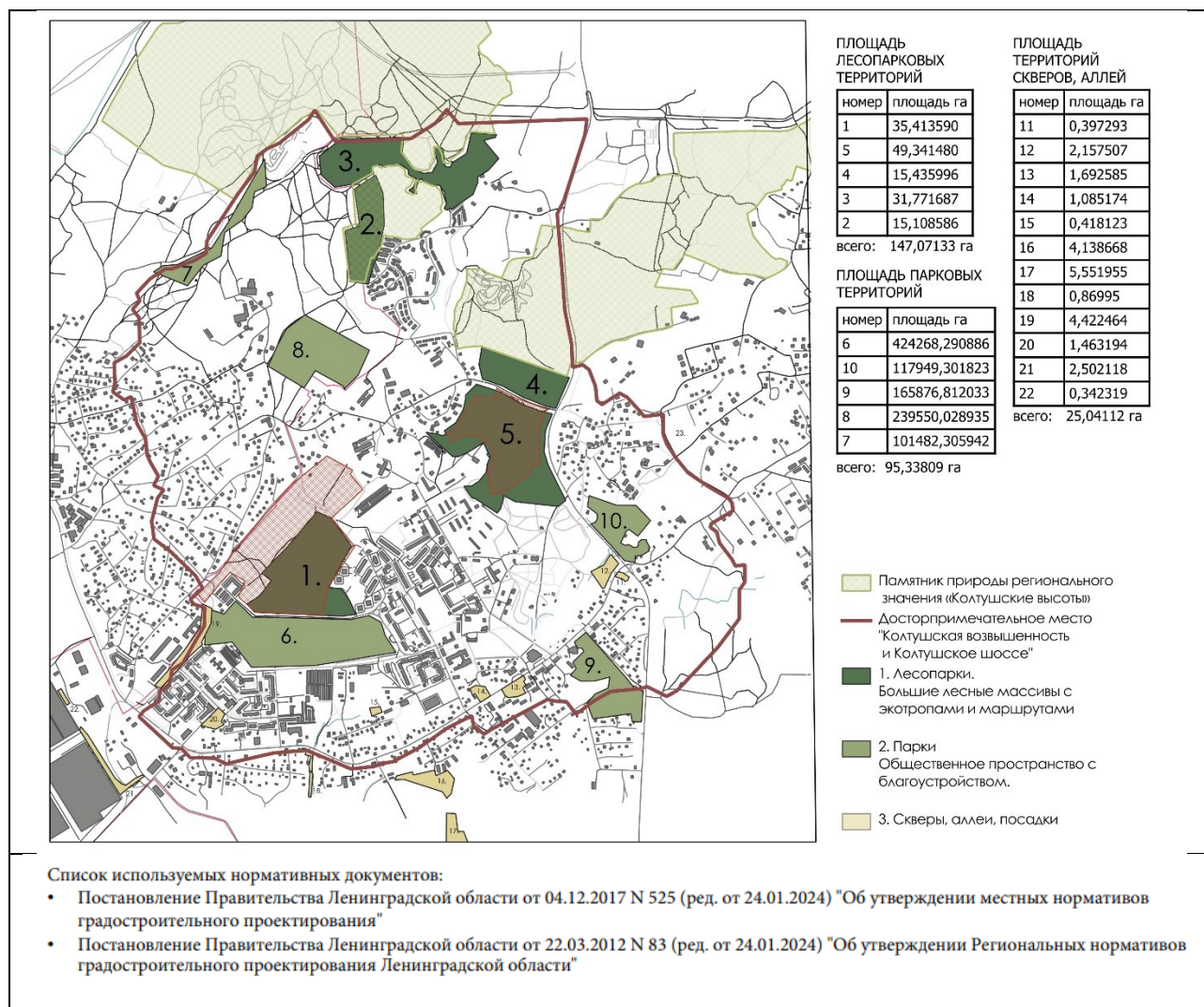


Рис. 4. Выявление перспективных озелененных территории общего пользования Материалы презентации по предпроектному анализу территории г. Колтуши. Сост. А.А. Грачева, Е.В. Фалалеева, Д.В. Щапов, А.В. Кожусь. Руководители С.Ю. Бобылев, К.В. Козлов

На основе анализа актуальной документации, натурных обследований территории и опроса сотрудников института Павлова, были разработаны предложения по градостроительному развитию, фокусирующиеся на сохранении уникального природного ландшафта, создании буферных зон для особо охраняемых природных территорий, формировании транспортного каркаса и функционального зонирования, оздоровления жилой среды за счет выноса очистных сооружений из центра города, определении оптимальных параметров развития жилых зон. Предложены новые функциональные зоны, транспортная сеть, учитывающая возможности новой застройки и развития города. Новые жилые зоны должны быть отрегулированы по этажности, плотности и типологии застройки, чтобы ограничить техногенное воздействие на окружающую среду и способствовать гармоничному взаимодействию различных функций с целью формирования комфортной среды для жителей. На месте

очистных сооружений института Павлова, которые потеряют свое значение после подключения института к централизованному водоснабжению и водоотведению, предлагается разместить объекты социальной инфраструктуры, необходимые для города – школу и детский сад. На основе существующего состояния застройки вдоль Колтушского шоссе была детализирована зона деловой застройки с целью предотвращения стихийной, разрозненной застройки, которая приводит к конфликту функций и нарушению целостности среды. Вместо этого предлагается сформировать единую, упорядоченную территорию деловой застройки, четко соответствующую своему назначению. Важно, чтобы эта зона была связана общим дизайн-кодом, гармонично вписываясь в градостроительный ансамбль Колтушей. Вблизи ООПТ предлагается создание буферной зоны с ограниченной застройкой с целью снижения антропогенного воздействия и предотвращения разрушения уникальных природных ландшафтов (рис. 5).

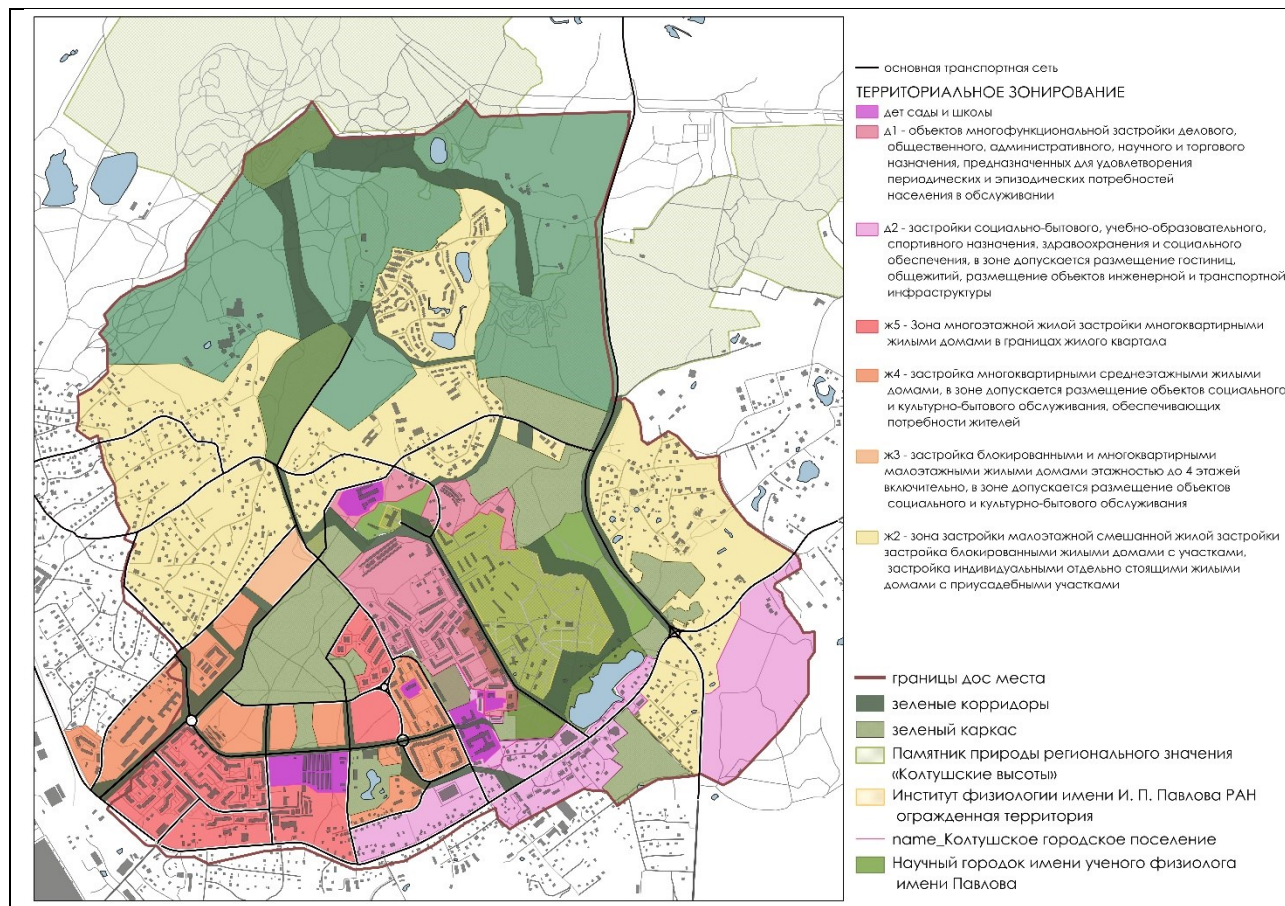


Рис. 5. Генеральный план достопримечательного места. Материалы презентации по предпроектному анализу территории г. Колтуши. Сост. А.А. Грачева, Е.В. Фалалеева, Д.В. Щапов, А.В. Кожусь.

Руководители С.Ю. Бобылев, К.В. Козлов

Формирование единого «зеленого каркаса», который свяжет все рекреационные и прочие зеленые территории в единую систему, будет способствовать созданию устойчивой среды. В основе зеленого каркаса лежат существующие зеленые ядра – особо охраняемые природные территории «Колтушских высот» и Научный городок физиолога И.П. Павлова. Однако эти зоны находятся под охраной и имеют ограниченный режим использования, не могут служить общественной функции и обеспечивать постоянные запросы жителей. Эти места являются экологически исторически и культурно уникальными, поэтому задача сохранить их в естественном состоянии и уменьшить постоянно возрастающую антропогенную нагрузку становится первостепенной. Из-за этого возникает потребность в создании территорий зеленых насаждений общего пользования [8].

На данный момент существуют стихийно образованные рекреационные территории, встает вопрос о рациональной организации процессов общественного использования зеленых территорий и обозначения этого в градостроительной документации [7]. Разработанный план зеленого каркаса включает предложение по использованию стагнирующих территорий и стихийно образованного озеленения в качестве рекреационной

среды, что повысит качество жизни горожан и инвестиционную привлекательность места с учетом возможности создания жилья высокого класса и развития туризма. Предлагаемый зеленый каркас опирается на существующую и проектируемую дорожную сеть с учетом возможности новой застройки и расширения транспортных связей. Все озелененные территории связаны экологическими коридорами, создавая единую замкнутую систему, что обеспечивает устойчивость экосистемы, улучшение экологической среды и комфорт передвижения жителей в системе рекреации, не нанося ущерба экологии. Формирование разнообразных по конфигурации экологических коридоров соответствует идее уникальности места и создает для посетителей увлекательные, запоминающиеся маршруты с множеством видовых точек.

Создание непрерывного зеленого каркаса и включение в него всех рекреационных пространств территории является важнейшим аспектом [17, 18] формирования качественной устойчивой городской среды:

1) позволяет создать целостную, взаимосвязанную систему озелененных и благоустроенных общественных пространств, обеспечивающую непрерывные пешеходные и велосипедные связи;

2) обеспечить непрерывную сеть зеленых насаждений, тем самым повысив устойчивость природных комплексов;

3) способствовать сохранению биоразнообразия и экологического состояния среды обитания, упростить миграцию животных и улучшить циркуляцию воздуха;

4) обеспечить доступность рекреационных возможностей для жителей, создать условия для здорового образа жизни и гармоничного развития городской среды.

Для дальнейшей более детальной разработки «зеленый каркас» был разделен по 3 уровням в соответствии с размером и функциональным назначением рекреационных пространств, формирующих его:

1 уровень – леса, ООПТ, лесопарки и территория института физиолога И.П. Павлова. При этом акцент делается на максимальное сохранение существующего экологического и исторического состояния и его укрепления. Снижение антропогенных нагрузок на данные территории осуществляется путем снижения антропогенной нагрузки на территорию.

2 уровень – зеленые насаждения общего пользования. Пространство полезное для горожан. На данном уровне предполагается максимальная антропогенная нагрузка на территории. На этом уровне должны быть максимально обеспечены возможности для реализации потребностей потребителя: социальные, спортивные, культурные, эстетические, рекреационные. Именно пространства этого типа создадут высокий уровень жизни населения и будут максимально интегрированы в ткань города.

3 уровень – зеленые коридоры. Создают связность территории для экологической устойчивости и непрерывности «зеленого» каркаса. Могут быть представлены в будущем аллеями, посадками, озелененными профилями улиц [19]. В основном выполняют транзитную функцию (рис. 6, 7).

В процессе рекомендаций по формированию «зеленого каркаса» г. Колтуши Ленинградской области были учтены местные нормативы городского планирования, включая количество лесопарков, лугопарков, садов и городских парков на человека. На текущий момент на территории проживает более 20 тыс. человек. Согласно демографическому прогнозу, предусмотрены три сценария развития населения: оптимистичный сценарий, инерционный сценарий и пессимистичный сценарий. Учитывая тенденции миграционных потоков, деурбанизации и близость к Санкт-Петербургу, оптимистичный сценарий, при котором к 2035 году численность населения Колтушского поселения достигнет 26 тысяч человек, а к 2045 году увеличится до 35 тысяч, является наиболее вероятным сценарием для планирования рекреационных территорий. Данный сценарий развития предполагает увеличение потребностей в инфраструктуре и услугах, а также в рекреационных зонах. На основе этих данных были рассчитаны необходимые площади озеленения:

- Для 2023 года требуется 44,1 гектара озеленения.
- Для 2035 года – 57 гектаров.
- Для 2045 года – 77,3 гектара.

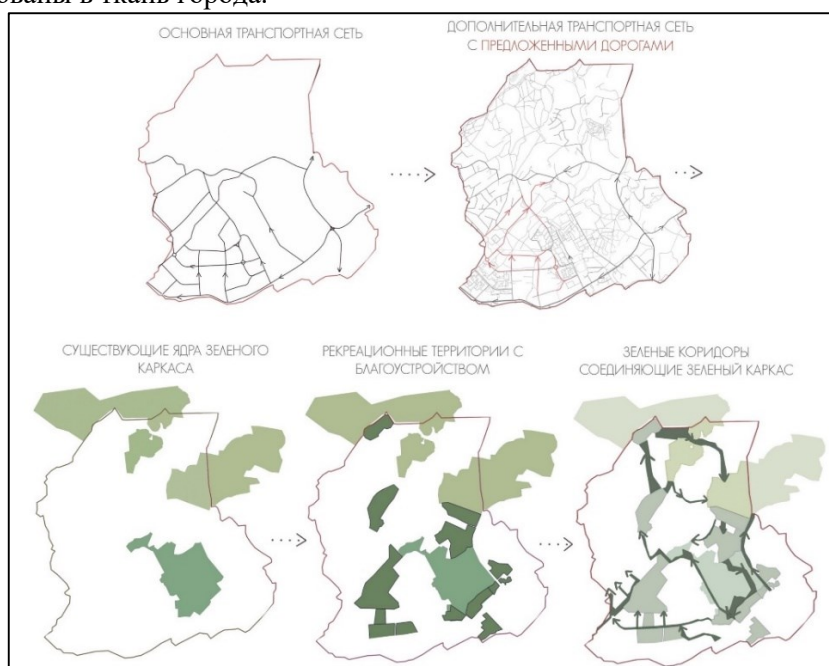


Рис. 6. Формирование непрерывного зеленого каркаса территории. Материалы презентации по предпроектному анализу территории г. Колтуши. Сост. А.А. Грачева, Е.В. Фалалеева, Д.В. Щапов, А.В. Кожусь. Руководители С.Ю. Бобылев, К.В. Козлов

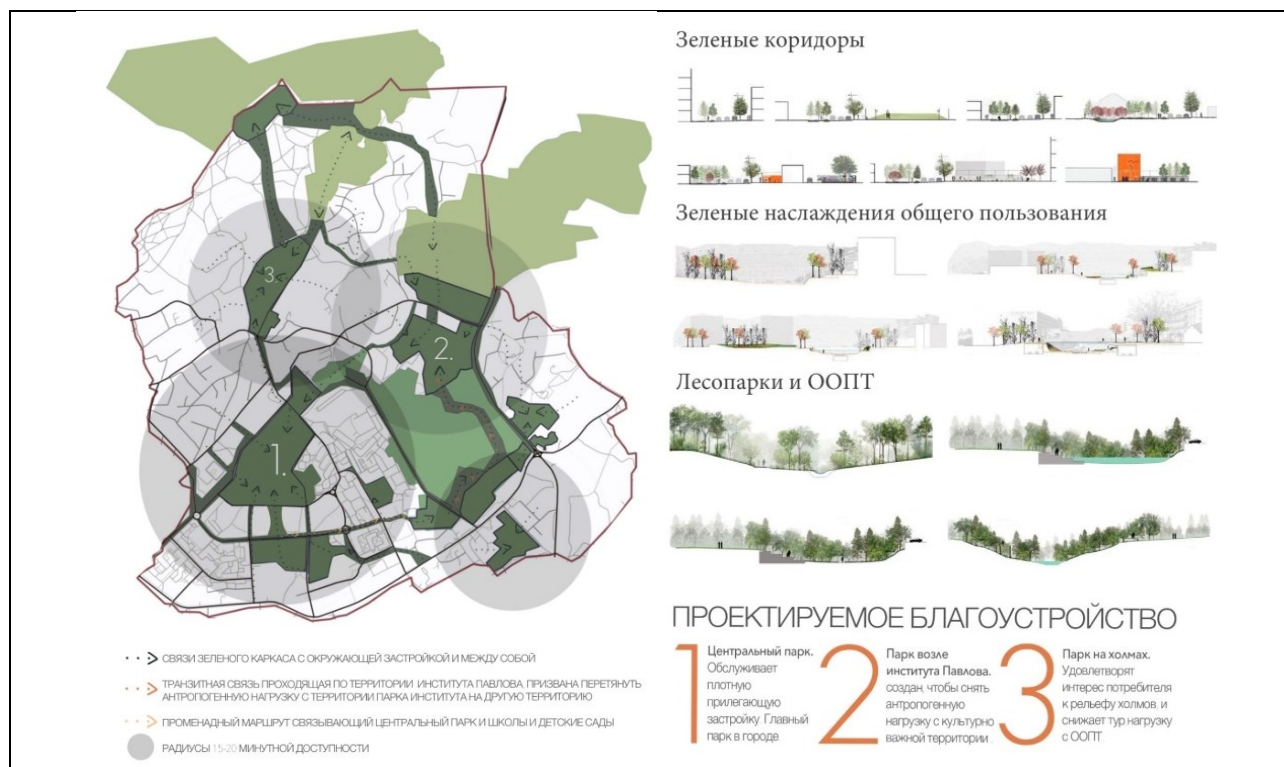


Рис. 7. Поуровневое разделение зеленого каркаса. Материалы презентации по предпроектному анализу территории г. Колтуши. Сост. А.А. Грачева, Е.В. Фалалеева, Д.В. Щапов, А.В. Кожусь .

Руководители С.Ю. Бобылев, К.В. Козлов

Выделено 3 территории, наиболее перспективных для создания общественных рекреационных зон.

1. Центральный Парк: главный парк в городе, событийная площадка. Находится в центре плотной застройки и имеет высокий трафик.

2. Парк близ института Павлова. Снимает часть антропогенной нагрузки с охраняемой территории института Павлова.

3. Парк на холмах. Удовлетворяет интерес потребителя к уникальным природным ландшафтам, не затрагивая территорию ООПТ, является буферной зоной (рис. 7).

Предложение по формированию зеленого каркаса на следующем этапе предполагает проект благоустройства трех перспективных территорий. Непрерывный зеленый каркас создает возможность для формирования комплексного сценария, объединяющего главные рекреационные зоны, что позволит не только подчеркнуть уникальность места, но и отразит его глубокую связь с институтом Павлова.

Выводы. В исследовании выявлены и проанализированы особенности природного ресурсного потенциала г. Колтуши, основными природными ядрами которого являются особо охраняемая природная территории «Памятник природы «Колтушские высоты», территория Научного городка физиолога И.П. Павлова, лесопарки. «Выявлены стагнирующие и неиспользуемые территории: лесопарки, парки, скверы, аллеи и прочие

древесные посадки, которые представляют собой перспективные озелененные территории общего пользования. В результате SWOT – анализа выявлены слабые и сильные стороны природного ресурсного потенциала территории, возможности и угрозы.

Разработаны предложения по формированию зеленого каркаса г. Колтуши, фокусирующиеся на сохранении уникального природного ландшафта, создании буферных зон для особо охраняемых природных территорий, формировании транспортного каркаса, функциональное зонирование и оздоровление жилой среды за счет выноса очистных сооружений из центра поселка и определение оптимальных параметров развития жилых зон. В ходе работы были выявлены новые функциональные зоны. Целью формирования зеленого каркаса достопримечательного места становится непрерывная связанная структура, которая является экологически устойчивой и обеспечивает все необходимые запросы горожан. Для дальнейшей более детальной разработки каркас был разделен по 3 уровням в соответствии с размером и функционалом рекреационных пространств, формирующих его: 1 уровень – леса ООПТ, лесопарки и территория института физиолога И.П. Павлова; 2 уровень – зеленые насаждения общего пользования; 3 уровень – зеленые коридоры, которые создают связность территории и представлены аллеями, по-

садками, озелененными профилями улиц и променадами. Выделено 3 наиболее перспективные территории для создания новых общественных рекреационных зон.

Статус «достопримечательное место» части территории значительно повлияет на градостроительную политику при подготовке новой редакции документов территориального планирования и градостроительного зонирования, в том числе на формирование функциональных зон и регламентов территориальных зон. Баланс территорий, структура улично-дорожной сети и регламенты застройки должны учитывать формирование «зеленого каркаса» как основного структурного элемента муниципального образования, градостроительные особенности и идентичность среды местности.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Лутченко С.И. Территориально-планировочная организация туристской инфраструктуры Ленинградской области: дис. канд. арх наук: 2.1.13. Санкт-Петербург, 2023. 266 с.
2. Приказ Администрации Ленинградской области Комитета по сохранению Культурного наследия Ленинградской области от 26.06.2024 № 01-03/24-57 «Об установлении предмета охраны объекта культурного наследия федерального значения «Научный городок физиолога И.П. Павлова на Колтушской возвышенности и Колтушское шоссе (часть)».
3. Сведения из Единого государственного реестра объектов культурного наследия (памятников истории и культуры) народов Российской Федерации. URL: <https://opendata.mkrf.ru/opendata/7705851331-egrkn/46/65f6b933f317c420fee8b37da19cd7fac4c1988de64c96868a75cc787dd3f390> (дата обращения – 24.08.2024).
4. Приложение к приказу Комитета по сохранению культурного наследия ЛО от 26.06.2024 года № 01-03/24-57 «Об установлении предмета охраны объекта культурного наследия федерального значения «Научный городок физиолога И.П. Павлова на Колтушской возвышенности и Колтушское шоссе (часть)», 1932 – 1937 гг., середина XX века по адресу: Ленинградская область, Всеволожский район, с. Павлово, г. Колтуши (ранее д. Колтуши и д. Старая), д. Колбино, д. Токкари, д. Янино-2, д. Суоранда, д. Хирвосты". URL: <https://base.garant.ru/409249634/8b7b3c1c76e91f88d33c08b3736aa67a/> (дата обращения – 24.08.2024).
5. Колтушские высоты (Кадастровое дело № 117). Паспорт памятника природы регионального значения «Колтушские высоты». URL: <https://kpr.lenobl.ru/ru/deiatelnost/organizaciya-i-funkcionirovanie-osobo-ohranyaemyh-prirodnih-territorij/perechen-osobo-ohranyaemyh-prirodnih-territorij-oopt-regionalnogo-i-20/koltushskie-vysoty-kadaстровое-delo-117/> (дата обращения – 05.08.2024).
6. Исторический центр Санкт-Петербурга и связанные с ним группы памятников. URL: <https://whc.unesco.org/en/list/540/maps/> (дата обращения – 05.08.2024).
7. Приказ комитета градостроительной политики Ленинградской области от 14 июня 2024 года № 96 «Об уточнении Правил землепользования и застройки муниципального образования Колтушское сельское поселение Всеволожского муниципального района Ленинградской области».
8. Бобылев С.Ю., Грачева А.А. «Зеленый каркас» как основной элемент устойчивого развития планировочной структуры на примере перспективного развития Колтушского городского поселения // Колтуши – территория новых идей: сборник материалов Всероссийской научно-практической конференции, 8 июня – 10 июля 2024 г., г. Колтуши, Ленинградская область. СПб.: ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2024. С. 69–74.
9. Рощупкина О.Е. Перькова М.В. Ландшафты как фактор развития территории // Фундаментальные основы строительного материаловедения: Сборник докладов Международного онлайн-конгресса, Белгород, 06–11 октября 2017 года. Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2017. С. 1244–1252.
10. Ладик Е.И., Перькова М.В., Фалалеева Е.В., Кожусь А.В. К вопросу о формировании природно-экологического каркаса г. Колтуши Ленинградской области // Колтуши – территория новых идей: сборник материалов Всероссийской научно-практической конференции, 8 июня – 10 июля 2024 г., г. Колтуши, Ленинградская область. СПб.: ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2024. С. 63–68.
11. Янковская Ю.С., Лутченко С.И. Градостроительные подходы к формированию туристской инфраструктуры // Архитектура и строительство России. 2024. № 1(249). С. 58–63.
12. Постановление Правительства Ленинградской области от 28.12.2018 № 523 «Об утверждении изменений в Генеральный план муниципального образования «Колтушское сельское поселение» Всеволожского муниципального района Ленинградской области».
13. Градостроительный кодекс Российской Федерации от 29.12.2004 N 190-ФЗ. URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_51040 (дата обращения – 05.08.2024).
14. Жильцова О.К. Современное понятие «Городской природный каркас». Его развитие и

осмысление // Инновации и инвестиции. 2023. № 2. С. 150–154

15. Особо охраняемые природные территории, Экомаршруты, туристские маршруты // [URL: <https://ecportal-vsev.ru/> (дата обращения – 05.08.2024).

16. Памятник природы «Колтушские высоты» [Электронный ресурс]. URL: <https://ooptlo.ru/oopt-koltushskie-vyisoty.html> (дата обращения – 05.08.2024).

17. Перькова М.В., Ладик Е.И. Формирование рекреационных зон на нарушенных территориях // Синергия наук. 2017. № 16. С. 427–436. URL: <http://synergy-journal.ru/archive/article1073> (дата обращения – 05.08.2024).

18. Горохов В.А. Зеленая природа города. М.: Архитектура – С, 2005. 528 с.

19. Вергунов А.П. Архитектурно-ландшафтная организация озелененных пространств в городских центрах: учебное пособие. М., 1986. 126 с.

Информация об авторах

Перькова Маргарита Викторовна, доктор архитектуры, доцент, советник РААСН, директор 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.

Бобылев Сергей Юрьевич, Вице-президент Санкт-Петербургского отделения Союза Архитекторов России, генеральный директор ООО «Архитектурная мастерская С.Ю. Бобылева». E-mail: bob3107@yandex.ru. Россия, 197046, Санкт-Петербург, Петроградская наб., д. 18, корп. 3, лит. В.

Ладик Елена Игоревна, кандидат архитектуры, доцент Высшей школы архитектуры и дизайна. E-mail: krushelnitskaya1@rambler.ru. Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого. Россия, 195251, Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д. 29.

Грачева Анастасия Александровна, магистрант Высшей школы архитектуры и дизайна. E-mail: saschagrachev00@gmail.com. Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого. Россия, 195251, Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д. 29.

Щапов Дмитрий Вячеславович, магистрант Высшей школы архитектуры и дизайна. E-mail: scharovdim@yandex.ru. Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого. Россия, 195251, Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д. 29.

Поступила 17.10.2024 г.

© Перькова М.В., Бобылев С.Ю., Ладик Е.И., Грачева А.А., Щапов Д.В., 2024

¹*Perkova M.V.*, ²*Bobylev S.Yu.*, ^{1,*}*Ladik E.I.*, ¹*Gracheva A.A.*, ¹*Shchapov D.V.*

¹*Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University*

²*LLC «Architectural Workshop of S.Yu. Bobylev»*

^{*}*E-mail: krushelnitskaya1@rambler.ru*

FORMATION OF THE GREEN FRAMEWORK OF THE CITY OF KOLTUSHI LENINGRAD REGION

Abstract. There are historical settlements in the Leningrad Region that have high historical and cultural potential, unique landscapes and require the formation of a special urban development policy. One of these is the territory of the town of Koltushi in the Vsevolozhsk District of the Leningrad Region. The purpose of the study is to identify the natural resource potential of the territory and develop recommendations for the formation of a green framework for the town of Koltushi in the Leningrad Region. The organization of a green framework not only meets the needs of society, but is also a necessary element for the development of the city. The study identified and analyzed the features of the natural resource potential of the town of Koltushi, the main natural cores of which are: the specially protected natural area «Natural Monument «Koltushi Heights», the territory of the Scientific Town of Physiologist I.P. Pavlov and forest parks. The "green" fabric of the city consists of seven main public spaces. The ecological connections of the city are provided through a system of green corridors that connect the ecological cores and the green fabric. In terms of the tourism component, there are 11 key points of attraction for tourists in the Koltushi settlement. Stagnating and unused territories have also been identified: forest parks, parks, squares, alleys and other green spaces, which are promising green areas for public use. As a result of the SWOT analysis, the weaknesses and strengths of the natural

resource potential of the territory, opportunities and threats have been identified. Proposals have been developed for the formation of a green framework for the town of Koltushi, focusing on preserving the unique natural landscape, creating buffer zones for specially protected natural areas, forming a transport framework and functional zoning, improving the living environment by moving treatment facilities out of the center of the settlement and determining the optimal parameters for the development of residential areas. In the course of the work, new functional zones were identified and existing zones in the current General Plan were detailed.

Keywords: *natural resource potential, green framework, master plan, «Koltušskie Heights», unique natural landscape*

REFERENCES

1. Lutchenko S.I. Territorial planning organization of the tourist infrastructure of the Leningrad Region [Territorial'no-planirovochnaya organizaciya turistskoj infrastruktury Leningradskoj oblasti]: Dissertation of a candidate of architectural sciences: 2.1.13. - St. Petersburg, 2023. Pp. 266. (rus)
2. Order of the Administration of the Leningrad Region of the Committee for the Preservation of the Cultural Heritage of the Leningrad Region dated 26.06.2024 No. 01-03/24-57 «On the establishment of the subject of protection of the object of cultural heritage of federal significance «Scientific Town of Physiologist I.P. Pavlov on the Koltushi Upland and Koltushi Highway (part)».
3. Information from the Unified State Register of Cultural Heritage Objects (Historical and Cultural Monuments) of the Peoples of the Russian Federation. URL: <https://opendata.mkrf.ru/opendata/7705851331-egrkn/46/65f6b933f317c420fee8b37da19cd7fac4c1988de64c96868a75cc787dd3f390> (date of treatment: 24.08.2024).
4. Annex to the order of the Committee for the Preservation of the Cultural Heritage of the Leningrad Region dated 26.06.2024 No. 01-03/24-57 "On the establishment of the subject of protection of the object of cultural heritage of federal significance «Scientific Town of Physiologist I.P. Pavlov on the Koltushi Upland and Koltushi Highway (part)», 1932 - 1937, mid-XX century at the address: Leningrad Region, Vsevolzhsky District, Pavlovo Village, Koltushi Town (formerly Koltushi and Staraya Villages), Kolbino Village, Tockari Village, Yanino-2 Village, Suoranda Village, Hirvosti Village». URL: <https://base.garant.ru/409249634/8b7b3c1c76e91f88d33c08b3736a67a/> (date of treatment: 24.08.2024). (rus)
5. Koltushi Heights (Cadastral Case No. 117). Passport of the regional natural monument «Koltushi Heights» URL: <https://kpr.lenobl.ru/ru/deiatelnost/organizaciya-i-funkcionirovanie-osobo-ohranyaemyh-prirodnih-territorij/perechen-osobo-ohranyaemyh-prirodnih-territorij-oopt-regionalnogo-i-20/koltushskie-vysoty-kadastrovoe-delo-117/> (date of treatment: 05.08.2024).
6. Historical Center of St. Petersburg and Associated Groups of Monuments. URL: <https://whc.unesco.org/en/list/540/maps/> (date of treatment: 05.08.2024) (rus)
7. Order of the Committee for Urban Planning Policy of the Leningrad Region dated June 14, 2024 «On the clarification of the Rules of Land Use and Development of the Koltushskoye Rural Settlement of the Vsevolzhsky Municipal District of the Leningrad Region». (rus)
8. Bobylev S.Yu., Gracheva A.A. «Green framework» as the main element of sustainable development of the planning structure on the example of the prospective development of the Koltushi urban settlement [«Zelenyj karkas» kak osnovnoj element ustojchivogo razvitiya planirovochnoj struktury na primere perspektivnogo razvitiya Koltushskogo gorodskogo poseleniya]. Koltushi - the territory of new ideas: a collection of materials of the All-Russian Scientific and Practical Conference, June 8 - July 10, 2024, Koltushi, Leningrad Region. St. Petersburg: POLITEH-PRESS, 2024. Pp. 69–74. (rus)
9. Roshchupkina O.E., Perkova M.V. Landscapes as a factor in the development of the territory [Landshafty kak faktor razvitiya territorii]. Fundamental foundations of building materials science: Collection of reports of the International Online Congress, Belgorod, October 06-11, 2017. Belgorod: Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov, 2017. Pp. 1244–1252. (rus)
10. Ladik E.I., Perkova M.V., Falaleeva E.V., Kozhuš A.V. On the issue of the formation of the natural and ecological framework of the town of Koltushi, Leningrad Region [K voprosu o formirovanii prirodno-ekologicheskogo karkasa g. Koltushi Leningradskoj oblasti]. Koltushi - the territory of new ideas: a collection of materials of the All-Russian Scientific and Practical Conference, June 8 - July 10, 2024, Koltushi, Leningrad Region. St. Petersburg: POLITEH-PRESS, 2024. Pp. 63–68 (rus)
11. Yankovskaya Yu.S., Lutchenko S.I. Urban development approaches to the formation of tourist infrastructure [Gradostroitel'nye podhody k formirovaniyu turistskoj infrastruktury] Architecture and Construction of Russia. 2024. No. 1 (249). Pp. 58–63. (rus)
12. Resolution of the Government of the Leningrad Region dated 28.12.2018 No. 523 "On the approval of changes to the General Plan of the municipi-

pality «Koltushskoye rural settlement» of the Vsevolozhsky municipal district of the Leningrad Region». (rus)

13. Town Planning Code of the Russian Federation dated 29.12.2004 N 190-FZ URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_51040 (date of treatment: 05.08.2024) (rus)

14. Zhiltsova O.K. Modern concept of «Urban natural framework». Its development and understanding [Sovremennoe ponyatie “Gorodskoj prirodnyj karkas”. Ego razvitie i osmyslenie]. Innovations and Investments, 2023 No. 2 Pp. 150-154. (rus)

15. Specially Protected Natural Areas, Eco-trails, Tourist Routes. URL: <https://ecoportal-vsev.ru/> (rus)

16. Natural Monument «Koltushi Heights». URL: <https://ooptlo.ru/oopt-koltushskie-vyisoty.html> (date of treatment: 05.08.2024) (rus)

17. Perkova M.V., Ladik E.I. Formation of recreational zones on disturbed territories [Formirovanie rekreacionnyh zon na narushennyh territoriyah]. Synergy of Sciences. 2017. No. 16. Pp. 427–436 URL: <http://synergy-journal.ru/archive/article1073> (date of treatment: 05.08.2024) (rus)

18. Gorokhov V.A. The green nature of the city [Zelenaya priroda goroda]. M.: Architecture S, 2005. 528 p. (rus)

19. Vergunov, A.P. Architectural and landscape organization of green spaces in urban centers: a textbook [Arhitekturno-landshaftnaya organizaciya ozelenennyh prostranstv v gorodskih centrakh]. M., 1986. 126 p. (rus)

Information about the authors

Perkova, Margarita V. Doctor of Architecture, Professor. E-mail: perkova.margo@mail.ru. Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University. Russia, 195251, St. Petersburg, Polytechnicheskaya st., 29.

Bobylev, Sergey Yu. Vice-President of the St. Petersburg branch of the Union of Architects of Russia, LLC «Architectural Workshop of S.Yu. Bobylev». E-mail: bob3107@yandex.ru. Russia, 197046, Saint Petersburg, Petrogradskaya emb., 18, bldg. 3, lit. B.

Ladik, Elena I. PhD, assistant professor. E-mail: krushelnitskaya1@rambler.ru. Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University. Russia, 195251, St. Petersburg, Polytechnicheskaya st., 29.

Gracheva, Anastasia A. graduate student. E-mail: saschagrachev00@gmail.com. Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University. Russia, 195251, St. Petersburg, Polytechnicheskaya st., 29.

Shchapov, Dmitry V. graduate student. E-mail: schapovdim@yandex.ru. Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, 29. Russia, 195251, St. Petersburg, Polytechnicheskaya st., 29.

Received 17.10.2024

Для цитирования:

Перькова М.В., Бобылев С.Ю., Ладик Е.И., Грачева А.А., Шапов Д.В. Формирование зеленого каркаса г. Колтуши Ленинградской области // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2025. № 1. С. 41–54. DOI: 10.34031/2071-7318-2024-10-1-41-54

For citation:

Ladik E.I., Perkova M.V., Sudarikova A.A., Fursaeva E.V. Formation of the green framework of the city of Koltushi Leningrad Region. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2025. No. 1. Pp. 41–54. DOI: 10.34031/2071-7318-2024-10-1-41-54

DOI: 10.34031/2071-7318-2024-10-1-55-67

Нецветаева О.В.

Государственное казенное учреждение

«Градостроительное развитие территорий Ленинградской области»

E-mail: Netsvetaeva.ov@grtlo.ru

ДИЗАЙН-КОД КАК МЕТОД ВЫЯВЛЕНИЯ ИДЕНТИЧНОСТИ МЕСТНОСТИ (НА ПРИМЕРЕ Г. КОЛТУШИ)

Аннотация. Статья посвящена рассмотрению вопроса применения дизайн-кода как инструмента выявления и индивидуализации территории и необходимости его разработки для формирования современной комфортной городской среды. Автором подчеркивается важность данного документа на сегодняшний день, определяются цели и задачи, которые достигаются при введении в действие на территории города или муниципалитета правил работы с внешним обликом городской среды. В статье выявляются лучшие практики и методы достижения целей при разработке рассматриваемого документа. Предложена методическая последовательность формирования дизайн-кода территории. Определен необходимый состав дизайн-кода территории. Разработан уникальный дизайн-код для рассматриваемой территории в границах достопримечательного места «Научный городок физиолога И.П. Павлова на Колтушской возвышенности и Колтушское шоссе (часть)», который учел исторический контекст местности, уникальные природные ландшафты, особое научное значение территории, особенности сложившейся жилой среды и существующей инженерной и транспортной инфраструктуры, а также особенности этнической и религиозной принадлежности постоянно проживающего в Колтушском поселении населения. Разработанный дизайн-код может быть использован в ежедневной работе администрации муниципального образования для упорядочивания среды и повышения ее комфортности, а проектные предложения могут служить исходными данными для подготовки проекта градостроительных регламентов для правил землепользования и застройки Колтушского городского поселения в границах достопримечательного места.

Ключевые слова: комфортная городская среда, дизайн-код, благоустройство, Колтуши, Колтушская возвышенность, достопримечательное место.

Актуальность. В настоящий момент в России и в мире в целом стоит задача в формировании комфортной современной городской среды, исключая визуальное засорение фасадов и общественных пространств в городах и иных населенных пунктах, а также возрождение исторической и культурной их идентичности, то есть уход от глобализации и фокусирование на региональных и местных особенностях. Современная городская среда состоит из множества составляющих элементов – жилые и общественные здания, улицы, общественные пространства, фасады домов, озеленение, малые архитектурные формы, навигация и различные информационные конструкции. При отсутствии хаотичном размещении всех этих элементов создается визуальный шум, снижающий общее качество среды, за которым теряется исторический индивидуальный контекст местности. Использование дизайн-кода и создание городской идентичности позволяет улучшить качества городской среды, что в свою очередь благотворно влияет на экономические, социальные и иные аспекты жизни населения.

Методы исследования. В статье использованы теоретические методы исследования, которые заключались в обобщении понятия «дизайн-

код» в отечественной и мировой практике. Применялись практические методы, заключавшиеся в наблюдении за конкретной территорией г. Колтуши, Ленинградской области, фотофиксации территории, натурных обследований для выявления ее идентичности и экспериментальное моделирование.

Цель исследования. Определение исторического формирования самого термина и понятия дизайн-кода, изменение отношения к нему в ключевые формирования городской среды, современные практики применения дизайн-кода. Выявление индивидуальности и идентичности конкретной территории в Колтушском городском поселении на основании исследования истории формирования местности, а также формирования конкретных предложений по созданию дизайн-кода для г. Колтуши с учетом сложившейся городской функциональной структуры. Для достижения цели поставлены следующие задачи:

- проведение всестороннего анализа различных источников и существующих научных исследований по тематике создания и работы с дизайн-кодами городов и территорий;
- выявление особенностей разработки дизайн-кода;

– разработка дизайн-кода для Колтушского городского поселения в границах территории достопримечательного места федерального значения «Научный города им. И.П. Павлова и Колтушская возвышенность» в ходе проведения летней архитектурной школы на базе ФГБУ Институт физиологии им. И.П. Павлова РАН.

Степень разработанности темы. Учитывая актуальность вопроса развития и становления дизайн-кода на настоящий момент в связи с политикой восстановления социокультурной идентичности общества и возрождения малых и исторических городов страны, тема развития и использования дизайн-кода является популярной для исследования. Достаточно много авторов научных статей, в том числе авторы, ссылки на работы, которых представлены в настоящей статье, исследуют становление визуального облика и силуэта городов страны, их генетического и архитектурного кода, а также возможности разработки и внедрения инструмента дизайн-кода для увеличения социальной и туристической привлекательности городов и иных населенных пунктов. При этом нужно отметить, что несмотря на общие положения в исследованиях авторов и в целом положительное отношение к институту дизайн-кода, благодаря исторической, культурной и этнографической уникальности каждого отдельно взятого населенного пункта, каждое исследование является оригинальным и важным для понимания специфики и индивидуальности применения в конкретно взятом населенном пункте.

Введение. Понятие дизайн-кода не ново для российского градостроительства. Еще Петром Первым Указом о каменном строительстве, изданном в 1714 году [1], было запрещено каменное строение в империи кроме столичного города, а строительство зданий в Санкт-Петербурге согласно положениям указа, предписывалось вести исключительно по проектам «образцовых» домов [2]. Несомненно, данный указ не является дизайн-кодом в современном понимании этого слова, но он положил начала практике унификации и упорядочивания внешнего облика столицы и иных городов в России. Его целью было стремление сформировать определенный облик городов и следовать определенным принципам, что несомненно значительно повлияло на дальнейшее развитие архитектуры и градостроительства в нашей стране.

Нельзя так же не отметить следующий шаг, значительно повлиявший на формировании внешнего облика городов Российской империи – это градостроительная реформа Екатерины II. Вскоре после вступления на трон императрицей был выпущен указ от 25 июля (5 августа) 1763

года «О сделании всем городам, их строению и улицам специальных планов, по каждой губернии особо» [3]. Екатерина II поручила его исполнение архитекторам, которые вошли в созданную 11 декабря 1762 года «Комиссию для устройства городов Санкт-Петербурга и Москвы», которая была направлена в том числе и на другие города Российской империи.

Данная реформа была направлена на унификацию и стандартизацию застройки городов, для улучшения состояния городской среды для создания предпосылок к развитию промышленности и торговли в стране и созданию фундамента для развития современного российского общества. Свободная мягкая застройка, следующая за формами рельефа, заменялась типовыми строениями, размещаемыми на систематизированной регулярной сети улиц [4]. В генеральных планах городов помимо создания плоско пространственных планов застройки давались рекомендации по цветовому оформлению фасадов, кровель и иных архитектурных деталей зданий и сооружений. Эти рекомендации как правило разделялись для центральных улиц и пространств города и для фоновой жилой застройки.

Типовую архитектуру советского периода, тоже в каком-то роде можно связать с дизайн-кодом, но причины такой унификации внешнего облика городов иные. Типовое градостроительство пусть и унифицировало облик городов, а экономическая ситуация не позволяла визуально засорять среду, но результатом стала полная потеря контекста, исторической среды и генетического кода территорий. После исторических потрясений страны в 1991 году к типовой советской застройке добавилась безликая с отсутствием каких-либо архитектурно-стилевых характеристик архитектура начала 2000-х годов [5].

Основная часть. Современное развитие института дизайн-кода в городах России связано с общемировым трендом на создание устойчивой архитектуры и среды городов [6], а также повышение требований к общему уровню образования, культуры и самосознания граждан страны. Необходимость этого во многом была связана со скопившимся визуальным мусором на улицах городов после тяжелого периода конца 1990-х и начала 2000-х годов.

Одними из первых дизайн-кодов в современной истории России стали дизайн-коды, подготовленные для города Москва в 2014 году, для Воронежа в 2015 году, для Рыбинска, Ижевска и Челябинска – в 2018 году.

На территории Ленинградской области на настоящий момент подготовлено 33 проекта дизайн-кодов городов (рис.1, 2), большая часть из

них уже утверждена в составе Правил благоустройства и санитарного содержания территории муниципальных образований [7]. В связи с увеличением количества городов и упора на сохранение исторической среды и создания комфортных условий для жизни населения, работа по подготовке проектов дизайн-кодов продолжается как для новых городов региона, так и для некоторых крупных сельских населенных пунктов Ленинградской области.

В дизайн-кодах городов Ленинградской области собраны ключевые правила и рекомендации по оформлению и размещению информационных конструкций, элементов озеленения, малых архитектурных форм, нестационарных торговых объектов и даны общие правила и примеры оформления городской среды.

Структура дизайн-кодов, подготовленных для городов Ленинградской области, состоит из перечня правил, стандартов и рекомендаций, которые включают:

- стандарт оформления и размещения информационных конструкций на фасадах зданий и прилегающих к ним территориях;
- стандарт оформления элементов фасадов зданий;

- стандарт оформления навигационных элементов в городской среде;
- стандарт оформления и размещения элементов городской среды, включающий требования и рекомендации к элементам благоустройства и их размещению;
- рекомендуемые типы малых архитектурных форм, информационных и навигационных стендов;
- рекомендуемые типы покрытий;
- рекомендуемые типы нестационарных торговых объектов (НТО);
- идентичность города;
- пример применения дизайн-кода.

Подготовка проектов дизайн-кодов городов Ленинградской области направлена на упрощение работы администраций по согласованию различных элементов благоустройства и размещения информации в муниципалитете, информирование проектировщиков, предпринимателей, управляющих компаний города, а также жителей и художников о том, каковы рекомендации по организации внешнего облика населенного пункта для создания комфортной городской среды для всех субъектов архитектурной деятельности [8].

2. Требования к информационным конструкциям

21. Информационные конструкции не должны (рис. 1):

- 21.1. препятствовать восприятию информации, размещенной на другой конструкции;
- 21.2. размещаться на опорах освещения, стойках дорожных знаков и светофоров, деревьях и кустарниках, шлагбаумах, ограждениях, перилах, козырьках;
- 21.3. размещаться на фасаде здания на расстоянии менее 2 м от мемориальных досок;
- 21.4. размещаться с перекрытием витражей, дверных, оконных и арочных проемов, архитектурных деталей фасадов объектов (в том числе карнизов, медальонов, орнаментов, лепнины, колонн, элементов монументально-декоративного оформления и т. д.), на оконных решетках;
- 21.5. размещаться с использованием картона, ткани, в том числе баннерной, сетки и других мягких материалов (за исключением случаев размещения на маркизе);
- 21.6. размещаться на фасадах здания, строения, сооружения в два ряда и более — одна над другой (за исключением случаев размещения на зданиях торговых, общественно-деловых центров, а также случаев, когда одна вывеска состоит из двух строк);
- 21.7. размещаться в виде отдельно стоящих сборно-разборных конструкций (штендеров);
- 21.8. размещаться на витражах здания, строения, сооружения;
- 21.9. размещаться на фасадах зданий, строений, сооружений с помощью демонстрации постеров на динамических

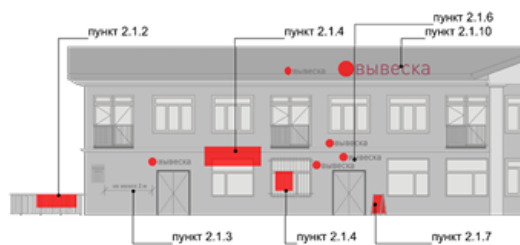


Рис. 1

системах смены изображений (роллерные системы, системы поворотных панелей (призматроны) и другие системы);

- 21.10. размещаться на крыше здания, строения, сооружения в количестве более одной информационной конструкции;
- 21.11. размещаться в виде бегущей строки;
- 21.12. перекрывать дорожные знаки, знаки адресной системы;
- 21.13. способствовать скапливанию снега, замачиванию фасадов или оказывать иное негативное воздействие на здание, строение, сооружение;
- 21.14. размещаться на фасадах, ограждениях (заборах) и кровле индивидуальных жилых домов, садовых и дачных домов, жилых домов блокированной застройки (дуплексов, таунхаусов), индивидуальных гаражей, вспомогательных строений в границах участка под размещение индивидуального жилого дома, блокированной застройки, личного подсобного, крестьянского (фермерского) хозяйства.

Рис. 1. Фрагмент дизайн-кода города Кудрово.
Сост. АНО «Центр компетенций Ленинградской области»



Рис. 2. Фрагмент дизайн-кода города Кудрово.
Сост. АНО «Центр компетенций Ленинградской области»

При этом необходимо отметить, что в российском законодательстве как таковое определение термина дизайн-код отсутствует. В связи с этим имеется достаточно большое количество определений данного понятия. Если обобщить имеющиеся сведения, можно сформулировать определение термина дизайн-код города или территории — это наглядный свод правил в виде текстовой и визуальной инструкции по размещению информационных и рекламных конструкций, дополнительного оборудования, адресных и навигационных вывесок на фасадах, а также рекомендации по цветовому и стилизовому оформлению городской среды с учетом индивидуализация и создания бренда города. Практически каждый проект дизайн-кода содержит уникальный логотип, бренд, шрифт для того, чтобы одновременно унифицировать оформление городской среды, создать единую ткань и айдентику города, и индивидуализировать, сделать запоминающимся и сформировать идентичность среды и самосознание постоянно проживающего на территории населения. Дизайн-код всегда разрабатывается для определённого города или территории, учитывая местную специфику, исторические, культурные и этнические особенности.

Дизайн-код является важным инструментом создания современной комфортной городской

среды. Он формирует и подчеркивает уникальность городского пространства, позволяет упорядочить размещение информационных вывесок различного назначения, сохраняет исторически сложившийся облик и архитектурный стиль города, повышает безопасность городской среды, создавая комфортные городские общественные пространства, визуальный порядок снижает и успокаивает городской ритм жизни, создавая благоприятные условия для жизнедеятельности горожан.

Поднимая вопрос терминологии в области формирования комфортной городской среды и тематики дизайн-кодирования, важно разделять две важных составляющих дизайн-кода — брендинга территории и айдентики городской среды [9]. Брендинг — это скорее стратегия, использующая уже апробированные решения, которые позволяют комплексно преобразовать территорию с использованием средств, не являющихся уникальными. Айдентика города — это набор различных визуальных элементов, основанных на историческом контексте и этнических особенностях местности, которые определяют узнаваемость и подчеркивают уникальность местности [10, 11].

Однако, не смотря на уже признанную важность использования дизайн-кода, в Российской Федерации данный инструмент находится вне

правового поля. Юридически утверждение дизайн-кода при действующем законодательстве в области архитектуры, градостроительства и благоустройства возможно лишь в составе Правил благоустройства и санитарного содержания муниципальных образований, что является достаточно долгой и бюрократической процедурой и влечет за собой торможение процессов непосредственного применения дизайн-кода.

Хотелось бы отметить, что на настоящий момент федеральная повестка в области городского планирования и создания благоприятной городской среды в целом направлена на заботу о внешнем облике городов [12,13,14]. До недавнего времени кроме формальных строительных норм и правил и технических регламентов не было документов, регламентирующих визуальную среду. С 2024 года в связи с изменениями в Градостроительный кодекс российской федерации введена статья 40.1, закрепляющая установление требований к архитектурно-градостроительному облику зданий и сооружений в градостроительном регламенте правил землепользования и застройки [15]. Но даже с учетом изменения законодательства в сторону регламентации архитектурного облика зданий с помощью документов градостроительного зонирования важность именно дизайн-кода, брендинга города и создания уникальной городской айдентики не теряет актуальности.

Дизайн-код за рубежом применяется уже достаточно давно. Большинство исторических европейских городов получили «естественный» дизайн-код в силу того, что застройка и благоустройство городов велись с использованием местных материалов, что исторически повлияло, но создание спокойной цветовой гаммы и уже в современной истории XX века получило своей продолжение. Например, в городах Великобритании и Германии с помощью различного мощения выделяются пешеходные и проезжие части улиц, в цветовом решении фасадов домов преобладают сдержанные оттенки натуральных цветов, соответствующие гамме натурального камня или дерева. Ярким примером локальной цветовой гаммы являются красные скандинавские загородные дома, а причиной тому то, что краска цвета «фалунская красная», являлась долгое время местным недорогим материалом, так как пигмент для ее изготовления добывался в шахте города Фалун графства Даларна в Швеции.

Анализируя зарубежный опыт применения дизайн-кодов автором выявлено, что его действие распространяется на горизонтальную (дороги, тротуары, площади, велосипедные дорожки, парковки, остановки общественного транспорта) и вертикальную (фасады домов, их

стиль цвет, размещение вывесок на фасадах, размещение отдельно стоящих вывесок, малых архитектурных форм) плоскости или ткани города. Как следствие можно выделить регламентацию в области проектирования улиц и площадей, правила оформления фасадов и создания архитектурного облика зданий, и правила размещения отдельно стоящей навигации, рекламы, городской мебели, освещения и иных элементов благоустройства.

Упорядочивание городской среды влечет за собой увеличение уровня безопасности городских пространств как с социальной точки зрения (спокойный отдых, тихие комфортные пространства), так и улучшение транспортной безопасности. Например, в городах Германии и скандинавских странах используются от 3 видов мощения лишь для того, чтобы без запрещающих знаков, яркой разметки, использования государственного института надзора, штрафов и т.п., показать горожанам, где, проезжая часть, где тротуар, а где велосипедная дорожка. Это очень тактичный и гуманный способ разделения пешеходных и транспортных потоков, не создающих визуального шума. В правилах благоустройства таких городов как Лондон и Берлин есть достаточно строгие и подробные правила размещения вывесок и наружной рекламы, которые во многом были взяты за основу разработки дизайн-кодов для русских городов. Основными правилами, например, являются использование отдельных букв без подложки, размещение вывесок исключительно между первым и вторым этажами. В Берлине обязательна подготовка «концепции» размещения вывесок на фасаде здания уже на стадии создания проекта здания, в Лондоне все виды наружных вывесок классифицируются и в зависимости от класса отдельно регламентируются. Помимо этого, необходимо отметить, что на официальном сайте мэрии Лондона размещены общие рекомендации для подготовки проектов дизайн-кодов, которые используются малыми муниципалитетами внутри города, а также отдельными жилыми районами для подготовки своих проектов [16]. Подготовка муниципалитетами дизайн-кодов обязательна для создания условий ясности в области проектирования и создания городской среды, обладающей высокими эстетическими свойствами. Формирование айдентики зарубежных городов также имеет глубокие корни. Ранее разрозненные графства и королевства Европы имели отличительные гербы и эмблемы. В XX веке историческое их использование преобразовалось в разработку логотипов, эмблем и, как следствие, создание целой структуры бренда го-

рода, который внедрялся для создания индивидуальной уникальной стилистической городской среды [17].

Самый известный отечественный опыт создания дизайн-кода связан с городом Рыбинск Ярославской области. Совокупная работа местных властей, горожан и бизнеса позволила путем восстановления исторических фасадов зданий и упорядочивания использования исторического стиля купеческого российского города для вывесок создать неповторимую среду современного, уважающего свою историю города.

Вопрос подготовки дизайн-кода для города Колтуши связан с двумя важными факторами.

1. Согласно распоряжению Губернатора Ленинградской области для каждого города в регионе должен быть разработан и внедрен дизайн-код.

2. Установление достопримечательного места федерального значения «Научный городок физиолога И.П. Павлова на Колтушской возвышенности и Колтушское шоссе (часть)» [18].

Колтушское городское поселение – это муниципальное образование, расположенное в непосредственной близости от Санкт-Петербурга в зоне Санкт-Петербургской агломерации. В 2024 году Колтушское поселение приобрело статус городского, а объединившиеся деревня Старая и деревня Колтуши стали городом Колтуши и административным центром уже городского поселения.

Колтушское поселение известно тем, что в XX веке здесь разместил свои лаборатории и создал целый научный городок нобелевский лауреат, всемирно известный физиолог Иван Петрович Павлов. Научный городок являлся автономным комплексом, состоящим из лабораторных корпусов, коттеджей для проживания ученых, вивария, антропоидника, парка и фруктового сада. Впоследствии научный городок Павлова стал главным физиологическим центром для отечественной и мировой науки. Помимо этого, Колтушское поселение известно также благодаря уникальным ландшафтам Колтушской возвышенности, расположенной на стыке Приневской и Приладожской низин. Колтушская возвышенность имеет максимальную абсолютную (над уровнем моря) отметку в 78 метров, с севера она ограничена долиной реки Лубьи, на юге — болотистой низиной урочища Кулики. С запада к возвышенности примыкают мелиорированные низины с бывшими торфозаботками, с востока — частично мелиорированные болота Блудное и Круглое. По происхождению Колтушская возвышенность относится к камовым плато. Плато сформировалось в конце валдайской ледниковой эпохи около 12 тысяч лет назад, а осложняющие

его поверхность менее крупные формы рельефа (отдельные холмы и котловины, уступы, ложбины и др.) возникли как одновременно с ним, так и значительно позже, в голоценовую эпоху. Нынешний живописный ландшафт территории сформировался в послеледниковое время и представлен чередованием песчаных холмов (камов) с ложбинами и котловинами, часть которых занята небольшими болотами и озёрами. Территория поселка Павлово и Колтушского шоссе включена также в список всемирного наследия ЮНЕСКО [19]. Совокупность вышеописанных факторов говорит о беспрецедентной важности данной территории. В связи с вышесказанным к ее развитию как территории культурного наследия, научного центра, уникального природного парка и жилого населенного пункта необходимо относиться с особым вниманием.

Как было сказано ранее, приказом Министерства культуры Российской Федерации утверждены границы территории достопримечательного места Научный городок им. И.П. Павлова и Колтушская возвышенность. В связи этим в соответствии с пунктом 5 части 2 ст. 33 Градостроительного кодекса Российской Федерации требуется внесение изменений в правила землепользования и застройки. Однако вышеуказанным приказом не утвержден предмет охраны достопримечательного места, а также не установлены требования к градостроительным регламентам в границах территории достопримечательного места. Как установлено подпунктами 2, 7, 10 пункта 2 ст. 33 Федерального закона № 73-ФЗ государственная охрана объектов культурного наследия включает в себя:

- проведение историко-культурной экспертизы;
- установление требований к осуществлению деятельности в границах территории достопримечательного места, требований к градостроительным регламентам в границах территории достопримечательного места;
- установление предмета охраны объекта культурного наследия, включенного в реестр, и границ территории такого объекта.

Кроме того, согласно пункту 2 ст. 56.4 Федерального закона № 73-ФЗ в целях обеспечения сохранности предмета охраны достопримечательного места в границах территории достопримечательного места органом охраны объектов культурного наследия, указанным в пункте 3 статьи 5.1 настоящего Федерального закона, в соответствии с категорией историко-культурного значения данного объекта культурного наследия устанавливаются требования к осуществлению деятельности в границах территории достопримечательного места, ограничения использования

лесов и требования к градостроительному регламенту в границах территории достопримечательного места, включая требования к видам разрешенного использования земельных участков, к хозяйственной деятельности на земельных участках в границах территории достопримечательного места.

Градостроительное развитие территории без ограничений градостроительных регламентов, ранее установленных правилами землепользования и застройки, и положений утвержденной документации по планировке территории может привести к нарушению вышеуказанных норм законодательства в области государственной охраны объектов культурного наследия. В связи с этим Комитетом градостроительной политики Ленинградской области совместно с Институтом физиологии им. И.П. Павлова РАН было предложено организовать подготовку проектных предложений, которые могли бы лечь в основу градостроительных регламентов в границах достопримечательного места. Учитывая то, что в градостроительные регламенты на настоящий момент входят требования к архитектурно-градостроительному облику объектов капитального строительства, а подготовка предложений по требованиям к АГО невозможна без комплексного анализа территории, выявления идентичности и предложения концепции облика территории, то есть дизайн-кода, было принято решения в составе работ по подготовке указанных предложений подготовить проект дизайн-кода территории достопримечательного места. Подготовка предложений велась в формате летней архитектурной школы, участниками которой стали студенты бакалавриата и магистратуры ведущих архитектурных ВУЗов Санкт-Петербурга [20]. Данный подход позволил привлечь молодых архитекторов для решения актуальных задач и получить свежий взгляд на развитие богатой историей территории.

Для студентов была поставлена задача разработать уникальный дизайн-код для рассматриваемой территории в границах достопримечательного места, который бы определил идентичность местности, позволил создать локальный бренд, улучшить городскую среду и увеличить инвестиционную и туристическую привлекательность территории. Студентами под руководством опытных архитекторов, градостроителей и дизайнеров с участием автора был проведен комплексный анализ территории проектирования, сформулированы актуальность, цель и последовательность работы, определены объект и предмет исследования.

Актуальность проблемы формирования дизайн-кода городской среды в г. Колтуши заключается в необходимости улучшения качества жизни жителей, создание комфортной городской среды, развитие инфраструктуры, предотвращение хаотичного развития застройки и создание уникальной и функциональной атмосферы города.

Объект исследования – территория в границах достопримечательного места «Научный городок физиолога И.П. Павлова на Колтушской возвышенности и Колтушское шоссе (часть)».

Предмет исследования – разработка рекомендаций по созданию единой стилистической городской среды, оформлению и размещению информационных конструкций и малых архитектурных форм.

Цель – выявление идентичности территории и формирование предложений по разработке дизайн-кода с учетом сложившихся функциональных зон.

Методическая последовательность формирования дизайн-кода территории:

1. Провести комплексный-градостроительный анализ территории исследования с выявлением опорных точек притяжения с историко-культурным потенциалом.
2. Определить идентичность территории.
3. Разработать концепцию дизайн-кода, отражающую идентичность населенного пункта Колтуши.
3. Разработать элементы навигации и информационной среды в границах проектируемого поселения.
4. Разработать предложения по реконструкции и обновлению имеющихся малых архитектурных форм, включая улучшение их дизайна и функционального наполнения.
5. Определить правила оформления элементов фасадов зданий, включая размещение на фасадах информационных конструкций и рекомендуемые колористические решения.

В ходе анализа территории с помощью архивных источников [21, 22], действующих документов территориального планирования и градостроительного зонирования, открытых данных сети интернет, сведений института физиологии, опросов жителей было выявлено. Что территория Колтушского поселения в целом и территория в границах достопримечательного места отличается высоким уровнем исторического, культурного и природного наследия и имеет, соответственно, высокий потенциал развития в туристическом отношении, а также обладает привлекательностью для постоянного проживания. В связи с тем, что в границах достопримечатель-

ного места сконцентрированы различные функциональные зоны с разным историческим контекстом, существующей ситуацией и потенциалом развития, в ходе проектных работ над дизайн-кодом командой разработчиков было принято решение разделить территорию достопримечательного места на 4 зоны: Колтушские холмы, научный городок им. И.П. Павлова, Колтушское шоссе и д. Колбино. Для каждой зоны с учетом особенностей исторического формирования, природных и градостроительных особенностей, этнической и религиозной принадлежности населения, были выявлены свои отличительные черты и элементы, которые легли в основу создания айдентики и брендинга территории.

На основе зарубежного, отечественного и регионального опыта был определен необходимый состав для дизайн-кода территории в границах достопримечательного места «Научный городок физиолога И.П. Павлова на Колтушской возвышенности и Колтушское шоссе (часть)», в который вошли следующие элементы:

– логотип, который подготовлен в едином стиле, но отражающий индивидуальные особенности каждой из 4-х территорий: 1) природные холмы для Колтушской возвышенности; 2) стилизованное изображение головного мозга для зоны научного городка; 3) стилизованное изображение Георгиевской лютеранской церкви в д. Колбино; 4) изображение буквы К на холмах как основной логотип г. Колтуши и Колтушского городского поселения (рис. 3).

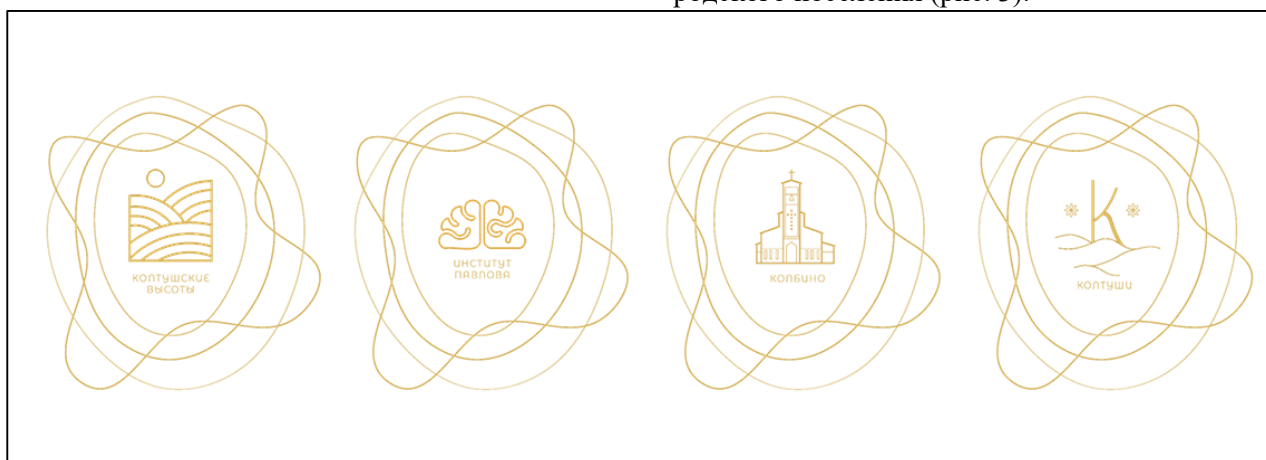


Рис. 3. Логотип для 4-х зон в границах достопримечательного места Научный городок физиолога И.П. Павлова на Колтушской возвышенности и Колтушское шоссе.

Авторы: Ю. Демянюк, А. Костенко, А. Сударикова, Е. Фурсаева

– рекомендации по индивидуальному шрифту, предлагаемому для применения в информационных и навигационных конструкциях,

в сувенирной и презентационной продукции населенного пункта (рис.4);

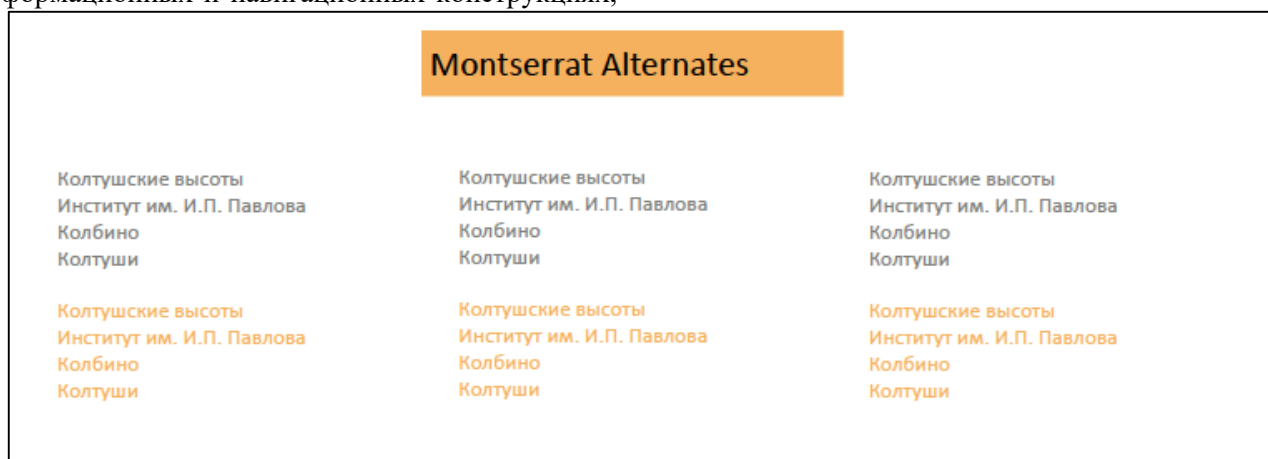


Рис. 4. Шрифт, предложенный в проекте дизайн-кода достопримечательного места «Научный городок физиолога И.П. Павлова на Колтушской возвышенности и Колтушское шоссе (часть)».

Авторы: Ю. Демянюк, А. Костенко, А. Сударикова, Е. Фурсаева.

– каталог колористической палитры для использования при строительстве капитальных и

некапитальных объектов, ограждений и кровель (рис. 5);



Рис. 5. Колористическая палитра для Колтушского поселения.
Авторы: Ю. Демянюк, А. Костенко, А. Сударикова, Е. Фурсаева

– каталог рекомендуемых к применению малых архитектурных форм в целом для территории достопримечательного места, а также индивидуальные малые архитектурные формы для

каждой из 4-х зон в зависимости от основной тематики: природа, наука, духовность и городская среда (рис. 6);

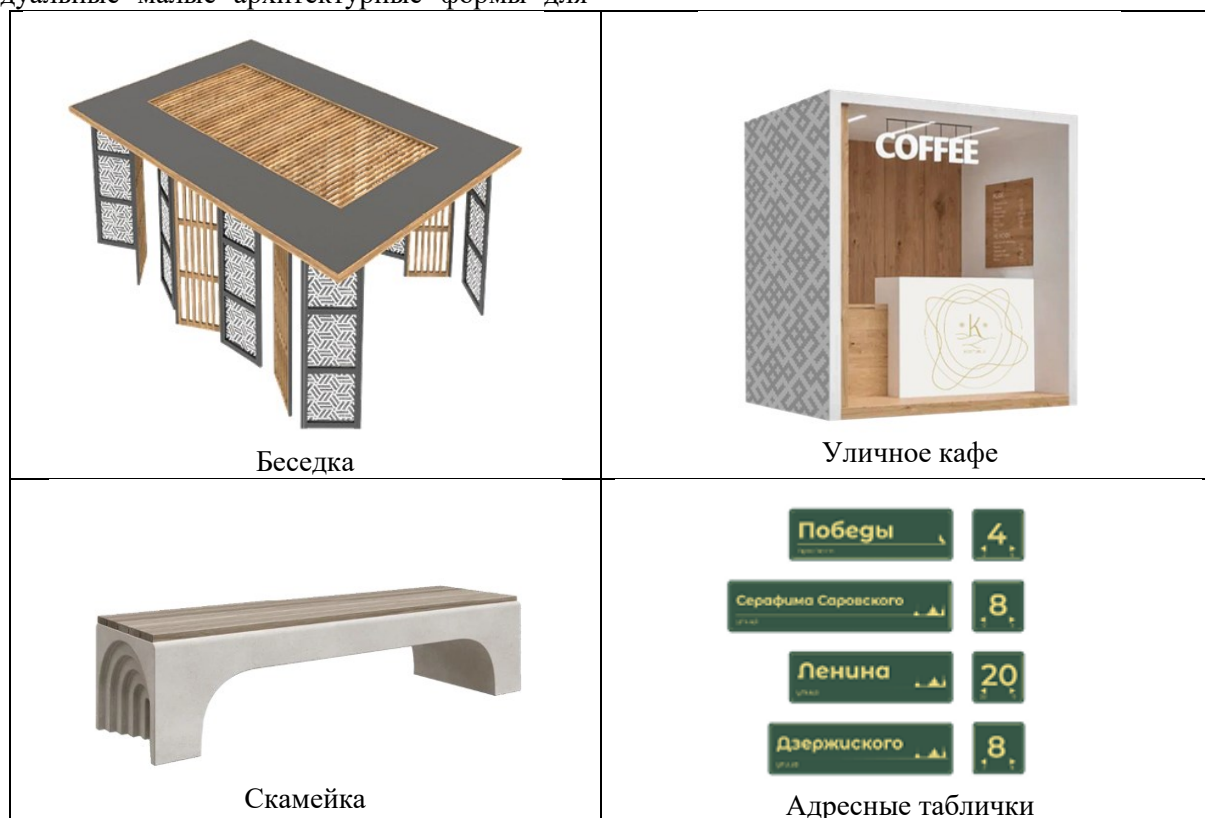


Рис. 6. Примера разработанных МАФов для территории.
Авторы Ю. Демянюк, А. Костенко, А. Сударикова, Е. Фурсаева.

– профили для каждой улицы с указанием размещения проезжей части, тротуаров, опор освещения, озеленения и т.д.;

– наглядные примеры по применению дизайн-кода в следующих локациях: Колтушское шоссе (рис. 7), Колтушская площадь, площадь

Павлова, территория парка института Павлова, Колтушских холмов, жилой зоны поселок Павлова, а также уникальные концептуальные предложения для основных точек отдыха и притяжения гостей и жителей Колтушского поселения.



Рис.7. Пример применения, разработанного дизайн-кода для участка Колтушского шоссе с предложением малых архитектурных форм, опор освещения и остановки общественного транспорта.

Авторы Ю. Демянук, А. Костенко, А. Сударикова, Е. Фурсаева

Выводы.

1. Институт дизайн-кода имеет обширную историю и опыт применения как в России, так и зарубежом. Алгоритм разработки дизайн-кода в целом един в мировой практике, он основывается на глубоком комплексном анализе территории, внимание к историческому, этническому и архитектурному наследию места или территории, а также учитывает современные тенденции и мнение жителей и ежедневных пользователей территории. Разработка дизайн-кода помогает возродить, сохранить и популяризировать историческую среду, напомнить жителям об уникальности места их проживания, создать комфортные условия жизни, повысить социальную, экономическую и туристическую привлекательность местности.

2. Предложена методическая последовательность формирования дизайн-кода территории.

3. Определен необходимый состав дизайн-кода территории в границах достопримечательного места «Научный городок физиолога И.П. Павлова на Колтушской возвышенности и Колтушское шоссе (часть)».

4. Разработан уникальный дизайн-код для рассматриваемой территории в границах достопримечательного места «Научный городок физиолога И.П. Павлова на Колтушской возвышенности и Колтушское шоссе (часть)», который учел исторический контекст местности, уникальные природные ландшафты, особое научное значение территории, особенности сложившейся жилой среды и существующей инженерной и

транспортной инфраструктуры, а также особенности этнической и религиозной принадлежности постоянно проживающего в Колтушском поселении населения. Разработанный дизайн-код может быть использован в ежедневной работе администрации муниципального образования для упорядочивания среды и повышения ее комфортности, а проектные предложения могут служить исходными данными для подготовки проекта градостроительных регламентов для правил землепользования и застройки Колтушского городского поселения в границах достопримечательного места. В целом в результате проделанной работы сформированный дизайн-код территории определил айдентику местности, позволил создать локальный бренд, улучшить городскую среду и увеличить инвестиционную и туристическую привлекательность территории.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Пирожкова И.Г. Система источников нормативно-правового регулирования градостроительства в Российской империи // Вестник ТГУ. 2009. №11. С.406–411.
2. Пирожкова И.Г. «Образцовые» фасады как нормативный источник регулирования градостроительства в российской империи // Вестник ТГУ. 2006. №3-2. С.10–12.
3. Акты царствования Екатерины II: Учреждения для управления губерний и жалованные грамоты дворянству и городам. М., 1907. 160 с.

4. Лутченко С.И., Нецветаева О.В. Градостроительное развитие исторических городов Екатерининской эпохи в Ленинградской области на примере городов Луга, Кингисепп и Тихвин // ИВД. 2024. №3 (111). URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2024/9096 (дата обращения 10.10.2024).
5. Маслов М.М. Айдентика Суздаля как удачный пример использования национально-этнического подхода к созданию территориальной айдентики // Материалы XIV Международной научно-практической конференции, Благовещенск, Амурский государственный университет, 2021. С. 42–47. DOI: 10.22250/ISS.2021.9
6. Романова Д. Дизайн-код существующего государственного благоустройства // Сборник статей традиции и инновации в строительстве и архитектуре. Градостроительство. Самара, 2018. С. 264-266.
7. "Правила благоустройства и содержания территории муниципального образования Заневское городское поселение Всеволожского муниципального района Ленинградской области" от 25.02.2020 № 07 // Заневский вестник. 2020 г. № 08. с изм. и допол. в ред. от 20.12.2023. С.1-25.
8. Демин А., Данилова С., Боброва Д., Пряженников И., Ивашин Е., Егорова А. Дизайн-код и ребрендинг городской среды малых городов Ленинградской области // Вестник. Зодчий. 21 век. 2017. № 3 (64). С. 84–87.
9. Щербинин Э.М. Дизайн-код как средство развития комфортной городской среды и способ формирования городской айдентики // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2024. №2. С. 59–69. DOI: 10.34031/2071-7318-2024-9-2-59-69
10. Козленков А.С., Хохлов И.Ю., Василюха Д.Ф. Айдентика и брендинг в гостиничном бизнесе // Вестник ассоциации вузов туризма и сервиса. 2019. №2. С. 64–70
11. Хаустова И.Н. Городская айдентика (на примере Москвы) // Материалы V Всероссийской (с международным участием) научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Культура открытого города: новые смыслы и практики». Екатеринбург: 2017. С. 171–174.
12. Горбачева Д.Д., Копылов А.Б., Головин К.А. Дизайн-код и его реализация в городской среде на примере г. Тулы // Известия ТулГУ. Технические науки. 2022. №12. С. 327–329. DOI: 10.24412/2071-6168-2022-12-327-330
13. Шлендер Р.А., Алексеева А.В. Необходимость дизайн-кода современному российскому городу (на примере г. Омска) // Скиф. 2019. №11 (39). С. 731–738.
14. Донгузов К.А., Маннасова Ю.И. Отечественный опыт дизайн-кодирования городских пространств // Научный журнал. 2022. №2 (64). С.74-76.
15. Градостроительный кодекс Российской Федерации от 29.12.2004 № 190-ФЗ [в ред. от 08.08.2024 с изм. и доп., вступ. в силу с 01.09.2024] // Российская газета. N 290. 30.12.2004.
16. National Model Design Code, 2021. London: Crown. – 51 p.
17. Lunger C., Scheiber M. Orientierung auf Reisen. Touristische Leitsysteme. Berlin: DOM publishers, 2009. 419 p.
18. Приказ Министерства культуры РФ от 20.02.2024 года № 312 "О включении выявленного объекта культурного наследия "Научный городок физиолога И.П. Павлова на Колтушской возвышенности и Колтушское шоссе (часть)", 1932 – 1937 гг., середина XX века (Ленинградская область, Всеволожский район, с. Павлово, г. Колтуши (ранее д. Колтуши и д. Старая), д. Колбино, д. Токкари, д. Янино-2, д. Суоранда, д. Хирвосты) в Едином государственном реестре объектов культурного наследия (памятников истории и культуры) народов Российской Федерации в качестве ОКН-Ф и утверждении границ его территории" (Зарегистрирован 02.04.2024 № 77752). [Электронный ресурс]: URL: <http://publication.pravo.gov.ru/document/0001202404030003?index=3> (дата обращения – 10.08.2024).
19. Исторический центр Санкт-Петербурга и связанные с ним группы памятников. [Электронный ресурс]: URL: <https://whc.unesco.org/en/list/540/maps/> (дата обращения – 05.08.2024).
20. Макарова С.Н. Производственная практика как составляющая профессиональной социализации студентов ВУЗа // Современные проблемы науки и образования. 2020. № 2. URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=29652> (дата обращения: 13.10.2024).
21. Исаченко А.Г. Экологическая география Северо-Запада России. Ч. 1-2. СПб., 1995. 192 с.
22. Учебный географический атлас Ленинградской области и Санкт-Петербурга. СПб.: СПб. картографическая ф-ка ВСЕГЕИ, 1997. 33 с.

Информация об авторах

Нецветаева Ольга Владимировна, первый заместитель руководителя государственного казённого учреждения «Градостроительное развитие территорий Ленинградской области». E-mail: Netsvetaeva.ov@grtlo.ru. 195197, г. Санкт-Петербург, ул. Замшина, д. 6, лит. А, офис 45.

Поступила 30.09.2024 г.

© Нецветаева О.В., 2025

Netsvetaeva O.V.

State Government institution

"Urban development of the territories of the Leningrad region"

E-mail: Netsvetaeva.ov@grtlo.ru

**DESIGN CODE AS A WAY TO IDENTIFY THE IDENTITY OF THE AREA
(USING THE EXAMPLE OF KOLTUSHI)**

Abstract. The article is devoted to the consideration of the issue of using the design code as a tool for identifying and individualizing the territory and the need for its development to form a modern comfortable urban environment. The author emphasizes the importance of this document today, defines the goals and objectives that are achieved when the rules for working with the appearance of the urban environment are put into effect in the territory of a city or municipality. The article also provides a positive experience of using design code in Russian cities and abroad, identifies best practices and methods to achieve the goals of developing the document in question. The local problems and proposals for improving the current urban planning situation, as well as the beneficial effect of using the design code, are separately studied using the example of the city of Koltushi and the surrounding rural settlements within the boundaries of the landmark "Scientific Town of Physiologist I.P. Pavlov on the Koltushskaya Elevation".

Keywords: comfortable urban environment, design code, modern urban environment, landscaping, Koltushi, Koltusha hill.

REFERENCES

1. Pirozhkova I.G. System of sources of legal regulation of urban planning in the Russian Empire [Sistema istochnikov normativno-pravovogo regulirovaniya gradostroitel'stva v Rossijskoj imperii]. Vestnik TGU. 2009. No.11. Pp. 406–411. (rus)
2. Pirozhkova I.G. "Exemplary" facades as a normative source of regulation of urban planning in the Russian Empire [«Obrazcovye» fasady kak normativnyj istochnik regulirovaniya gradostroitel'stva v rossijskoj imperii]. Vestnik TGU. 2006. No. 3-2. Pp. 10–12. (rus)
3. Acts of the reign of Catherine II: Institutions for the administration of provinces and charters to the nobility and cities [Akty tsarstvovaniya Yekateriny II: Uchrezhdeniya dlya upravleniya guberniy i zhalo-vannyye gramoty dvoryanstvu i gorodam]. M., 1907. 160 p. (rus)
4. Lutchenko S.I., Netsvetaeva O.V. Urban development of historical cities of the Catherine era in the Leningrad region on the example of the cities of Luga, Kingisepp and Tikhvin [Gradostroitel'noe razvitie istoricheskikh gorodov Ekaterininskoj epohi v Leningradskoj oblasti na primere gorodov Luga, Kingisepp i Tihvin]. Engineering Journal of Don. 2024. No.3 (111). URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2024/9096 (date of treatment: 10.10.2024). (rus)
5. Maslov M.M. Identity of Suzdal as a successful example of using a national-ethnic approach to creating a territorial identity [Ajdentika Suzdalya kak udachnyj primer ispol'zovaniya nacional'no-et-nicheskogo podhoda k sozdaniyu territorial'noj aj-dentiki]. Materialy XIV Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii, Blagoveshchensk, Amurskij gosudarstvennyj universitet. 2021. Pp. 42–47. DOI: 10.22250/ISS.2021.9 (rus)
6. Romanova D. Design code of the existing state improvement [Dizajnkod sushchestvuyushchego gosudarstvennogo blagoustrojstva] Sbornik statej tradicii i innovacii v stroitel'stve i arhitekture. Gradostroitel'stvo. Samara, 2018. Pp. 264–266. (rus)
7. Rules of landscaping and maintenance of the territory of the municipality of the Zanevsky urban settlement of the Vsevolozhsky municipal district of the Leningrad region dated 02/25/2020 No. 07. Zanevsky Bulletin. 2020. No. 08. with amendments and additions. ed. from 12/20/2023. Pp. 1–25. (rus)
8. Demin A., Danilova S., Bobrova D., Pryazhennikov I., Ivashin E., Egorova A. Design code and rebranding of the urban environment of small towns in the Leningrad region [Dizajn-kod i rebranding gorodskoj sredy malyh gorodov Leningradskoj oblasti] Vestnik. Zodchij.21 vek. 2017. No. 3 (64). Pp. 84–87. (rus)
9. Shcherbinin E.M. Design code as a means of developing a comfortable urban environment and a way of forming an urban identity [Dizajn-kod kak sredstvo razvitiya komfortnoj gorodskoj sredy i sposob formirovaniya gorodskoj ajdentiki]. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2024. No. 2. Pp. 59–69. DOI: 10.34031/2071-7318-2024-9-2-59-69 (rus)
10. Kozlenkov A.S., Khokhlov I.Yu., Vasilikha D.F. Identity and branding in the hotel business [Aj-dentika i brending v gostinichnom biznese] Vestnik

associacii vuzov turizma i servisa. 2019. No. 2. Pp. 64–70 (rus)

11. Khaustova I.N. Urban identity (on the example of Moscow) [Gorodskaya ajdentika (na primere Moskvu)] Materialy V Vserossijskoj (s mezhdunarodnym uchastiem) nauchno-prakticheskoy konferencii studentov, aspirantov i molodyh uchenyh «Kul'tura otkrytogo goroda: novye smysly i praktiki». Yekaterinburg: 2017. Pp. 171–174. (rus)

12. Gorbacheva D.D., Kopylov A.B., Golovin K.A. Design code and its implementation in the urban environment on the example of Tula [Dizajn-kod i ego realizaciya v gorodskoj srede na primere g. Tuly] News of TulSU. Technical sciences. 2022. No.12. Pp. 327–329. DOI: 10.24412/2071-6168-2022-12-327-330(rus)

13. Schlender R.A., Alekseeva A.V. The need for a design code for a modern Russian city (on the example of Omsk) [Neobhodimost' dizajn-koda sovremennomu rossijskomu gorodu (na primere g. Omska)] Skif. 2019. No.11 (39). Pp. 731–738. (rus)

14. Donguzov K.A., Mannasova Yu.I. Domestic experience of design coding of urban spaces [Otechestvennyj opyt dizajn-kodirovaniya gorodskih prostranstv] Scientific journal. 2022. No.2 (64). Pp. 74–76. (rus)

15. Urban Planning Code of the Russian Federation No. 190-FZ dated 12/29/2004 [as amended. from 08.08.2024 with amendments and additions, introduction. effective from 09/01/2024]. Rossiyskaya Gazeta. N 290. 30.12.2004. (rus)

16. National Model Design Code, 2021. London: Crown. 51 p.

17. Lunger C., Scheiber M. Orientierung auf Reisen. Touristische Leitsysteme. Berlin: DOM publishers, 2009. 419 p.

18. Order of the Ministry of Culture of the Russian Federation dated 02/20/2024 No. 312 "On the Information about the authors:

inclusion of the identified object of cultural heritage "Scientific town of physiologist I.P. Pavlov on the Koltush hill and Koltushskoe highway (part)", 1932-1937, mid-twentieth century (Leningrad region, Vsevolozhsky district, Pavlovo village, Koltushi (formerly Koltushi village and so on . Old), D. Kolbino, D. Toccari, D. Yanino-2, D. Suoranda, D. Hirvosti) in the Unified State Register of Cultural Heritage Objects (Historical and Cultural Monuments) of the peoples of the Russian Federation as OKN-F and approval of the boundaries of its territory" (Registered 02.04.2024 No. 77752). URL: <http://publication.pravo.gov.ru/document/0001202404030003?index=3> (accessed 08/10/2024). (rus)

19. The historical center of St. Petersburg and related groups of monuments. URL: <https://whc.unesco.org/en/list/540/maps/> (date of treatment: 08/05/2024). (rus)

20. Makarova S.N. Industrial practice as a component of professional socialization of university students [Proizvodstvennaya praktika kak sostavlyayushchaya professional'noj socializacii studentov VUZa] Modern problems of science and education. 2020. No. 2. URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=29652> (date of treatment: 13.10.2024). (rus)

21. Isachenko A.G. Ecological geography of the North-West of Russia [Ekologicheskaya geografiya Severo-Zapada Rossii]. Ch. 1-2. St. Petersburg, 1995. 192 p. (rus)

22. Educational geographical atlas of the Leningrad region and St. Petersburg [Uchebnyj geograficheskij atlas Leningradskoj oblasti i Sankt-Peterburga]. St. Petersburg: St. Petersburg. cartographic f-ka VSEGEI, 1997. 33 p. (rus)

Information about the authors

Netsvetaeva, Olga V. First Deputy Head of the state state institution "Urban Development of the territories of the Leningrad region". E-mail: Netsvetaeva.ov@grtlo.ru 195197, St. Petersburg, Zamshina str., 6, lit. Oh, office 45.

Received 30.09.2024

Для цитирования:

Нецветева О.В. Дизайн-код как метод выявления идентичности местности (на примере г. Колтуши) // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2025. № 1. С. 55–67. DOI: 10.34031/2071-7318-2024-10-1-55-67

For citation:

Netsvetaeva O.V. Design code as a way to identify the identity of the area (using the example of Koltushi). Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2025. No. 1. Pp. 55–67. DOI: 10.34031/2071-7318-2024-10-1-55-67

DOI: 10.34031/2071-7318-2024-10-1-68-81

Калита Д.И.

ООО Научно-производственное объединение «КВАНТ»

E-mail: dkalita@yandex.ru

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВОДООТДЕЛЕНИЯ ЦЕМЕНТА ПРИ ВХОДНОМ КОНТРОЛЕ КАЧЕСТВА В ПРОИЗВОДСТВЕ БЕТОНА

Аннотация. Водоотделение цемента – один из базовых показателей качества, который, однако не используется для цементов, предназначенных для изготовления рядовых бетонных смесей. В ряде случаев при входном контроле необходимо с минимальными затратами получить информацию о качестве цемента и его пригодности к применению в конкретных составах бетонной смеси. Определение водоотделения позволяет в минимальные сроки получить данные как по величине достигаемого водоотделения, так и по его кинетике.

Базовой методикой принят стандартный метод определения величины водоотделения по ГОСТ 310.6-2020, дополнительно включающий замеры высоты столба цементного теста, что позволяет построить кривую водоотделения. В модифицированных методиках использовали мерные цилиндры измененного объема.

Собраны и представлены статистические данные по водоотделению цементов производственных партий различных заводов. Изучена связь водоотделения с нормальной густотой и сроками схватывания цемента. Исследовано влияние длительного (до 5 месяцев) срока хранения цементов на величину водоотделения.

Рассмотрены геометрические факторы, влияющие на величину водоотделения и кинетику процесса: высота столба цементного теста, размеры измерительного цилиндра. Изучено влияние исходного водоцементного отношения цементного теста на величину водоотделения.

Установлена трехстадийность процесса водоотделения цемента при преобладании канального типа водоотделения. Отмечено нелинейное снижение водоотделения при уменьшении водоцементного отношения. Полученные базовые кинетические зависимости водоотделения могут быть использованы для прогнозирования водоотделения бетонных смесей.

Ключевые слова: водоотделение цемента, цементное тесто, цементная суспензия, кинетика водоотделения цемента, метод испытания, лежалый цемент.

Введение. Показатель водоотделения цемента является одним из обязательных показателей качества по ГОСТ 30515-2013 «Цементы. Общие технические условия». В РФ нормируется водоотделение цемента для бетона аэродромных покрытий, цемента для железобетонных изделий и мостовых конструкций, а также для бетона покрытий автомобильных дорог общего пользования - показатель не должен превышать 28%. Для цементов по ГОСТ 31108-2020 «Цементы общестроительные. Технические условия», составляющих подавляющий объем производства в стране этот показатель не является обязательным, и в документе о качестве на партию цемента он не отражается.

Потребитель цемента при изготовлении бетонных смесей по ГОСТ 7473-2010 «Смеси бетонные. Технические условия» осуществляет входной контроль цемента по перечню показателей, не включающему водоотделение. В целом, показатель водоотделения не используется при входном контроле качества цемента не предназначенного для транспортного строительства.

Производители цемента не имеют необходимости регулировать водоотделение, зависящее от

множества факторов. Между тем, значение величины водоотделения находится в определенных пределах, которые будут определяться стабильностью технологии производства и качества сырья. Существенные отклонения последних не могут не повлиять на величину водоотделения.

В случае проведения испытаний в рамках входного контроля полученные данные далее не используются в процессе производства бетонных смесей, поскольку связь показателя водоотделения с прочими показателями качества цемента и параметрами качества бетонных и растворных смесей в литературе раскрыта слабо, а статистические данные по водоотделению цементов в открытой печати отсутствуют. Стандартная же методика ГОСТ 310.6-2020 не предполагает получения данных по кинетике протекания процесса.

Цементное тесто, представляющее собой концентрированную полидисперсную суспензию цементных зерен в воде можно рассматривать как структурированную жидкость. Стойкость цементного теста к водоотделению обеспечивается тогда, когда структура, образующаяся за счет сил Ван-дер-Ваальса, достаточно прочна, чтобы противодействовать влиянию гравитации на ча-

стицы и препятствовать их оседанию [1]. Седиментационные процессы в цементном тесте имеют место только до образования устойчивой коагуляционной структуры, одной из причин появления которой является протекание процесса схватывания. Все факторы, содействующие ускорению образования коагуляционной структуры, таким образом будут уменьшать водоотделение.

Водоудерживающая способность цементов зависит от объема образующихся коагуляционных структур, а также от количества, образуемого этtringита и размеров его кристаллов. При малых дозировках гипса отмечается образование мелкокристаллического этtringита, что, особенно при высоких значениях В/Ц, не может обеспечить создание сплошной структуры в материале. При высоких дозировках гипса в объеме цементной суспензии формируются крупные кристаллы, вызывающие создание жесткой структуры материала, не допускающей протекание седиментационного уплотнения системы. Оптимальное количество гипса, вводимое в цемент для регулирования сроков схватывания, зависит от минералогического состава клинкера (в основном от содержания алюминатной фазы) и его тонкости помола [2].

Водоотделение цемента зависит и от прочих факторов, в том числе от минералогического и гранулометрического состава, удельной поверхности, вида и количества минеральных добавок и интенсификаторов помола.

Заметное влияние оказывает удельная поверхность цемента: чем ниже удельная поверхность, тем выше водоотделение цемента [3, 4]. При этом частичное замещение цемента минеральными добавками, например, молотым известняком не влияет на водоотделение, если удельная поверхность цемента с добавкой не изменяется [5]. По другим данным увеличение удельной поверхности не сказывается на величине водоотделения, но уменьшает скорость водоотделения [6]. На многие показатели качества цемента влияет не столько удельная поверхность, как показатели гранулометрического состава. Правильный подбор вида и дозировки интенсификаторов помола цементного клинкера позволяет регулировать гранулометрический состав цемента, уменьшая как количество крупных фракций (более 30 мкм), так и количество мелкой фракции 0-5 мкм, что позволяет в итоге управлять водоотделением цемента [7, 8].

При хранении цемента в нем под воздействием паров воды и CO_2 воздуха протекают физико-химические процессы, связанные с процессами гидролиза и гидратации в поверхностных слоях зерен, в первую очередь наиболее реакционно способных минералов портландцементного

клинкера [9]. В результате связывания отдельных частиц цемента продуктами гидратации, а также вторичными продуктами карбонизации гидратов происходит комкование цемента [10–12]. Продукты предгидратации выступают затравками гидратации цемента при его затворении, при этом сроки начала схватывания уменьшаются [13]. Выдерживание цемента в силосах, ввиду протекания на поверхности зерен гидратационных процессов, приводит как к снижению водоотделения до 5–15 % [14, 15], так и уменьшению его активности. Последнее особенно заметно на тонкоизмельченных и быстротвердеющих цементах.

Не подвергается сомнению влияние величины водоцементного отношения (В/Ц) на кинетику протекания процесса гидратации цемента, структурообразования и водоотделения цементного теста. При снижении В/Ц уменьшается водоотделение, при достижении некоторого предельного значения В/Ц перестает визуально фиксировать отделение жидкой фазы. Однако седиментация в цементном тесте без заметного отделения воды может протекать уже при В/Ц=0,28 [16]. Увеличение В/Ц увеличивает количество выделяемой воды, при этом скорость водоотделения в диапазоне В/Ц=0,5-1,1 практически линейно зависит от В/Ц [17].

Водоотделение может происходить либо постепенно (т.н. "нормальное водоотделение") или за счет образования каналов в толще цементного теста (т.н. "канальное водоотделение"). Нормальное водоотделение характеризуется скоростью водоотделения, которая изначально постоянна, затем следует период уменьшения скорости, а затем внезапное прекращение из-за начала схватывания цементного теста, тогда как канальное водоотделение характеризуется внезапным увеличением скорости водоотделения через некоторое время из-за образования каналов [18, 19].

Из-за отличающихся условий экспериментов в диапазоне В/Ц от 0,5 до 1,6 разные исследователи отмечают оба типа водоотделения. При нормальном водоотделении [17] индукционный период отсутствует, скорость водоотделения практически постоянна вплоть до высокой степени завершенности процесса. При канальном водоотделении процесс начинается с длительного индукционного периода, во время которого формируется система вертикальных каналов, по которым вода вытесняется из концентрированной суспензии, затем следует период с нарастанием скорости, в течение которого образуются водоотводящие каналы, после чего вытеснение воды происходит с постоянной скоростью; на завершающей стадии процесса скорость водоотделения падает [20]. В то же время в исследованиях

[21, 22] отмечается возрастающая скорость водоотделения с момента окончания перемешивания суспензии с достижением максимальной скорости процесса через 5–10 минут и практически полным его окончанием через 40–50 минут.

Задачей исследования ставилось:

- анализ статистических данных по водоотделению цементов ряда заводов в течение длительного времени наблюдения, с целью возможного использования для идентификации марок цемента и заводов-производителей и определения стабильности качества цемента;
- изучение влияния времени хранения цемента на величину водоотделения;
- получение данных по кинетике процесса водоотделения, в условиях использования как

стандартной методики ГОСТ 310.6-2020, так и модифицированной.

Материалы и методы. В исследованиях использованы портландцементы, произведенные по ГОСТ 31108-2020 в течение 2022-2023 г (табл.1), активная минеральная добавка ECOFIL-480 (молотый гранулированный доменный шлак) производства ООО «Мечел-Материалы» (табл. 2).

Испытания каждой пробы цемента производились по показателям: нормальная густота, сроки схватывания, водоотделение. Нормальная густота и сроки схватывания цемента определялись по методике ГОСТ 30744-2001.

Таблица 1

Показатели качества цемента (по документам о качестве)

Характеристики цемента		Тип и класс цемента, производитель			
		ЦЕМ I 42,5Н ООО «Петербургце- мент»	ЦЕМ 0 42,5Н АО «Пикалевский цемент»	ЦЕМ II/В-III 42,5Н ОАО «Сланцевский цементный завод»	ЦЕМ I 42,5Н ЗАО «Осколце- мент»
Способ производства клинкера		сухой	мокрый	сухой	мокрый
Способ помола		замкнутый	открытый	замкнутый	открытый
Удельная поверхность, м ² /кг		391 *	390*	400–430	300–320
Химический состав клинкера, %	C ₃ S	56,0–60,8	62,4*	65,4	60,17
	C ₂ S	13,2–18,5	17,1 *	10,9	15,39
	C ₃ S+ C ₂ S	72,0–76,6	78,5–81,4	76,3	75,56
	C ₃ A	6,6–8,0	4,8–6,5	7,1	6,7
	C ₄ AF	9,0–11,0	10,3–11,5	10,1	10,1
	Na ₂ O+K ₂ O	1,21–1,22	0,96–1,14	0,95–1,03	0,60
Нормальная густота, %		31,4–32,6	23,2–27,4	27,0–30,0	25,0
Срок начала схватывания, мин		155–200	140–185	180–230	220

* - средние значения за I полугодие 2022 г по данным производителя

Таблица 2

Показатели качества минеральной добавки ECOFIL-480

Удельная поверхность, м ² /кг	Тонкость помола, проход через сито №0045, %	Химический состав, %				Срок начала схватывания, начало, мин	Прочность при сжатии в 28 суток, МПа
		MgO	Na ₂ O+ 0,658K ₂ O	CaO+MgO +SiO ₂	(CaO+MgO) / SiO ₂		
504	99,9	11,13	0,74	82,49	1,5	150	15,4

Водоотделение цемента в целях получения статистических данных исследовалось при водоцементном отношении (В/Ц) равном 1,0. В прочих экспериментах В/Ц охватывало диапазон, реально используемый в производстве товарных бетонных смесей (0,5–1,0), в особых случаях, представляющих интерес превышало его (1,0–1,4).

Определение водоотделения производилось по методике ГОСТ 310.6-2020 в стеклянных цилиндрах по ГОСТ 1770-74 емкостью 500 см³ (в дополнительных опытах - в цилиндрах емкостью 250, 100 и 25 см³), при начальном уровне заполнения цилиндра суспензией 460–465 см³ (245–250, 97–100, 24,7–25,0 см³ соответственно).

Ручное перемешивание цементного теста по методике ГОСТ 310.6-2020 не всегда обеспечи-

вало стабильный результат гомогенизации суспензии, поскольку интенсивность перемешивания стандартом не нормируется. Стабильные результаты перемешивания цементного теста получены при скорости перемешивания не менее 90–120 об/мин.

Цементное тесто, изготовленное путем ручного перемешивания цемента с дистиллированной водой, оставлялось для оседания в мерном цилиндре до полного завершения процесса, после чего определялся объем осевшего цементного теста.

Для определения кинетических характеристик процесса водоотделения замеры производились каждые 5–20 минут. Во избежание испарения воды цилиндры во время опыта закрывались полимерной пленкой.

Водоотделение рассчитывалось в объемных процентах по формуле:

$$W = \frac{a-b}{a} \cdot 100, \quad (1)$$

где a – первоначальный объем цементного теста, см³; b – объем осевшего цементного теста, см³.

Основная часть. Водоотделение отдельных партий цемента ЦЕМ I 42,5Н производства ООО «Петербургцемент» варьируется в широких пределах, причем изменение этого параметра от партии к партии зачастую носит скачкообразный характер и слабо прогнозируется (рис. 1). Полученные по результатам измерения водоотделения цемента данные удовлетворительно аппроксимируются линейной функцией, что свидетельствует об отсутствии фактора сезонности и достаточно высокой стабильности качества цемента. Можно отметить, что отдельные партии цемента показывают водоотделение существенно ниже средних значений, в диапазоне 15–20 %.

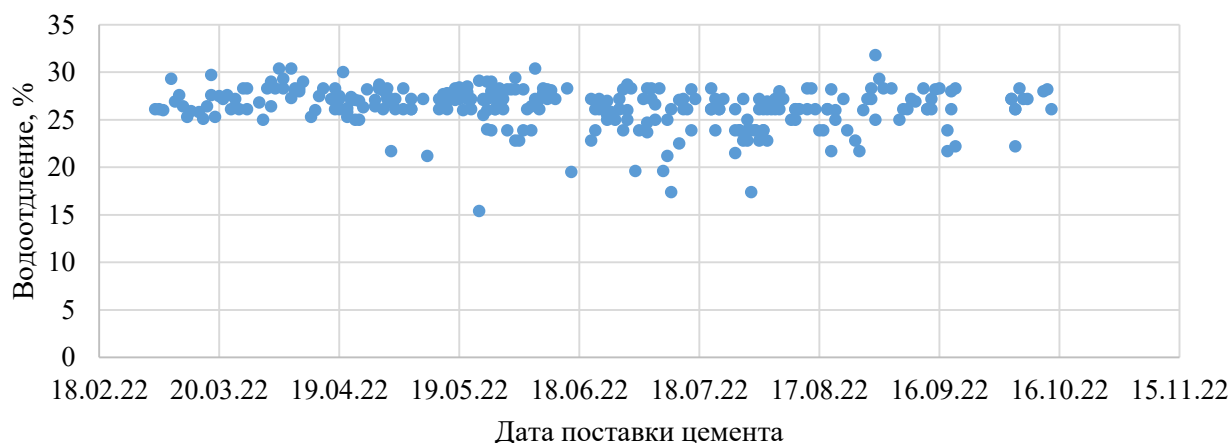


Рис. 1. Водоотделение цемента ЦЕМ I 42,5Н производства ООО «Петербургцемент»

Данные по водоотделению цемента ЦЕМ 0 42,5Н производства АО «Пикалевский цемент» (рис. 2) также демонстрируют скачкообразное изменение от партии к партии, при этом размах колебаний существенно выше, часть партий цемента имеет водоотделение ниже 15 %.

Следует отметить, что именно на партиях цемента с водоотделением менее 15 % отмечались признаки ложного схватывания как в лабораторных испытаниях, так и при использовании в производстве.

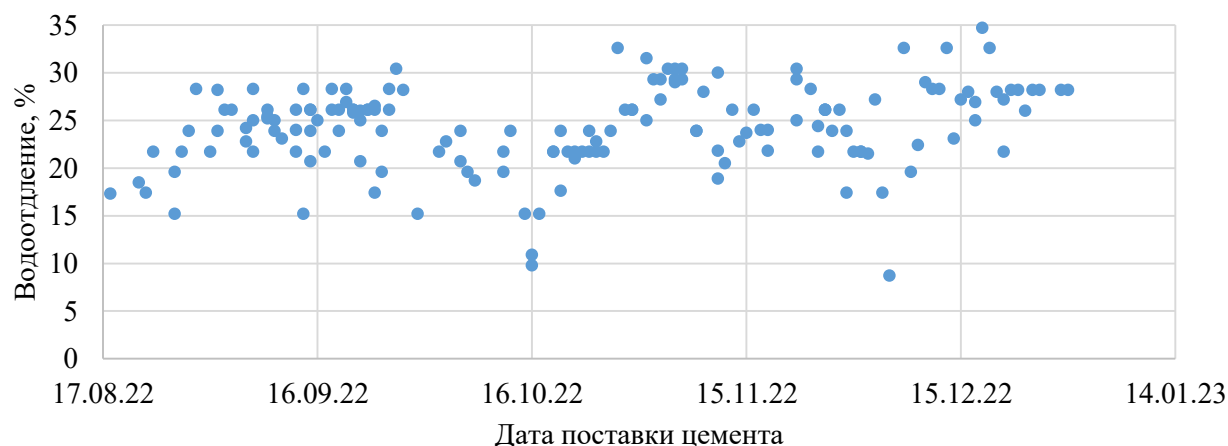


Рис. 2. Водоотделение цемента ЦЕМ 0 42,5Н производства АО «Пикалевский цемент»

Применение теста Харке-Бера к данным по водоотделению цемента производства ООО «Петербургцемент» и АО «Пикалевский цемент» позволило опровергнуть гипотезу о распределении данных по нормальному закону. Полученные медианные значения показателя водо-

отделения испытываемых цементах разных производителей довольно близки и находятся в диапазоне 23–27 %, что с учетом имеющего место разброса значений от партии к партии не позволяет использовать результаты испытаний на водоотделение для идентификации цемента по производителю или марке (табл. 3).

Таблица 3

Показатели водоотделения цемента по данным входного контроля в течение 2022 г.

Тип и класс цемента, производитель	Количество проб	Водоотделение цемента, %			
		Минимальное значение	Максимальное значение	Размах	Медиана
ЦЕМ I 42,5Н ООО «Петербургцемент»	291	15,4	31,8	16,4	26,8
ЦЕМ 0 42,5Н АО «Пикалевский цемент»	174	8,7	34,7	26,0	25,0
ЦЕМ II/В-III 42,5Н ОАО «Сланцевский цементный завод»	43	13,9	28,0	14,1	23,4

Слабая положительная корреляция сроков схватывания цемента с показателем водоотделения была установлена только для цемента ЦЕМ I 42,5Н производства ООО «Петербургце-

мент» (рис. 3). Для остальных исследованных цементах связь тонкости помола по остатку на сите №008, нормальной густоты цементного теста и сроков его схватывания с водоотделением цемента не выявлена.

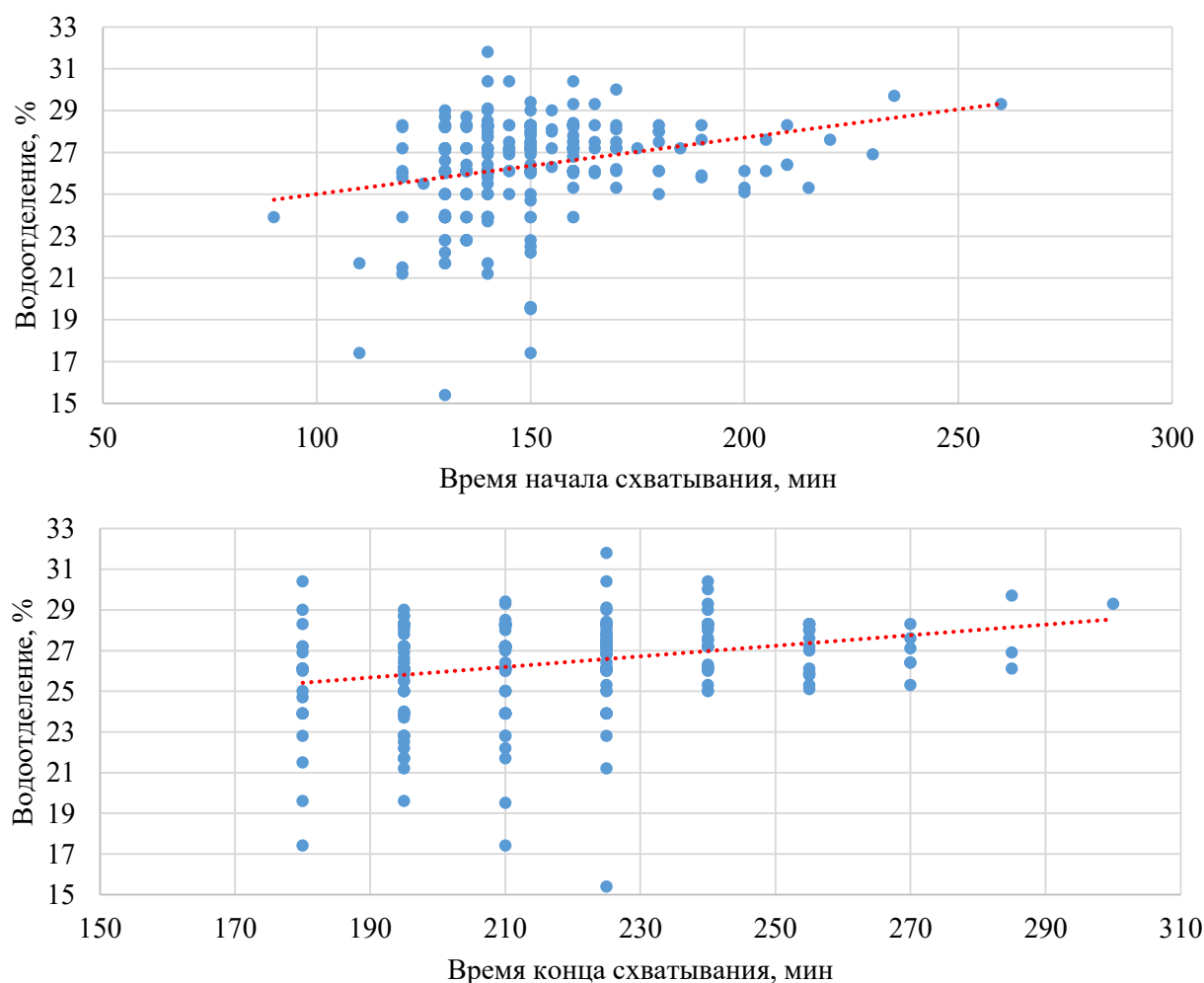


Рис. 3. Зависимость водоотделения цемента ЦЕМ I 42,5Н ООО «Петербургцемент» от сроков схватывания

При использовании партии цемента АО «Пикалевский цемент» с водоотделением 8,7–10,9 % в производстве бетона отмечены признаки ложного схватывания, потребовавшие существенной корректировки состава бетона. При использовании в производстве бетона партий цемента с водоотделением от 15 до 35 % показатели качества бетонных смесей оставались в допустимых пределах без каких-либо корректировок состава. Таким образом при водоотделении цемента менее 10–15 % возможно появление признаков ложного схватывания, что потребует корректировок состава бетонной смеси.

Выдерживание цемента после отбора проб в закрытой таре при температуре 20 ± 5 °С (как имитация хранения в течение гарантийного срока годности, составляющего 2 мес.) приводит к уменьшению водоотделения в диапазоне 0,5–2,9 % (табл. 4). При дальнейшем хранении цемента тенденция к уменьшению водоотделения сохраняется и при сроке хранения 5 месяцев во-

доотделение уменьшается на 2,6–11,8 %. Происходящие на поверхности зерен цемента физико-химические реакции, включающие взаимодействие с влагой и углекислым газом воздуха, приводят к образованию продуктов, служащих ускорителями протекания процессов гидратации при затворении цемента. Стойкость цемента к хранению определяется его составом, так, цемент АО «Пикалевский цемент» ЦЕМ 0 42,5Н обладает заметно меньшей стойкостью, чем остальные испытанные цементы, что возможно обусловлено особенностями состава цемента. При хранении частицы цемента образуют агломераты, которые при относительно слабом механическом воздействии (просеивание через сито №09, приготовление цементного теста) не разрушаются. Более крупные частицы лежалого цемента в суспензии оседают быстрее и время достижения полного водоотделения для цемента со сроком хранения 5 месяцев сокращается на 20–30 %.

Таблица 4

Изменение водоотделения цемента после хранения

Тип и класс цемента, производитель	Время хранения цемента, мес.					Изменение за 2 мес., %	Изменение за 5 мес., %
	0	1	2	3	5		
ЦЕМ I 42,5Н ООО «Петербургцемент»	26,1	25,1	23,2	–	18,8	2,9	7,3
ЦЕМ 0 42,5Н АО «Пикалевский цемент»	26,1	22,6	21,9	17,3	14,3	4,2	11,8
ЦЕМ II/В-III 42,5Н ОАО «Сланцевский цементный завод»	24,2	23,7	22,8	-	21,6	1,4	2,6

Аналогичное по характеру влияние на водоотделение оказывает предварительная гидратация цемента в составе цементного теста (рис. 5), когда начало процесса седиментации искусственно отодвигается от начала эксперимента путём дополнительного перемешивания цементного теста перед перемещением в мерный цилиндр. По мере выдержки цементной суспензии,

происходящие в ней процессы гидратации цемента, приводят к повышению структурной вязкости системы. Дополнительное перемешивание перед переливанием в мерный цилиндр не разрушает полностью возникшие структурные связи, поэтому более вязкие выдержанные суспензии демонстрируют меньшее водоотделение.

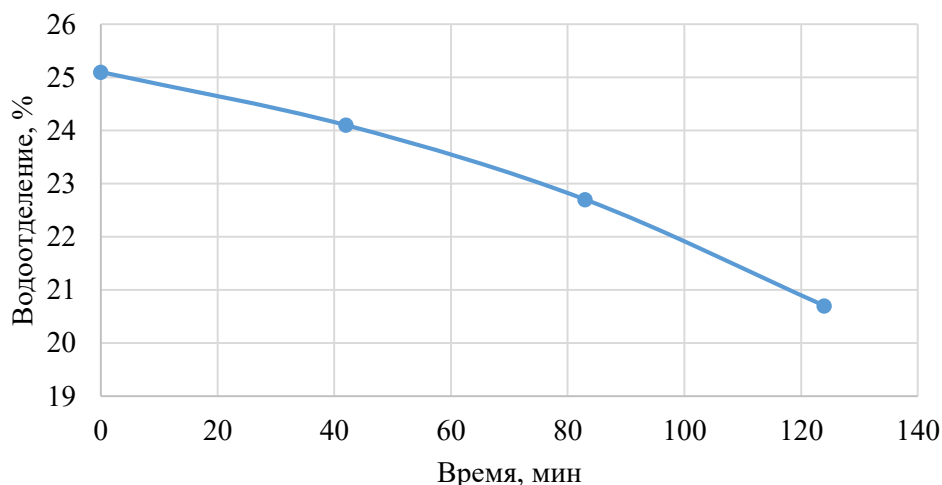


Рис. 5. Зависимость водоотделения цемента ЦЕМ I 42,5Н ООО «Петербургцемент» от времени выдержки после приготовления цементного теста

Общий вид кинетических кривых водоотделения всех цементов (табл. 1) как для свежих, так и для лежалых, а также для предварительно затворенных цементных суспензий соответствует представленному на рис. 6. Исследования кинетики водоотделения показали, что процесс, который протекает с меняющейся скоростью, можно разбить на три этапа (рис. 7). На начальном этапе длительностью 10–40 минут происходит резкое возрастание скорости водоотделения, без какого-либо заметного индукционного периода. На втором основном этапе длительностью 20–70 минут возможен как вариант стабилизации скорости на одном уровне («плато»), что позволяет аппроксимировать скорость водоотделения функцией линейной регрессии, так и вариант достаточно плавного изменения скорости. На завершающем этапе длительностью до 60 минут отмечается резкое снижение скорости водоотделения.

В процессе водоотделения образцы разделяются на уплотненный слой цементной суспензии

в нижней части измерительного цилиндра и нарастающий слой выделяющейся воды в верхней части цилиндра. Во всех опытах оба слоя четко разделены друг от друга. Полное окончание водоотделения наступает через 80–170 минут от начала испытаний.

Вариант протекания процесса в три этапа с выходом кривой изменения скорости процесса на плато является наиболее частым. Следует отметить, что вид кинетической кривой может несколько отличаться даже на двух параллельных испытаниях одной пробы цемента. На вид кинетической кривой могут влиять как свойства самого цемента, меняющиеся от партии к партии, так и неучтенные внешние факторы при проведении испытаний. При этом максимальная достигаемая величина водоотделения для отдельной каждой пробы цемента остается практически постоянной, являясь стабильным параметром качества цемента.

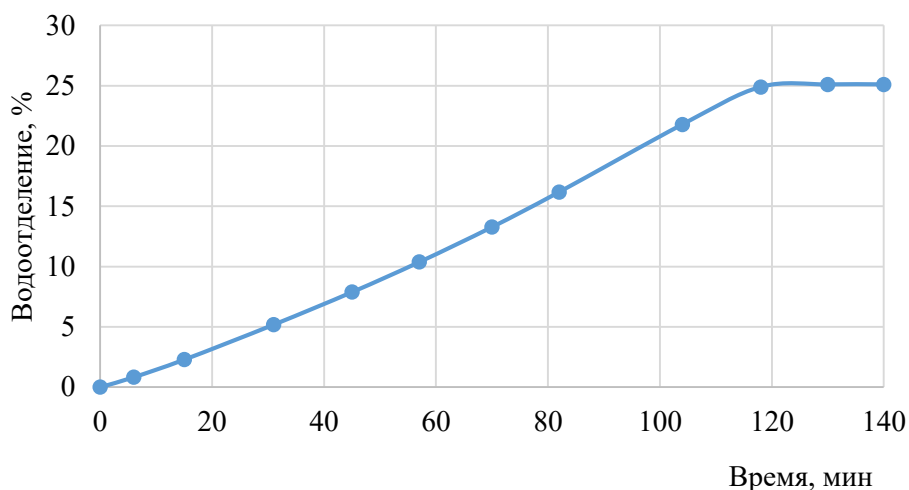


Рис. 6. Кинетическая кривая водоотделения цементного теста ЦЕМ I 42,5Н ООО «Петербургцемент»

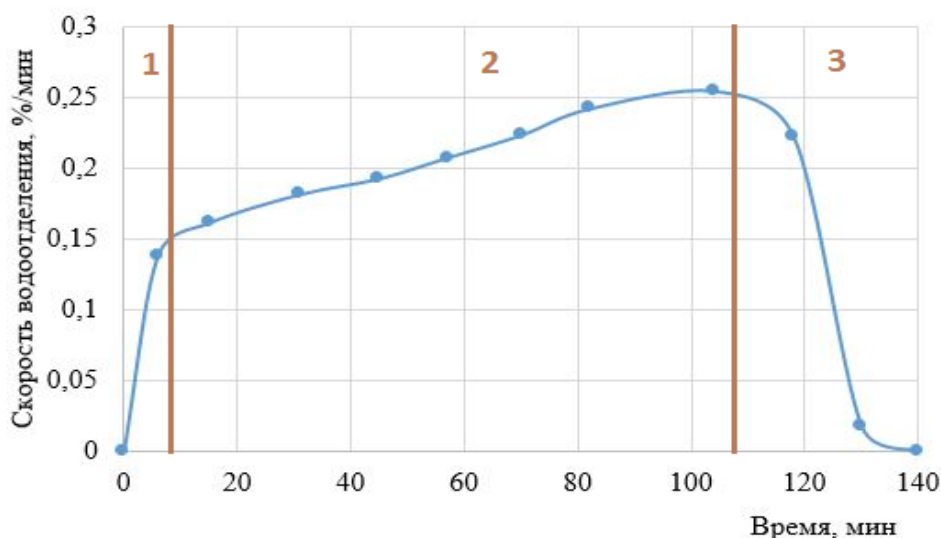


Рис. 7. Кривая изменения скорости водоотделения цементного теста ЦЕМ I 42,5Н ООО «Петербургцемент»
1 – начальный этап водоотделения, 2 – основной этап, 3 – завершающий этап

Исследования водоотделения цемента с использованием стеклянных цилиндров уменьшенной емкости проводилось с целью определения возможности использования методик, отличающихся малым расходом материалов. Используемые измерительные цилиндры имеют, в зависимости от объема, разную цену деления (табл. 5). Определение объема осевшего цементного теста проводится визуально с точностью 0,5 см³, ориентируясь на ближайшее деление шкалы и гра-

ницу раздела воды и цементной суспензии в цилиндре. Длина шкалы, приходящаяся на каждые 0,5 см³ объема, существенно зависит от объема цилиндра. Требуемая ГОСТ 310.6-2020 точность измерения в 0,5 см³ гораздо легче может быть обеспечена на цилиндрах уменьшенных объемов. Однако при этом увеличивается относительная погрешность измерения. Так, переход от цилиндров емкостью 500 см³ к цилиндрам емкостью 25 см³ снижает относительную точность определения объема более чем в 2 раза.

Таблица 5

Геометрические параметры измерительных цилиндров

Объем цилиндра, см ³	Внутренний диаметр цилиндра, мм	Высота мерной части цилиндра, мм	Цена деления, см ³	Объем цилиндра на 1 мм шкалы, см ³	Объем цилиндра на 1 мм шкалы, %
500	50	253	5	2	0,40
250	39	211	2	1,35	0,54
100	27	171	1	0,58	0,58
25	17	106	0,5	0,24	0,96

Для цементов ЦЕМ 0 42,5Н АО «Пикалевский цемент» и ЦЕМ II/В-III 42,5Н ОАО «Сланцевский цементный завод» время окончания процесса водоотделения прямо пропорционально зависит от высоты столба цементной суспензии, снижаясь практически вдвое при уменьшении объема цилиндра с 500 до 25 см³, в то время как для молотого доменного шлака можно отметить только заметное снижение времени окончания

процесса при уменьшении объема цилиндра с 500 до 250 см³, практически не изменяющееся при дальнейшем уменьшении до 25 см³ (рис. 8). Для показателя водоотделения ситуация обратная: молотый доменный шлак при уменьшении объема цилиндра с 500 до 25 см³ демонстрирует уменьшение водоотделения в два раза, в то время как на цементе водоотделение снижается не столь резко (табл. 6).

Таблица 6

Показатели процесса водоотделения в зависимости от объема измерительного цилиндра

Объем цилиндра, см ³	Материал		
	ЦЕМ 0 42,5Н АО «Пикалевский цемент»	ЦЕМ II/В-III 42,5Н ОАО «Сланцевский цементный завод»	Молотый гранулированный доменный шлак ООО «Мечел-Материалы»
Время окончания процесса водоотделения, мин			
500	153	143	108
250	140	133	85
100	113	104	80
25	77	74	77
Водоотделение, %			
500	30,3	27,5	12,9
250	29,1	27,6	10,9
100	28,6	27,1	6,2
25	26,3	26,0	5,9

Природа материала, используемого для изготовления суспензии (теста) и его химический состав по всей видимости влияют на столь разный характер поведения суспензии при изменении геометрических размеров столба суспензии.

Изменение объема используемого цилиндра с 500 до 25 мм влечёт уменьшение высоты и диаметра столба суспензии более чем в два раза, что

увеличивает влияние краевых эффектов. Влияние изменения геометрических размеров столба суспензии (высоты и диаметра) на параметры процесса водоотделения цемента проявляется в уменьшении максимально достигаемого значения водоотделения, и существенном ускорении окончания процесса при уменьшении размеров цилиндров.

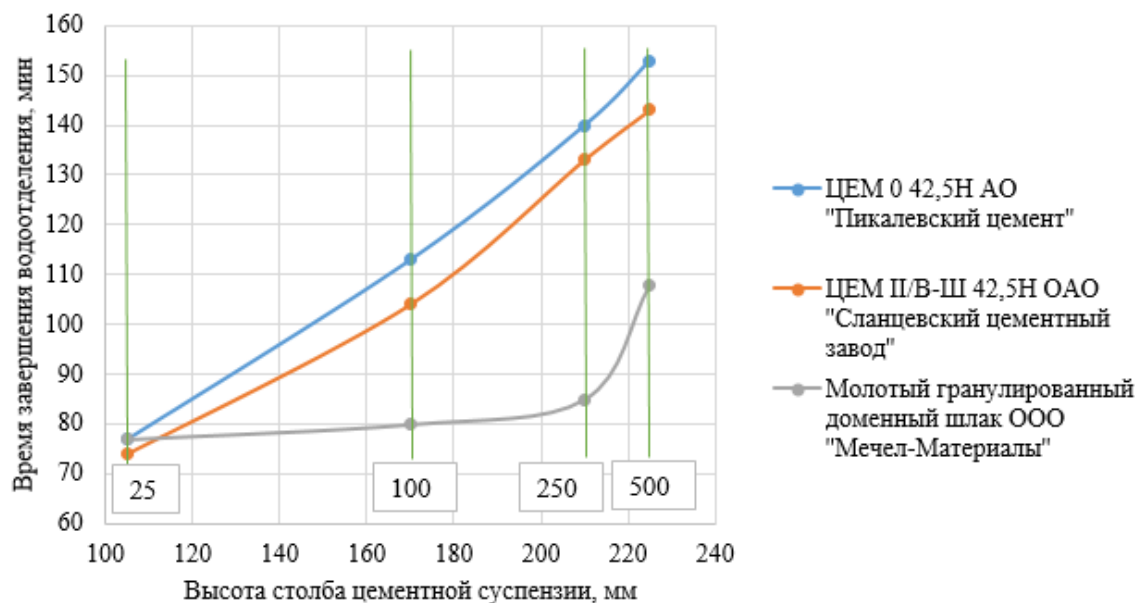


Рис. 8. Водоотделение цементного теста от начальной высоты столба при использовании измерительных цилиндров разных объемов (500, 250, 100, 25 см³)

Для определения влияния только высоты столба цементного теста на параметры процесса водоотделения были проведены испытания, ре-

зультаты которых отражены в таблице 7. Кинетические кривые и соответствующие им кривые скорости водоотделения представлены на рис. 9 и 10.

Таблица 7

Показатели процесса водоотделения в зависимости от исходного объема цементного теста (цемент АО «Пикалевский цемент» ЦЕМ 0 42,5Н; измерительный цилиндр объемом 500 см³)

Объем цементного теста, см ³	Высота столба цементного теста, мм	Время окончания водоотделения, мин	Водоотделение, %	Время достижения максимальной скорости, мин
500	253	98	30,0	88
335	173	86	29,6	56
261	133	60	28,4	40
186	97	56	28,5	31

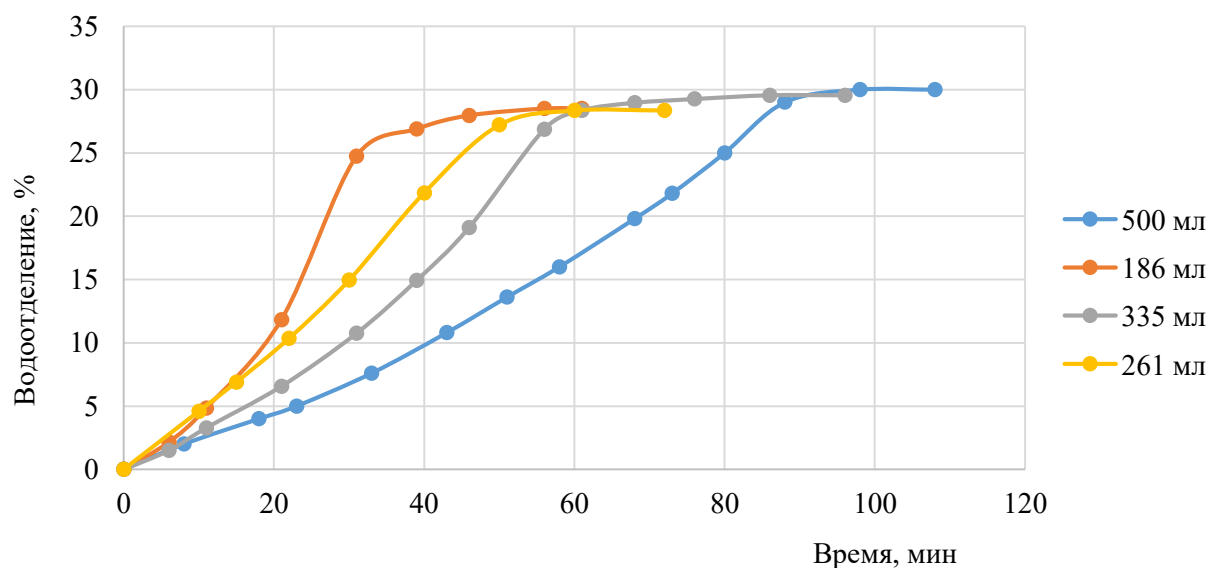


Рис. 9. Кинетические кривые водоотделения цементного теста при различном его начальном объеме (цемент АО «Пикалевский цемент» ЦЕМ 0 42,5Н; измерительный цилиндр объемом 500 см³)

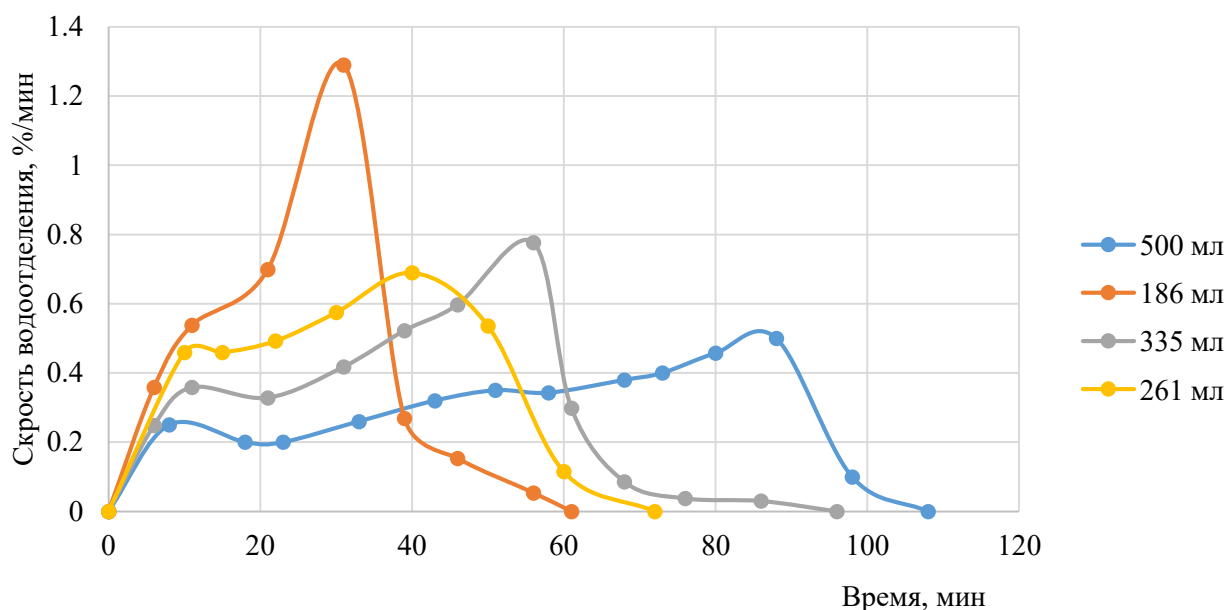


Рис. 10. Кривые изменения скорости водоотделения цементного теста при различном его начальном объеме (цемент АО «Пикалевский цемент» ЦЕМ 0 42,5Н; измерительный цилиндр объемом 500 см³)

Общий вид кинетических кривых при изменении высоты столба цементного теста сохраняется неизменным. Время завершения процесса водоотделения прямо пропорционально уменьшается с уменьшением высоты столба суспензии. Прямо пропорционально уменьшению столба суспензии уменьшается и время достижения максимальной скорости процесса водоотделения. Максимальная достигаемая скорость процесса водоотделения при уменьшении исходной высоты столба цементной суспензии увеличивается, что приводит к более раннему завершению процесса водоотделения при несколько меньшей достигаемой величине водоотделения.

Использование для испытаний на водоотделение мерных цилиндров объемом менее 500 см³ позволяет провести испытания и получить данные по величине водоотделения. Однако значения водоотделения для цемента получаются заниженными. Такие параметры процесса водоотделения как время достижения максимальной скорости и время завершения процесса прямо пропорционально зависят от высоты столба цементного теста и при изменении типа мерного цилиндра отклонения в полученных данных будут весьма существенными.

Скорость завершения водоотделения таким образом зависит от высоты столба цементного теста, что не позволяет напрямую связывать время завершения водоотделения с временем протекания определенных химических и физико-химических процессов в цементном тесте (в частности таких как тепловыделение), скорость которых не зависит от геометрических параметров испытываемого образца цементного теста.

Использование стандартной методики ГОСТ 310.6-2020 с определением водоотделения цемента в цилиндрах емкостью 500 см³ по сравнению с цилиндрами емкостью 250, 100, 25 см³ позволяет наблюдать более длительное протекание процесса водоотделения и проводить замеры количества выделившейся воды с более высокой точностью, чем на цилиндрах уменьшенного объема.

Определение водоотделения цемента по ГОСТ 310.6-2020 производится при фиксированном значении В/Ц равном 1,0. Однако уменьшение величины водоотделения при уменьшении В/Ц цементного теста не описывается ожидаемой линейной зависимости (рис. 11). Вид зависимости водоотделения цемента от начального В/Ц существенно зависит от природы цемента.

Ранжирование цементов по величине водоотделения, достигнутом при В/Ц=1,0 радикально меняется при проведении испытаний цементного теста с В/Ц=0,5–0,7, более соответствующем реальному его значению в бетонах и растворах. Так, цемент производства ООО «Петербургцемент», проявляющий самое высокое водоотделение при нормированном В/Ц=1,0 менее остальных склонен к водоотделению при В/Ц=0,50 демонстрируя практически полное отсутствие водоотделения; а цемент ЗАО «Осколцемент», показывающий самое низкое водоотделение в диапазоне В/Ц=1,0–1,4 – при В/Ц=0,50 имеет заметное водоотделение, превышающее таковое для остальных испытанных цементов.

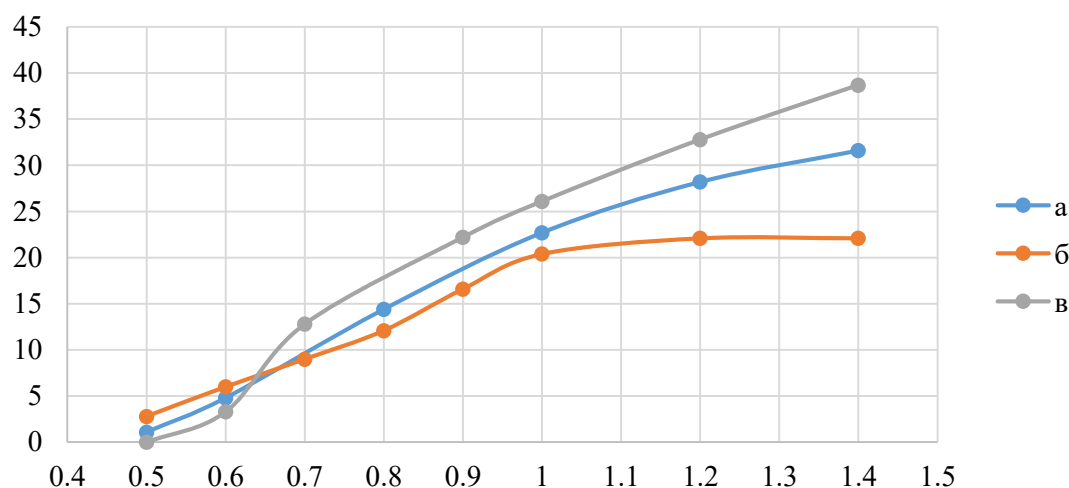


Рис. 11. Водоотделение цементного теста от величины В/Ц:
 а – ЦЕМ II/В-III 42,5Н ОАО «Сланцевский цементный завод», б – ЦЕМ I 42,5Н ЗАО «Осколцемент»,
 в – ЦЕМ I 42,5Н ООО «Петербургцемент»

Выводы.

1. Медианные значения показателя водоотделения испытываемых цементов разных производителей близки и находятся в диапазоне 23–27 %, что с учетом фактического размаха значений в исследуемом периоде не позволяет по величине водоотделения идентифицировать марку и/или производителя цемента. Изменение значений водоотделения от партии к партии носит не плавный, а скачкообразный характер.

2. Установлено, что методика испытаний ГОСТ 310.6 применима как для нахождения величины водоотделения, так и для определения параметров кинетики процесса. В большинстве случаев при проведении испытаний по методике ГОСТ 310.6 водоотделение цемента носит канальный характер с увеличением скорости процесса по мере его протекания.

3. Отличия кинетики водоотделения на цементах разных марок, в частности время достижения максимальной скорости процесса, могут являться предметом более глубокого изучения, однако в целях производственных предпочтений должно быть отдано определению максимального значения водоотделения по ГОСТ 310.6.

4. Цементы при хранении проявляют тенденцию к уменьшению водоотделения, зависящую, вероятно, среди прочих факторов и от химического состава цемента.

5. Использование для испытаний уменьшенных объемов цементного теста в мерных цилиндрах объемом менее 500 см³ нежелательно как из-за сниженной точности определения значений водоотделения, так и по причине получения заниженных значений водоотделения. Время достижения максимальной скорости, время за-

вершения процесса водоотделения прямо пропорционально уменьшаются при уменьшении высоты столба цементного теста.

6. Снижение водоотделения цементов при уменьшении водоцементного отношения в пастах носит неравномерный характер, что не позволяет по результатам стандартных испытаний по водоотделению прогнозировать водоотделение бетонов. При выборе цемента, обеспечивающего нормированное водоотделение в бетоне (особенно это касается дорожных бетонов) необходимо принимать во внимание результаты испытаний не только при значениях В/Ц, требуемых ГОСТ 310.6, но и при реальных В/Ц, имеющих место в бетонах.

7. Полученные кинетические зависимости водоотделения могут быть использованы для прогнозирования водоотделения бетонных смесей.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Брыков А.С. Причины нестабильности водоотделения цементного теста // Цемент и его применение. 2021. №6. С.72–74.
2. Пашенко А.А., Мясникова Е.А., Гумен В.С., Ревсютин Ю.Р. Теория цемента. Киев: Будівельник, 1991. 168 с.
3. Янцарикова Д., Хела Р., Нецвет В., Перина Т. Влияние колебаний в характеристиках цемента на его водоотделение // Цемент и его применение. 2022. №1. С. 118–121.
4. Yan Liang Ji, Zhen Ping Sun, Min Pang. The Influence of Various Gypsum Dosage, Specific Area of Cement and Water Reducers on Bleeding of Fresh Cement Paste Using Low-Field NMR // Materials Science Forum. 2021. Vol. 1036. Pp. 255–262. DOI: 10.4028/www.scientific.net/MSF.1036.255

5. Tennis P.D., Thomas M.D.A., Weiss W.J. State-of-the-art report on use of limestone in cements at levels of up to 15 % // SN 3148, Portland Cement Association, Skokie, Illinois, USA, 2011. 78 p.
6. Жумалиев К.М., Барпиев Б.Б., Абытов А.Б. Зависимость коэффициента водоотделения КВ от удельной поверхности и фазового состава цемента // *Материаловедение*. 2014. № 4. С. 5–7.
7. Ильин Д.С., Фрейдун А.И., Леардини К. Уменьшение водоотделения цемента при помощи интенсификаторов помола // *Цемент и его применение*. 2021. № 1. С. 71–73.
8. Wainwright P.J., Ait-Aider H. The influence of cement source and slag addition on the bleeding of concrete // *Cement and Concrete Research*. 1995. Vol. 25. № 7. Pp. 1445–1456.
9. Адамцевич А.О., Еремин А.В., Пустовгар А.П., Пашкевич С.А. Исследование влияния внешних факторов на свойства портландцемента в условиях длительного хранения // *Строительные материалы*. 2015. № 1. С. 53–57.
10. Крутилин А.А., Крапчотова Т.В., Инькова Н.А., Пахомова О.К. Исследование физико-химических процессов, сопровождающих коррозию цементов («слёживание») во влажном воздухе, содержащем углекислоту // *Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки*. 2021. Т.48. № 2. С. 103–112. DOI: 10.21822/2073-6185-2021-48-2-103-112
11. Дубина Э., Планк Й., Вадсё Л., Блэк Л., Кёниг Х. Исследование стойкости цемента при его хранении в сухих строительных смесях. Часть 1. Поверхностная гидратация клинкерных фаз, свободной извести и сульфатных фаз при поглощении влаги из воздуха // *ALITinform: Цемент. Бетон. Сухие смеси*. 2011. № 3 (20). С. 38–45.
12. Баженова О.Ю., Баженова С.И. К вопросу повышения качества цемента // *Успехи современной науки*. 2017. Т.6. №3. С. 31–33.
13. Головизнина Т.Е. Влияние длительного хранения на свойства цементов // *Наукоемкие технологии и инновации: сборник докладов международной научно-практической конференции*, Белгород, 06–07 октября 2016 года. Том Часть 1. Белгород. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. 2016. С. 70–74
14. Кузнецов А.М. Технология вяжущих веществ и изделий из них. М.: Высш. шк., 1963. 455 с.
15. Шахова Л.Д., Котляров Р.А. Требования к нормальной густоте, водопотребности и водоотделению цементов для транспортного строительства // *Строительные материалы*. 2018. № 5. С. 57–60.
16. Bhatti J.I., Banfill P.F.G. Sedimentation behavior in cement pastes subjected to continuous shear in rotational viscometers // *Cement and Concrete Research*. 1982. № 12. Pp. 69–78.
17. Tabea von Bronk, Haist M., Lohaus L. The Influence of Bleeding of Cement Suspensions on Their Rheological Properties // *Materials*. 2020. № 13. 1609. DOI: 10.3390/ma13071609
18. Tan T.S., Wee T.H., Tan S.A., Tam C.T., Lee S.L. A consolidation model for bleeding of cement paste // *Advances in cement research*. 1987. Vol. 1. № 1. Pp 1-26.
19. Tan T.S., Loh C.K., Yong K.E., Wee T.H. Modelling of bleeding of cement paste and mortar // *Advances in Cement Research*. 1997. Vol. 9. № 34. Pp. 75–91.
20. Massoussi N., Keita E., Roussel N. The heterogeneous nature of bleeding in cement pastes // *Cement and Concrete Research*. 2017. Vol. 95. Pp. 108–116. DOI: 10.1016/j.cemconres.2017.02.012
21. Панфилов В.А., Гончарова О.В., Гончаров А.А., Худасов В.И. Водоотделение в дорожном цементе // *Международная научно-техническая конференция молодых ученых БГТУ им. В.Г. Шухова: сб. докл. Белгород*. 2018. С. 3404–3407.
22. Крайненко В.В., Калинин А.В., Гончаров А.А. Применение добавок с целью уменьшения водоотделения в цементах // *Международная научно-техническая конференция молодых ученых БГТУ им. В.Г. Шухова: сб. докл. Белгород*. 2021. С. 3041–3045.

Информация об авторах

Калита Дмитрий Иванович, кандидат химических наук, заместитель генерального директора по качеству. E-mail: dkalita@yandex.ru. ООО «Научно-производственное объединение «КВАНТ». Россия, 305005, г. Курск, пр-т Вячеслава Клыкова, зд. 1Б, оф. 4

Поступила 04.08.2024 г.

© Калита Д.И., 2025

Kalita D.I.

Scientific and Production Association "KVANT" LLC

E-mail: dkalita@yandex.ru

USING THE METHOD OF DETERMINING CEMENT PASTE BLEEDING FOR INPUT QUALITY CONTROL IN CONCRETE PRODUCTION

Abstract. Fresh cement paste bleeding is one of the basic quality indicators, which, however, is not used for cements intended for the production of ordinary concrete mixtures. In some cases, during input inspection, it is necessary to obtain information on the quality of cement and its suitability for use in specific concrete mix compositions with minimal labor costs. Determining water separation allows to quickly obtain data on both the amount of bleeding water separation and its kinetics.

The basic methodology is the standard method for determining the amount of water separation in GOST 310.6-2020, which additionally includes measurements of the height of the cement paste column, which allows plotting a water separation curve. In modified methods, measuring cylinders of various volumes were used.

Statistical data on water separation of cement pastes from production batches of various plants are collected and presented. The relationship between water separation and normal consistency and setting time of cement is studied. The effect of a long (up to 5 months) shelf life of cements on the amount of water separation is studied. The geometric factors influencing the amount of water separation and the kinetics of the process are considered: the height of the cement paste column, the dimensions of the measuring cylinder. The influence of the initial water-cement ratio of the cement paste on the amount of water separation is studied. A three-stage process of water separation of cement is established with the prevalence of the channel type of water separation. A nonlinear decrease in water separation is noted with a decrease in the water-cement ratio. The obtained basic kinetic dependencies of water separation can be used to predict the water separation of concrete mixtures.

Keywords: cement bleeding, cement paste, cement slurry, cement bleeding kinetic, test method, aged cement.

REFERENCES

1. Brykov A.S. Causes of instability of water bleeding of cement paste [Prichiny nestabil'nosti vodootdeleniya cementnogo testa]. Cement and its applications. 2021. No. 6. Pp. 72–74. (rus)
2. Pashchenko A.A., Myasnikova E.A., Gumen V.S., Revsyutin Y.R. Cement theory [Teoriya cementa]. Kiev: Budivelnik, 1991. 168 p. (rus)
3. Yancarikova D., Hela R., Necvet V., Perina T. Variability in cement properties – influence on bleeding of cement paste [Vliyanie kolebanij v harakteristikah cementa na ego vodootdelenie]. Cement and its applications. 2022. No. 1. Pp. 118–121. (rus)
4. Yan Liang Ji, Zhen Ping Sun, Min Pang. The Influence of Various Gypsum Dosage, Specific Area of Cement and Water Reducers on Bleeding of Fresh Cement Paste Using Low-Field NMR. Materials Science Forum. June 2021. 1036. Pp255-262. DOI: 10.4028/www.scientific.net/MSF.1036.255
5. Tennis P.D., Thomas M.D.A., Weiss W.J. State-of-the-art report on use of limestone in cements at levels of up to 15 %. SN 3148, Portland Cement Association, Skokie, Illinois, USA, 2011. 78 p.
6. Zhumaliev K.M., Barpiev B.B., Abytov A.B. Dependence of water bleeding coefficient K_v on specific surface and phase composition of cement [Zavisimost' koefficienta vodootdeleniya K_v ot udel'noj poverhnosti i fazovogo sostava cementa]. Materials Science. 2014. No. 4. Pp. 5–7. (rus)
7. Ilyn D.S., Frejdun A.I., Leardini K. Reduction of cement water gain by means of grinding intensifiers [Umen'shenie vodootdeleniya cementa pri pomoshchi intensivatorov pomola]. Cement and its applications. 2021. No. 1. Pp. 71–73. (rus)
8. Wainwright P.J., Ait-Aider H. The influence of cement source and slag addition on the bleeding of concrete. Cement and Concrete Research. 1995. Vol. 25. No. 7. Pp. 1445–1456.
9. Adamcevic A.O., Eremin A.V., Pustovgar A.P., Pashkevich S.A. Research in influence of external factors on properties of portland-cement under conditions of long-term storage [Issledovanie vliyaniya vneshnih faktorov na svoystva portlandcementa v usloviyah dlitel'nogo hraneniya]. Construction Materials. 2015. No. 1. Pp. 53–57. (rus)
10. Krutinin A.A., Krapchetova T.V., In'kova N.A., Pahomova O.K. Study of physicochemical processes accompanying corrosion of cements (“caking”) in humid air containing carbon dioxide [Issledovanie fiziko-himicheskikh processov, soprovozhdayushchih korroziiu cementov («slyozhivanie») vo vlazhnom vozduhe, soderzhashchem uglekislotu]. Herald of Daghestan State Technical University. Technical Sciences. 2021. Vol. 48. No. 2. Pp. 103–112. (rus)
11. Dubina E., Plank J., Vadsö L., Blek L., König H. Investigation of the long-term stability during storage of cement in drymix mortars. Part 1. Prehydration of clinker phases, free lime and sulfate phases

under different relative humidities (RH) [Issledovanie stojkosti cementa pri ego hranenii v suhih stroitel'nyh smesyah. Chast' 1. Poverhnostnaya gidrataciya klinkernyh faz, svobodnoj izvesti i sul'fatnyh faz pri pogloshchenii vlagi iz vozduha]. ALITinform: Cement. Concrete. Dry mixes. 2011. No. 3. Vol. 20. Pp. 38–45. (rus)

12. Bazhenova O.YU., Bazhenova S.I. On the issue of improving the quality of cement [K voprosu povysheniya kachestva cementa]. Advances of modern science. 2017. Vol. 6. No. 3. Pp. 31–33. (rus)

13. Goloviznina T.E. The influence of long-term storage on the properties of cements [Vliyanie dlitel'nogo hraneniya na svoystva cementov]. High-tech technologies and innovations: collection of reports of the international scientific and practical conference. Belgorod. October 06–07, 2016. Volume Part 1. Belgorod: BSTU. 2016. Pp. 70–74. (rus)

14. Kuznecov A.M. Technology of binders and products made from them [Tekhnologiya vyazhushchih veshchestv i izdelij iz nih]. M.: High School. 1963. 455 p. (rus)

15. Shahova L.D., Kotlyarov R.A. Requirements for normal consistency, water demand and water separation of cement for transport construction [Trebovaniya k normal'noj gustote, vodopotrebnosti i vodootdeleniyu cementov dlya transportnogo stroitel'stva]. Construction Materials. 2018. No. 5. Pp. 57–60. (rus)

16. Bhatta J.I., Banfill P.F.G. Sedimentation behavior in cement pastes subjected to continuous

shear in rotational viscometers. Cement and Concrete Research. 1982. No. 12. Pp. 69–78.

17. Tabea von Bronk, Haist M., Lohaus L. The Influence of Bleeding of Cement Suspensions on Their Rheological Properties. Materials. 2020. No. 13. 1609. DOI: 10.3390/ma13071609

18. Tan T.S., Wee T.H., Tan S.A., Tam C.T., Lee S.L. A consolidation model for bleeding of cement paste. Advances in cement research. 1987. Vol. 1. No. 1. Pp. 1–26.

19. Tan T.S., Loh C.K., Yong K.E., Wee T.H. Modelling of bleeding of cement paste and mortar. Advances in Cement Research. 1997. Vol. 9. No. 34. Pp. 75–91.

20. Massoussi N., Keita E., Roussel N. The heterogeneous nature of bleeding in cement pastes. Cement and Concrete Research. 2017. Vol. 95. Pp. 108–116. DOI: 10.1016/j.cemconres.2017.02.012

21. Panfilov V.A., Goncharova O.V., Goncharov A.A., Hudakov V.I. Water bleeding in road cement [Vodootdelenie v dorozhnomemente]. International scientific and technical conference of young scientists of BSTU after V.G. Shukhov Belgorod: BSTU. 2018. Pp. 3404–3407. (rus)

22. Krajenko V.V., Kalinin A.V., Goncharov A.A. The use of additives to reduce water bleeding in cements [Primenenie dobavok s cel'yu umen'sheniya vodootdeleniya v cementah]. International scientific and technical conference of young scientists of BSTU named after V.G. Shukhov: collection of reports. Belgorod. 2021. Pp. 3041–3045. (rus)

Information about the authors

Kalita, Dmitry I. PhD. E-mail: dkalita@yandex.ru. Scientific and Production Association "KVANT" LLC. Russia, 305005, Kursk, Vyacheslav Klykov Avenue, building 1B, off. 4.

Received 04.08.2024

Для цитирования:

Калита Д.И. Использование метода определения водоотделения цемента при входном контроле качества в производстве бетона // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2025. № 1. С. 68–81. DOI: 10.34031/2071-7318-2024-10-1-68-81

For citation:

Kalita D.I. Using the method of determining cement paste bleeding for input quality control in concrete production. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2025. No. 1. Pp. 68–81. DOI: 10.34031/2071-7318-2024-10-1-68-81

DOI: 10.34031/2071-7318-2024-10-1-82-99

Траутвайн А.И., *Сырых А.А.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

*E-mail: syryhalina@gmail.com

АНАЛИЗ РЫНКА СТАБИЛИЗИРУЮЩИХ ДОБАВОК ДЛЯ ЩЕБЕНОЧНО-МАСТИЧНОГО АСФАЛЬТОБЕТОНА. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПРЕДПОСЫЛКИ ПРИМЕНЕНИЯ ОРГАНИЧЕСКИХ ВОЛОКОН ДЛЯ СТАБИЛИЗАЦИИ БИТУМА

Аннотация. Повышение трещиностойкости, сдвигоустойчивости, усталостной стойкости, морозостойкости, шероховатости и понижение истираемости и уровня шума можно добиться при помощи использования щебеночно-мастичных асфальтобетонных смесей в верхних слоях дорожных одежд. Получение щебеночно-мастичного асфальтобетона с высокими эксплуатационными и функциональными характеристиками зависит от качества применяемой стабилизирующей добавки. Проблемы усовершенствования, укрепления дорожного покрытия и, в особенности, верхних слоев дорожной одежды являются актуальными, поэтому специалисты дорожной отрасли непрерывно работают над тем, чтобы сделать покрытие устойчивым ко внешним воздействиям и условиям современного и быстро меняющегося транспортного потока, при этом уделяют внимание различным добавкам, которые призваны укрепить и прочнее связать составляющие дорожного покрытия. Рынок стабилизирующих добавок в основном представлен зарубежными производителями, а использование отечественных аналогов в составе щебеночно-мастичного асфальтобетона приводит к получению смеси неудовлетворительного качества. В работе рассмотрен широкий перечень существующих стабилизирующих добавок, компонентный состав, а также их преимущества и недостатки. Рассмотрены основные свойства получаемого щебеночно-мастичного асфальтобетона на основе наиболее распространенных видов добавок как импортного, так и отечественного производства. На основании полученных данных сделаны теоретические предпосылки для разработки и проведения лабораторных исследований новой стабилизирующей добавки с использованием природного полимерного волокна на основе отходов производства целлюлозы.

Ключевые слова: щебеночно-мастичный асфальтобетон, стекание, сдвигоустойчивость, стабилизирующая добавка, структурообразование, модифицирование, целлюлозные волокна, полимерные волокна, органические волокнистые добавки, лигнин.

Введение. Исследователи в сфере эксплуатации автомобильных дорог стали отмечать, что покрытие стало быстрее терять свои свойства и, следовательно, срок службы автомобильной дороги стал меньше. Проблема состоит в том, что ежегодно увеличивается количество автотранспорта и их грузоподъемность становится выше. Данный факт влияет на износ дорожной одежды и срок службы дороги в негативную сторону. Поэтому необходимо изучить новые материалы и технологии, которые бы помогли решить поставленную проблему. Одним из решений является – технология укладки верхнего слоя дорожной одежды из щебеночно-мастичного асфальтобетона (ЩМА) [1].

В России щебеночно-мастичный асфальтобетон был воспринят как материал для верхних слоев покрытия, предназначенный для борьбы с колейностью. С накоплением практического опыта его использования на российских дорогах отношение к нему стало положительным [2].

Щебеночно-мастичный асфальтобетон (ЩМА) представляет собой материал, созданный специально для верхних слоев дорожного покры-

тия на дорогах с высокой интенсивностью транспортного движения. Хорошее сопротивление пластическим деформациям обеспечивается за счет прочного скелета из фракционированного щебня. А долговечность щебеночно-мастичного асфальтобетона обеспечивается при помощи наличия большого количества битумного вяжущего. Битум не только покрывает все частицы каменных материалов, входящих в состав ЩМА, но и заполняет воздушные пустоты между ними, что препятствует накоплению воды в структуре материала. [3-5]. Однако повышенное содержание вяжущего в составе ЩМА сложно удержать в межкаменном пространстве без использования специальных стабилизирующих добавок. При этом современный рынок производимых добавок достаточно широкий, стоимость высокая, а эффективность не всегда соответствует требованиям, заявленным производителем. В связи с чем у производителей щебеночно-мастичного асфальтобетона возникает потребность в проведении анализа существующих стабилизирующих добавок, определения их преимуществ и недостатков. Также на основании полученной инфор-

мации будет сформировано направление дальнейших экспериментальных исследований по созданию наиболее эффективной отечественной добавки.

Материалы и методы. В ходе исследований был проведен информационный поиск литературных источников, выполнен обзор научной и технической литературы по данной теме. Целью поиска - анализ информации по теме исследования за последнее время, установление уровня технического развития и обобщение в виде научного обзора. Для определения ключевых добавок были использованы метод обобщения, абстрагирования, сравнения. Проведена классификация стабилизирующих добавок в соответствии с их особенностями. Для облегчения информационного поиска были использованы средства систематизации источников информации. Обязательным условием выполнения полного библиографического исследования является знакомство с публикациями журналов «Автомобильные дороги», «Мир дорог», «Известия вузов. Строительство», «Дороги России XXI века», «Наука и техника в дорожной отрасли», «Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века», «Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова», «Студент и наука».

Основная часть. Асфальтобетонная смесь, которая в своем составе имеет крупный щебень, песок, минеральный порошок, битум и стабилизирующую добавку, называется щебеночно-мастичным асфальтобетоном. В нем каркас состоит из щебня, а все пустоты между ним заполнены смесью битума с песком и минеральным порошком [4].

Фракционированный щебень является основой структуры щебеночно-мастичного асфальтобетона. Его доля в смеси составляет 70–80 % по массе. Особенностью ЩМА является предпочтительное использование щебня с улучшенной (кубовидной) формой зерен. Мелкий щебень тоже используется в смеси, он служит для образования мастики. Она необходима для заполнения межкаменных пустот в каркасе из фракционированного щебня. Благодаря тому, что в щебеночно-мастичной смеси используется крупная фракция щебня, обеспечивается высокая шероховатость покрытия. Тем самым увеличивается коэффициент сцепления колеса транспортного средства с покрытием, что позволяет сделать вывод о повышении безопасности дороги. В смеси традиционного асфальтобетона допускается наличие частиц лещадной и пластинчатой формы до 25 %, в то время как в смеси щебеночно-мастичного асфальтобетона допускается не более 10–15 %. Этим требованием объясняется применение

щебня именно кубовидной формы – 1-ая группа, так как данный вид щебня характеризуется содержанием частиц пластинчатой и угловатой формы не более 15 %. В ЩМА содержание битума составляет 5,5–7,5 %, что на 1,5–2,5 % больше, чем в обычном асфальтобетоне. Это необходимо для того, чтобы заполнить все пространство между частицами заполнителей и наполнителя и уменьшить остаточную пористость [4].

Еще одной особенностью щебеночно-мастичного асфальтобетона является наличие объемного битума и небольшого количества стабилизирующей добавки, которая необходима для дисперсного армирования вяжущего. Объемный битум является той частью вяжущего, которая не подвержена сильному воздействию поверхностных сил на границе раздела фаз. Разделение между объемным и структурированным битумом практически неотличимо по толщине битумной прослойки, разделяющей минеральные зерна смеси. Однако различие существует, потому что стабилизирующая добавка предназначена для удерживания более толстых пленок битумного вяжущего на поверхности щебня и предотвращения его отслоения и вытекания из смеси при высоких температурах на различных этапах процесса подготовки, транспортировки и укладки [5].

Преимущества щебеночно-мастичного асфальтобетона обусловлены уникальным составом, технологией приготовления и укладки, а также использованием современных добавок. Ключевым элементом щебеночно-мастичного асфальтобетона является повышенное содержание вяжущего, в основном, битума. Именно оно обеспечивает высокую водо- и морозостойкость, а также улучшает трещиностойкость покрытия. Битумная пленка, образующаяся на поверхности щебня, препятствует проникновению влаги внутрь покрытия, защищая его от разрушения при перепадах температур и циклах замораживания-оттаивания. Важную роль играет и крупный кубовидный щебень, который не только повышает прочность, но и улучшает сцепление шин с дорогой. Кубовидная форма щебня обеспечивает повышенную шероховатость поверхности, а также способствует улучшению показателей сдвигоустойчивости и износостойкости, что делает дорогу более безопасной для движения. Уменьшение размера зерен каркасообразующей фракции в составе ЩМА позволяет снизить уровень шума на 4–6 дБ по сравнению с традиционным асфальтобетоном и повысить коэффициент сцепления пневматических шин при движении автомобилей по покрытию. За счет того, что щебеночно-мастичный асфальтобетон имеет более жесткую

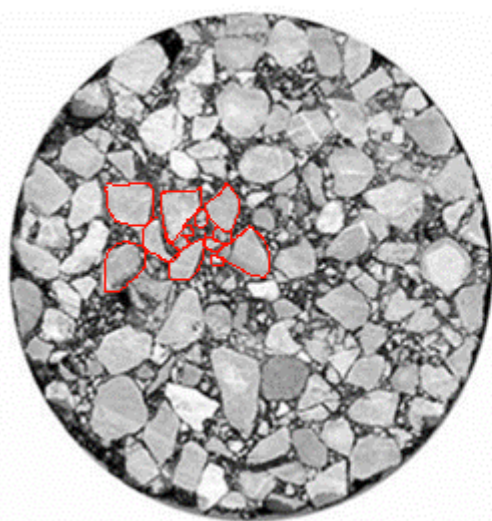
структуру в сравнении с традиционным асфальтобетоном, его можно укладывать сравнительно тонким слоем (от 3 до 6 см), при этом экономия материала достигает до 40 %. Такую технологию укладки можно объяснить чувствительностью смеси и тем, что тонкие слои достаточно быстро остывают.

Более 25 лет щебеночно-мастичный асфальтобетон используется на дорогах различных категорий, преимущественно с высокой интенсивностью движения, и дорожно-климатических зонах. За это время он смог показать, что является

долговечным и износостойким материалом для слоя покрытия [6].

На рисунке 1 отчетливо видно различие в структурах щебеночно-мастичного и традиционного асфальтобетон. В ЩМА видно повышенное содержание крупной фракции щебня, а содержание большого количества битумного вяжущего, в комплексе с наполнителем (песок и минеральный порошок), позволяет заполнить все пустоты между камнями щебня, за счет чего достигается высокая плотность (низкая остаточная пористость). На рисунках 2 и 3 показана структура в уложенном состоянии и в виде керна.

а)



б)

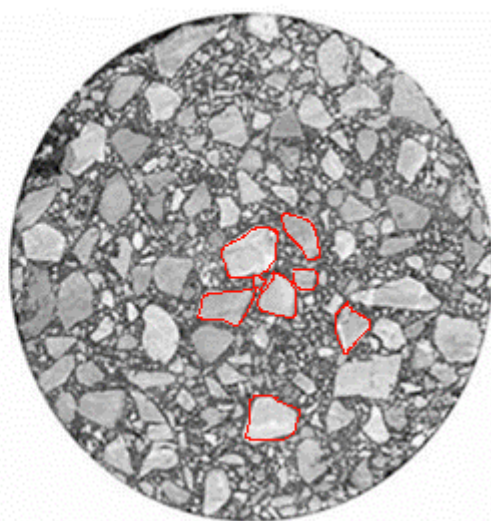


Рис.1. Структура асфальтобетон
а – ЩМА; б – традиционный асфальтобетон



Рис. 2. Структура уложенного ЩМА



Рис. 3. Структура керна ЩМА

Широкое распространение ЩМА получили в Европе. Рассматриваемый материал может использоваться при строительстве взлетно-посадочных полос, мостовых сооружений, ремонте цементобетонных покрытий на автобанах, при устройстве верхних слоев дорожной одежды на дорогах любых категорий и городских улицах в I-V климатических зонах, а также в местах стоянки воздушных судов. Название марки щебеночно-мастичного асфальтобетона базируется на максимальном размере зерен. Таким образом, сейчас известны следующие марки: ЩМА-8, ЩМА-11, ЩМА-16, ЩМА-22 [7].

Однако у покрытий из щебеночно-мастичных смесей есть и недостатки. После уплотнения щебеночно-мастичной асфальтобетонной смеси на поверхности покрытия могут появляться битумные пятна. Данный недостаток объясняется повышенным содержанием вяжущего. Помимо этого, причиной появления битумных пятен является слабая стабилизирующая способность добавок, которые используются при приготовлении смеси.

В настоящее время для регулирования свойств щебеночно-мастичного асфальтобетона используют различные стабилизирующие добавки. Они являются ключевым элементом состава ЩМА, так как обеспечивают структурирование смеси, препятствуя сегрегации и стеканию вяжущего с поверхности каменного материала при высоких температурах, то есть в процессах приготовления, хранения, транспортировки и укладки. Для предотвращения стекания вяжущего в смесь вводят битумоноситель (т.е. стабилизирующую добавку), который впитывает в себя неструктурированное вяжущее. Характер

адсорбционного процесса между поверхностью волокон и битумом обуславливается действием молекулярных сил и величиной поверхностной энергии. В результате адсорбции на поверхности волокна образуется адсорбционный слой повышенной вязкости, обеспечивающий сцепление битума с поверхностью. Поэтому необходимо уделять особое внимание правильности выбора стабилизирующей добавки.

Современные стабилизирующие добавки в виде гранул и волокон выпускаются из следующих материалов:

- резина;
- полимеры;
- акрил;
- асбест;
- целлюлоза;
- различные минеральные компоненты и термопластичные полимеры.

Обычно стабилизирующая добавка представляет собой целлюлозные волокна. Добавки необходимы для того, чтобы повысить толщину битумной пленки. С помощью этого получится достичь нужного количества свободного битума и добиться однородности смеси.

К волокнам предъявляются следующие требования:

- ленточная структура;
- длина нитей от 0,1 до 2,0 мм;
- однородность;
- отсутствие пучков, сложений нераздробленного материала и других включений.

Также помимо натуральных целлюлозных волокон допустимо и применение синтетических (акриловых, минеральных, стеклянных и пр.) и различных других добавок (резинового порошка,

полимеров и пр.), отвечающих требованиям нормативной документации на ЦМАС [8–9].

Однако после перехода от единичного производства ЦМА к массовому все чаще и чаще стали проявляться определенные дефекты смеси, в частности, сегрегация и появление битумных пятен различной величины (иногда обширной площади) на вновь уложенной дорожной поверхности непосредственно в процессе уплотнения. После дополнительных исследований было обнаружено, что, несмотря на прекрасный стабилизирующий эффект, свободные волокна обладают серьезными недостатками:

- повышенная гигроскопичность. Целлюлозные волокна достаточно хорошо впитывают влагу из окружающей среды, что усложняет процесс их хранения и транспортировки. В случае значительного повышения влажности добавки, её применение в составе асфальтобетонной смеси не представляется возможным;

- свободные волокна затрудняют распределение в смесителе;

- склонность к комкованию, что затрудняет дозирование и дальнейшее распределение в смесителе;

- высокая вероятность обгорания. Когда свободные волокна попадают в смеситель на перегретый инертный материал (190–200 °С), то, в первую очередь, происходит обгорание интермолекулярных ОН-мостиков, которыми молекула целлюлозы связывается с молекулами вяжущего и каменного материала [10–12].

Механизм работы стабилизирующей добавки объясняется явлением хемосорбции. Хемосорбция – поглощение вещества из паровой фазы или раствора поверхностью твердого тела, при котором между адсорбированными молекулами и поверхностными слоями твердого тела возникает химическое взаимодействие [13–14].

Дальнейшим эволюционным развитием семейства стабилизаторов стало появление гранулированных добавок. Гранулированные добавки представляют собой волокна, спрессованные в гранулы с их обработкой модифицирующими составами или без нее. Волокнистая добавка должна быть однородной, без примесей, устойчивой к нагреву до температуры 220 °С и обладать влажностью не более 8 % по массе. Гранулированные добавки можно разделить на 3 вида [15]:

- гранулы из чистой целлюлозы;
- с добавлением модификаторов (воск, парафин, стеарин и др.), которые уменьшают гигроскопичность;

- с битумным покрытием. С его помощью можно обеспечить необходимую водонепроницаемость и улучшить сыпучесть гранул. За счет

этого предотвращается слипание гранул при хранении и обгорание при производстве. Перечисленные качества упрощают дозирование и повышают равномерность распределения гранул в смесителе. Преимуществом является тот факт, что процесс происходит без увеличения времени сухого перемешивания. Кроме того, можно использовать дополнительные добавки, например, такие как полимерные, минеральные волокна, резиновый порошок и другие. Они способны удерживать битум без ухудшения качества смеси. Пригодность данных добавок и оптимальное содержание в смеси определяются путем проведения испытаний [14].

Последнее исключает насыщение влагой целлюлозных волокон, что обеспечивает простую и надежную систему дозирования, прекрасное распределение в смесителе без увеличения времени сухого перемешивания и, как результат, стабильную смесь. Кроме этого, наличие битумного покрытия предотвращает обгорание волокон при их подаче на горячий инертный материал [16].

Перейдем к рассмотрению некоторых популярных торговых марок добавок, содержащих целлюлозные волокна. Целлюлозные волокна могут быть представлены в свободном состоянии (TECHNOCEL) или в виде гранул, изготовленных из чистой целлюлозы (TOPCEL) или смеси с различными углеводородами продуктами: битумным покрытием (VIATOP, ITERFIBRA).

Стабилизирующая добавка в щебеночно-мастичный асфальтобетон Торсел представляет собой гранулированный материал. В его состав входит 90–93 % целлюлозного волокна и 7–10 % восковой смеси. Она необходима для обволакивания гранул.

Расход материала определяется количеством волокна в добавке, благодаря этому стабилизирующая добавка Торсел имеет самый низкий расход среди аналогов: 0,28–0,32 % от массы смеси. Это преимущество значительно выделяет добавку Торсел в сравнении с множеством других добавок, представленных на российском рынке [17].

В 2011 году была разработана новая стабилизирующая добавка. Она запущена в производство российской фирмой ГБЦ под названием – СД-3 ГБЦ. Гранулы стабилизирующей добавки состоят на 90 % из волокон сульфатной небеленой целлюлозы с добавлением битумного вяжущего марки БНД 90/130. Для приготовления смеси необходимым количеством добавки является 3–4 кг из расчета на тонну. Стоимость при этом составляет 47 руб/кг [18].

Для достижения максимального качества и эффективности щебеночно-мастичного асфаль-

тобетона требуется применение специальных добавок, повышающих его прочность, долговечность и снижающих стоимость. Одной из таких добавок, зарекомендовавших себя в строительной индустрии, является «Viator-66». Эта комплексная структурирующая добавка, представляющая собой серые цилиндрические гранулы без запаха, содержит в себе два ключевых компонента: полимерный модификатор и стабилизирующий армирующий компонент. Полимерный модификатор играет важную роль в улучшении качества вяжущего. Он повышает его эластичность, что особенно важно при использовании щебеночно-мастичного асфальтобетона в регионах с климатом, где наблюдаются значительные перепады температур. Полимерные молекулы, внедряясь в структуру битума, создают дополнительную прочность и пластичность, препятствуя его хрупкости при низких температурах и растеканию при высоких. Стабилизирующий армирующий компонент, входящий в состав Viator-66, представлен целлюлозным волокном, обработанным специальным способом. Благодаря своей трехмерной структуре, целлюлозные волокна создают своеобразный каркас внутри асфальтобетонной смеси. Этот каркас обеспечивает высокую прочность на растяжение и сжатие, препятствуя образованию трещин и деформаций при нагрузках. Кроме того, целлюлозные волокна повышают водонепроницаемость материала, предотвращая попадание влаги в дорожное покрытие и его разрушение. Битум, покрывающий целлюлозные волокна в Viator-66, обеспечивает равномерное и качественное распределение волокон в асфальтобетонной смеси, что способствует равномерному распределению напряжений и повышению устойчивости материала к усталостным нагрузкам. Viator-66 изготавливается из природных материалов - целлюлозных волокон, обработанных битумом. Подобные свойства гранулированного материала существенно упрощают требования к системе дозирования, повышают равномерность распределения гранул в смесителе без увеличения времени сухого перемешивания. Наличие битумного покрытия также предотвращает обгорание волокон целлюлозы при попадании на горячий инертный каменный материал. Добавка нетоксична, взрывобезопасна и соответствует всем необходимым требованиям безопасности. Внедрение Viator-66 в производство щебеночно-мастичного асфальтобетона – это прорыв в области дорожного строительства, позволяющий повысить качество и долговечность дорожных покрытий, сократить расходы на строительство и эксплуатацию [19].

Стабилизирующая-модифицирующая добавка марки «VIATOR plus CT-40» представляет

собой не растворимые в воде, нетоксичные, взрывобезопасные цилиндрические гранулы серого цвета без запаха. С помощью данной добавки повышаются технологические свойства асфальтобетонных смесей, а также они призваны значительно повысить показатели водостойкости и трещиностойкости асфальтобетона. В процессе приготовления качественного асфальтобетона применяются стабилизирующие добавки. Они не позволяют расслаиваться ингредиентам, из которых и состоит раствор. Одной из таких добавок является Виатоп (Viatop) Plus CT 40. В его состав входят целлюлоза и воск. Внешне стабилизирующая добавка представляет собой темно-зеленые гранулы, покрытые воском [19].

Гранулированная стабилизирующая добавка для ЦМА смесей VIATOR premium изготовлена из обработанной особым способом целлюлозы. Битум, входящий в состав добавки, обеспечивает качественное и равномерное распределение целлюлозных волокон в смесителе. Трехмерная структура составляющих веществ в VIATOR premium гарантирует 100% стабилизирующий эффект и экономичное производство дорожного покрытия. Стабилизатором вяжущего материала в данной смеси выступает мелко- и длинноволокнистая целлюлоза, разработанная непосредственно для дорожной промышленности. На 90 % данная стабилизирующая добавка состоит из целлюлозного волокна, а на 10 % – из дорожного битума. Целлюлозное волокно и полимеры добавляют в смесь непосредственно на асфальтобетонном заводе (АБЗ) в расчете 3 кг добавки на одну тонну смеси, что обеспечивает экономичное использование материала [19].

Рассмотрев все плюсы и минусы традиционных добавок из целлюлозы, на следующем этапе исследований осуществлен анализ альтернативных способов повышения характеристик щебеночно-мастичного асфальтобетона.

Инновационные исследования в сфере асфальтобетонных смесей демонстрируют, что современные разработки направлены не только на поиск новых материалов, улучшающих механические свойства покрытия, но и на обнаружение новых добавок, способных продлить срок службы, расширить рабочий температурный диапазон и обеспечить требуемые характеристики поверхности.

Одним из эффективных стабилизаторов для ЦМА является резиновый термоэластопласт (РТЭП) – сложная многокомпонентная смесь полиолефинового полимера и битума. Использование РТЭП в асфальтобетонных смесях улучшает показатели устойчивости к образованию трещин и долговечности при растяжении и динамических нагрузках [7].

Продолжая исследование известных полимерных добавок, хотелось бы отметить гранулированную добавку «ВЕСТОПЛАСТ». Уникальность добавки состоит в способе ее введения. Необходимо добавлять гранулы вместе с минеральным порошком. Далее добавка расплавляется в смесителе и при перемешивании адсорбируется на поверхности минеральных зерен. За счет этого обеспечивается однородность смеси при высоком содержании битума [7].

Полимерная добавка СЕВИПАВ. Ее состав включает в себя битум, полиамидное волокно и отход гидроизоляции трубопроводов, представляющий собой двухслойную ленту усадочного материала. Верхний слой этой ленты состоит из адгезионной композиции, что способствует прочному сцеплению с изолируемой поверхностью. СЕВИПАВ оказывает комплексное воздействие на асфальтобетонную смесь: полиамидное волокно создает армирующий каркас, препятствующий разделению битумной составляющей и минерального наполнителя. Доказано, что добавка СЕВИПАВ повышает прочность смеси на сдвиг, сжатие при 50 °С и растяжение при 0 °С. Это позволяет создавать более износостойкие дорожные покрытия, способные выдерживать значительные нагрузки [7].

Однако СЕВИПАВ – не единственная полимерная добавка, применяемая для модификации асфальтобетона. 15 лет назад компания ООО "Уником" запатентовала новую щебеночно-мастичную смесь, содержащую резиновую крошку – измельченный резиновый вулканизат. Резиновая крошка представляет собой измельченные шины, отходы резиновых изделий. В резиновой крошке присутствует активный резиновый порошок, который повышает сцепление с битумом, а также метасиликат с игольчатой структурой, который способствует увеличению прочности и водонепроницаемости смеси. Инициатор гелеобразования – вещество, которое способствует образованию прочного гелеобразного слоя в битуме, повышающего его вязкость и прочность. Структурирующий агент – это вещество, которое улучшает однородность смеси, повышает ее пластичность и устойчивость к деформациям. Внедрение резиновой крошки в состав асфальтобетона позволило получить материал с повышенными свойствами водостойкости и прочности, а также улучшенными шумоизоляционными свойствами: резиновая крошка позволяет снизить шум от проезжающих автомобилей, что особенно актуально в городских условиях.

Спустя несколько лет компания ООО "Уником" разработала модифицированную добавку «УНИРЕМ-001», которая стала еще более эффек-

тивной. Состав запатентованной асфальтобетонной смеси включает вязкий дорожный битум, аминную поверхностно-активную добавку. Добавка представляет собой триэтаноламин, регранулят полимерного этилен-пропилена. В свою очередь регранулят полимерного этилен-пропилена содержит полимерную составляющую и дисперсные волокна из пропилен. Применение «УНИРЕМ-001» позволило достичь еще более высоких результатов в сравнении с первой разработкой. «УНИРЕМ-001» делает асфальтобетон более прочным на сдвиг, сжатие и растяжение, что позволяет создавать дорожные покрытия, способные выдерживать более интенсивные нагрузки. Сочетание полимерных компонентов в "УНИРЕМ-001" делает асфальтобетон более долговечным, что снижает затраты на ремонт и обслуживание дорожного покрытия.

Помимо полимерных добавок, в щебеночно-мастичных смесях используются и минеральные волокнистые материалы, такие как асбестовые отходы. В прошлом асбест широко применялся в строительстве, однако в настоящее время его использование ограничено из-за вредного воздействия на здоровье. Хризотил менее опасный вид асбеста, но также может вызывать заболевания при длительном контакте. Стекловолокно более безопасный и эффективный материал, который используется в большинстве современных асфальтобетонных смесей. Волокна из диабаз – прочный и устойчивый к высоким температурам материал, который повышает прочность и долговечность асфальтобетона. Важно отметить, что применение тех или иных добавок зависит от конкретных условий и требований к дорожному покрытию. Правильный выбор добавки позволяет создать более прочные, долговечные и безопасные дороги, что, в конечном итоге, приводит к экономии денежных средств и улучшению качества жизни.

На рынке стабилизирующих добавок отечественные производители также демонстрируют успешную конкурентоспособность. Одним из ярких примеров является гранулированный стабилизатор «Хризотоп». «Хризотоп» – это уникальная композиция, состоящая из хризотилового волокна и органического связующего, обеспечивающая комплексное решение для повышения прочностных характеристик асфальтобетонных покрытий. Ключевой элемент «Хризотопа» – хризотилевое волокно. Это природный материал, отличающийся высокой устойчивостью к гниению. Хризотилевое волокно обладает способностью поглощать битум, именно поэтому оно действует как надежный барьер, препятствующий вытеканию битума из асфальтобетонной смеси. Важной особенностью хризотилового волокна

является его поведение при сухом перемешивании в асфальтобетонной смеси. Вместо измельчения, волокно распушается, сохраняя высокую прочность на разрыв. Такое поведение хризотилового волокна приводит к значительному увеличению его армирующих свойств. В результате полученный щебеночно-матичный асфальтобетон отличается повышенными прочностными характеристиками, увеличивается его износостойкость и устойчивость к деформациям. Помимо хризотилового волокна, «Хризотоп» содержит специальное органическое связующее. Этот компонент взаимодействует с битумом, улучшая его свойства. Органическое связующее способствует повышению эластичности битума, увеличивая его сцепление с минеральными материалами асфальтобетонной смеси. В результате повышается прочность и долговечность асфальтобетонного покрытия. Еще одно важное преимущество «Хризотопа» – высокая водостойкость. Добавка не взаимодействует с водой, что гарантирует сохранение ее свойств в условиях повышенной влажности и осадков. Благодаря этому асфальтобетонное покрытие станет более долговечным, способным выдерживать длительное насыщение водой без потери прочностных характеристик. Оптимальный расход «Хризотопа» составляет 3 кг на тонну асфальтобетонной смеси. Однако практика показывает, что его содержание может колебаться от 2 до 5 кг, в зависимости от конкретных условий и требований к покрытию. «Хризотоп» предлагает привлекательную цену – 44 руб./кг, что делает его конкурентоспособным по отношению к импортным аналогам. «Хризотоп» – это надежный и эффективный продукт отечественного производства, способный решить ряд актуальных задач в дорожном строительстве. Он обеспечивает повышение качества и долговечности асфальтобетонных покрытий, сокращая затраты на ремонт и обслуживание дорог [20].

«Стилобит» – это новейшая разработка в области дорожного строительства, представляющая собой усовершенствованную версию добавки «Хризотоп», которая уже более десяти лет успешно применяется для создания высококачественных дорожных покрытий. За это время с использованием «Хризотопа» было построено более 6000 километров дорог, что подтверждает его эффективность и надежность. Новое поколение добавки – «Стилобит» – сохраняет проверенную временем основу – хризотилое волокно. Введение «Стилобита» в состав асфальтовой смеси в пропорции 0,3% от ее массы гарантирует существенное повышение долговечности дорожного покрытия. Хризотилое волокно, являющееся основой «Стилобита», играет ключевую роль в

улучшении эксплуатационных характеристик асфальтобетона. Оно обладает высокой прочностью и устойчивостью к растяжению, что позволяет значительно увеличить усталостную прочность асфальтобетона и повысить его сопротивление к образованию трещин и разрушению. Благодаря своей высокой термостойкости (до 700 °C), «Стилобит» сохраняет свои свойства даже при воздействии высоких температур, что особенно актуально для жаркого климата и интенсивной эксплуатации. В отличие от органических материалов, «Стилобит» не подвержен гниению и не взаимодействует с водой. Это обеспечивает длительный срок хранения и использования добавки без потери эффективности. «Стилобит» впитывает избыточный битум, предотвращая его вытекание из смеси и обеспечивая микроармирование асфальтобетона. Эта особенность, наряду с высокой прочностью хризотилового волокна, значительно увеличивает срок службы дорожного покрытия, сокращая расходы на ремонт и обслуживание. Важно отметить, что использование «Стилобита» обеспечивает не только экономию средств на долгосрочную перспективу, но и экологическую безопасность. В отличие от некоторых импортных аналогов, которые используют целлюлозные волокна, «Стилобит» на основе минерального волокна повышает стойкость к пластическим деформациям дорожных покрытий на 7–10 %. Это означает, что «Стилобит» существенно замедляет образование колеи, повышая комфортность движения и безопасность на дороге [21].

Также следует отметить, что себестоимость щебеночно-мастичного асфальтобетона с добавлением «Стилобита» на выходе с завода на 25–30 % ниже, чем у асфальтобетона с добавками на основе целлюлозного волокна. Это делает «Стилобит» привлекательным не только с точки зрения повышения качества дорожного покрытия, но и с точки зрения экономической эффективности.

В целом, «Стилобит» – это не просто добавка, а комплексное решение для повышения качества и долговечности дорожных покрытий. «Стилобит» – это шаг к созданию более долговечных, безопасных и экологичных дорог, способствующих развитию комфортного и устойчивого транспортного пространства [22].

Синтетические волокна, в отличие от целлюлозных, демонстрируют высокую термостойкость, что делает их незаменимыми в горячих технологиях асфальтирования. Так, полиэфирные волокна способны выдерживать температуру до 220 °C, что предотвращает их плавление при контакте с горячим битумом, используемым в ас-

фальтобетонных смесях. В то время как полиэтиленовые и полипропиленовые волокна имеют более низкую термостойкость и не подходят для горячих технологий, полиакриловые волокна, например, DOLANIT, обладают уникальными свойствами, которые выгодно отличают их от традиционных материалов.

DOLANIT, благодаря своей микроармирующей способности, придает асфальтобетону повышенную устойчивость к перепадам температур. Это достигается за счет создания микросетки из волокон, которая не только укрепляет структуру асфальта, но и позволяет ему лучше выдерживать динамические и статические нагрузки. Благодаря этому свойству, дороги, построенные с использованием DOLANIT, менее подвержены образованию колеи в летний период и более устойчивы к образованию трещин. Упрочняющее действие DOLANIT превосходит действие целлюлозы в 1,7 раза, что объясняется дисперсным армированием, т.е. равномерным распределением волокон по всему объему асфальтобетона.

Важно отметить, что волокна DOLANIT обладают рядом преимуществ, которые делают их отличным выбором для асфальтобетонных смесей:

- Легкость смешивания: DOLANIT легко смешивается с вяжущим материалом, не образуя комков и не препятствуя однородности смеси.

- Водонепроницаемость: волокна не боятся воздействия воды, сохраняя свои свойства даже при длительном контакте с влагой.

- Устойчивость к кислотам: DOLANIT устойчив к воздействию кислот, что делает его пригодным для применения в дорожном строительстве, где асфальтобетон может подвергаться воздействию различных агрессивных веществ.

- Нейтральное влияние на битум: волокна не оказывают негативного влияния на старение битума, сохраняя его свойства и увеличивая долговечность асфальтобетонного покрытия.

- Высокая термостойкость: DOLANIT, как и другие полиакриловые волокна, выдерживает высокие температуры, не деформируясь и не теряя своих свойств. Введение волокон в асфальтобетонные смеси оказывает на них комплексное воздействие

Волокна повышают механические свойства и жёсткость асфальтобетона, что способствует увеличению срока службы покрытия и снижению затрат на его ремонт. Оптимальное содержание волокон в асфальтобетонной смеси зависит от их качества и характеристик. Правильный выбор типа и концентрации волокон позволяет создавать асфальтобетонные покрытия, устойчивые к различным нагрузкам и воздействию окружаю-

щей среды. Таким образом, применение синтетических волокон в асфальтобетоне – это не только гарантия термостойкости, но и ключ к созданию долговечных и надежных дорожных покрытий, способных противостоять износу, перепадам температур и другим факторам, негативно влияющим на состояние дорог [23–27].

В исследовании [28] учёные сравнили полиэфирные и полипропиленовые волокна. Эксперименты показали, что нейлоновые и углеродные волокна улучшают характеристики асфальтобетона по сравнению с традиционным асфальтобетоном.

В исследовании [29] изучались свойства асфальтобетона, модифицированного диатомитовым стекловолокном. Исследования продемонстрировали, что стекловолокно повышает устойчивость диатомитового асфальтобетона к низкотемпературному растрескиванию.

В исследовании [30] авторы анализировали характеристики асфальтобетонной смеси и асфальтобетона с добавлением стекловолокна различной длины. Было выявлено, что чем длиннее фибра, тем лучше показатели изгиба и сопротивления образованию колеи. Длина волокна практически не влияет на модуль деформации. Длинное волокно передаёт напряжение лучше, чем короткое. Вязкоупругие характеристики асфальтобетона улучшились, а сопротивление усталости повысилось.

В сфере усиления асфальтобетонных смесей с использованием волокон проводятся многочисленные исследования [31]. Авторы в работе [32] провели серию экспериментов с добавлением различного количества керамического волокна в асфальтовяжущее. Результаты показали, что асфальтовяжущее обладает повышенной трещиностойкостью и температурной стабильностью по сравнению с обычным асфальтобетоном.

В исследовании [33] авторы сосредоточились на актуальной проблеме продления срока службы асфальтового покрытия и снижения колеи от воздействия транспорта при высоких температурах в Эфиопии. Эксперименты проводились с использованием щебёночно-мастичного асфальтобетона и добавления в него бамбуковых волокон, волокон сахарного тростника и отходов производства сахара. Добавки к асфальту применялись в диапазоне от 0,2 % до 0,5 % от общей массы образца. Оптимальное содержание обоих видов волокон, равное 0,3 %, указывает на то, что использование волокон бамбука и сахарного тростника в асфальтовой смеси повышает стойкость асфальтовых покрытий к внешним воздействиям. Оба вида волокон с концентрацией 0,3 % улучшают сопротивляемость асфальтобетона образованию колеи. В итоге, данное исследование

продemonстрировало, что на производительность и свойства асфальтобетона влияет тип волокна и его количество.

В аналогичном исследовании [34], проведённом ранее, изучались характеристики асфальтобетонной смеси с добавлением джутовых волокон. В этом эксперименте джутовые волокна использовались в качестве армирующего материала, и оценивалась их способность противостоять деформации. Результаты показали, что оптимальное количество вяжущего вещества увеличивается на 4–5 %, а стабильность асфальтобетона, модифицированного джутовыми волокнами, возрастает до 29 %. Однако, при концентрации джутовых волокон 0,5 % текучесть смеси снижается до 7 %. Добавление джутовых волокон существенно повышает устойчивость асфальтобетона к деформации. Учитывая важность устойчивого развития, этот подход способствует развитию новой концепции утилизации отходов волокон, что снижает негативное воздействие на окружающую среду.

Автор работы приводит исследование влияния волокон кукурузных стеблей на свойства асфальтобетона. Волокно из кукурузных стеблей обладает хорошей однородностью в асфальтобетонном вяжущем, за ним следует базальтовое волокно и, наконец, лигниновое волокно. Добавление волокон из стеблей кукурузы может увеличить вязкость асфальтобетонного вяжущего. Данная особенность позволяет снизить его температурную чувствительность [35].

Органические волокнистые добавки – перспективное направление, изучаемое Н. П. Куценой. Она фокусируется на переработке отходов производства, содержащих амидные, аминные и гидроксильные группы. Такие добавки способствуют увеличению адсорбции битума, что приводит к повышению физико-механических свойств и улучшению сдвигоустойчивости покрытия. Полимерные добавки также играют важную роль. К ним относятся: дроблёная резина, которая улучшает сцепление, снижает уровень шума и повышает износостойкость. Полипропилен повышает прочность и эластичность покрытия, увеличивает его морозостойкость. Нитрон-полиамид повышает трещиностойкость и водонепроницаемость, снижает уровень шума. Отходы полиэтиленовой упаковки повышают эластичность и морозостойкость. Полиэфирные волокна повышают прочность и износостойкость покрытия, улучшают сцепление [36].

Известно, что в качестве стабилизирующей добавки могут применять группу волокон [37]: 15–35 % волокон на основе сложного полиэфира, 35–55 % древесного волокна, 15–35 % ПАН-во-

локна и 15–35 % нейлонового волокна. Общее содержание армирующей добавки составляет 0,3–0,6 % от массы смеси.

Добавки, описанные в работах [28–37], представляют собой волокна природного происхождения и относятся к классу сложных органических полимеров, которые являются основным компонентом тканей большинства растений. Представленные волокнистые природные полимеры не растворимы в воде и спирте, но растворяются в слабых щелочных растворах. С химической точки зрения образцы состоят из углерода (в большей степени), водорода и кислорода, также могут включать минеральные компоненты (например, золу). Различие этих добавок заключается в разнообразии и степени сшивания между этими элементами. Молекулярные массы волокон природного происхождения превышают 10 000 ед., а количество мономеров-звеньев варьируются в зависимости от растительного источника.

При этом именно стабилизирующая добавка в ЦМАС, в первую очередь, вступает во взаимодействие с битумом. С точки зрения химического состава, битум включает: углерод (70–87 %), водород (8–12 %), серу (0,5–7 %), кислород (0,2–12 %), азот (0–2 %). То есть в составе битума присутствуют аналогичные волокнистым природным полимерам элементы, и основным является именно углерод. Битум, применяемый в составе асфальтобетонных смесей, должен обладать высокой температурой размягчения и низкой температурой хрупкости, что достигается путем перевода битума из объемного состояния в пленочное. Чем выше структурирующая способность компонентов асфальтобетона по отношению к битуму, тем более высокой сдвигоустойчивостью и трещиностойкостью будет обладать асфальтобетон, в том числе щебеночно-мастичный. Существует ряд исследований, где в качестве твердых добавок для битума использовали технический углерод, являющийся отходом от утилизации шин [38–39].

Авторы отмечают, что углерод в составе добавок способствует образованию пленки с высокой степенью структурирования за счет физико-химических процессов на поверхности раздела фаз. Однако сложность модифицирования битумов углеродными волокнами заключается в том, что повышенное содержание углерода в составе битума способствует увеличению его вязкости и склонности к старению, что отрицательно сказывается на эксплуатационных качествах, в том числе понижается эластичность и повышается хрупкость вяжущего.

На практике производство углеродных волокон основано на применении двух видов сырья:

полимерных материалах таких как гидратцеллюлоза, полиакрилонитрил, а также низкомолекулярных органических материалах, в состав которых входит высокое содержание углерода (каменноугольные и нефтяные пеки, лигнин). Бумажно-целлюлозная промышленность является основным источником лигнина, и в настоящее время целлюлозно-бумажные предприятия ежегодно производят примерно 50–70 миллионов тонн лигнина, в основном, крафт-лигнина по всему миру. Кроме того, при производстве биотоплива второго поколения также образуется органический растворитель лигнин, в основном гидролизный лигнин. Около 98 % лигнина, производимого в бумажной и целлюлозной промышленности, используется для отопления или выработки электроэнергии, что имеет низкую стоимость, при этом менее 2 % лигнина используется в более ценных областях, в основном, в составах диспергаторов, связующих и поверхностно-активных веществ.

Поскольку химическая структура лигнина аналогична структуре асфальтобетона и поскольку лигнин представляет собой углеводородный материал на основе углерода, в последние годы все больше и больше людей изучают применение лигнина в асфальтобетонных покрытиях. Его структурной единицей является аморфное полимерное сетчатое соединение фенилпропана. Наиболее распространенным применением лигнина в дорожных покрытиях было добавление гидролизного лигнина в качестве модификатора асфальтобетона, который может значительно улучшить стойкость композита к старению и оказывает различное влияние на высокотемпературные реологические свойства, устойчивость к растрескиванию при низких температурах и усталостную стойкость асфальтобетона [40].

Однако при введении в состав битума гидролизного лигнина наблюдается низкая адгезия между материалами, что приводит к расслоению смеси этих двух материалов, что в конечном итоге снижает водостойкость асфальтобетона. Поэтому в последние годы исследователи сосредоточились на извлечении и использовании лигнина для превращения его в ароматические базовые химикаты и химические продукты для более эффективного использования, в том числе, и в асфальтобетонных смесях.

Лигнин относится к лиофобным веществам, плохо набухающим в нефтяных маслах, состоящих из смеси углеводов: парафиновых, нафтеновых и др. Для создания взаимосвязанной системы «битум-лигнин», требуется деструктурировать последний, что в последующем позволит

получить коагуляционный каркас за счет большого числа простых углеводородных компонентов. Известно, что именно размер частиц определяет эффективность используемых добавок. Перевод модифицирующих добавок до микрочастиц с последующим расщеплением до элементарных частиц (молекул) позволяет получить качественно новые эффективные материалы [41–42].

Частицы лигнина имеют прочные фазовые контакты, поэтому не способны к разрушению до молекулярного состояния под действием внешних механических усилий (помол), за исключением химического воздействия. В частности, известен процесс гидрогенолиза, заключающийся в деструктивном гидрировании лигнина при действии на него водорода под давлением при повышенной температуре в присутствии катализаторов. При этом выделяют низкомолекулярные производные пропилциклогексана. Однако исследований по влиянию полученного материала на свойства битума и асфальтобетона не представлены [43].

В последнее время наблюдается значительный рост числа исследований, посвященных добавлению новых волокнистых компонентов в асфальтобетонные смеси. Это связано с необходимостью усиления армирования материала и повышения прочности асфальтового покрытия для обеспечения устойчивости к различным нагрузкам. Направление активно развивается, и результаты испытаний служат основой для дальнейших поисков новых добавок, которые обеспечат асфальтовому покрытию новые характеристики [44].

Основные виды стабилизирующих добавок представлены в таблице 1. В таблице 2 указан средний расход, а также средняя стоимость стабилизирующих добавок.

Среди добавок, отличающихся минимальным расходом, можно выделить Torcel, Хризотоп, Стилобит и Viator premium. При этом Хризотоп и Стилобит обладают преимуществом в виде более низкой стоимости за килограмм. По результатам расчета средней стоимости добавки на тонну смеси, Хризотоп и Стилобит остаются лидерами по доступности. Наиболее невыгодным с экономической точки зрения вариантом являются добавки Torcel и Viator 66, стоимость которых в 1,6 раза выше стоимости стабилизатора.

Долгое время лидерами на рынке стабилизирующих добавок являлись иностранные компании, преимущественно, немецкие. Высокая стоимость иностранных добавок заставила российских ученых разрабатывать свой продукт.

Таблица 1

Классификация стабилизирующих добавок

№ п/п	Вид добавки по вещественному составу	Вид добавки по физическому состоянию и товарной форме	Вид добавки по наименованию основных составляющих веществ и химических соединений и активных компонентов			Коммерческое название добавки
1	2	3	4			5
2	Минеральные добавки	волокнистые	хризоти -ласбест	свободные волокна		-
				гранулы		ХРИЗОТОП
			стекловолокно			-
		базальтовые волокна			ВОКСИЛ 100	
		порошковые	волластонит			-
3	Органические добавки	полимерные волокна	целлюлозные	свободные волокна	Без вяжущего	TECHNOCEL 1004
				гранулы	Без вяжущего	СД-1; ITERFIBRA;
					Обработанные битумом	VIATOP 66; VI-ATOP Premium; СД3; ANTRO-CEL; ГАСЦЕЛ
					Обработанные воском	СД-2; TOPCEL
			синтетические	полиамидные		-
				полиэфирные		-
				акриловое волокно		DOLANIT
				поливинилхлоридные		-
				полиолефиновые		-
		полимерные гранулы	полиолефиновый полимерный носитель			РТЭП
			сополимер этилена с винилацетатом, полиэтилен			СЕВИПАВ
			пропилен-бутилен-этилен			ВЕСТОПЛАСТ
		порошковые	на основе дробленой резины	порошковые		УНИРЕМ-001
				гранулы		УНИРЕМ-002

Таблица 2

Средняя стоимость добавки, необходимой для приготовления тонны смеси ЦМА

Стабилизирующая добавка	Средний расход, кг/т	Средняя стоимость (на 25.04.2024), руб/кг	Стоимость на тонну ЦМАС, руб/т
Viatop 66	4–4,5	54	216–243
Viatop premium	3–3,5	47	141–164,5
Topcel	2,8–3,2	71,50	200,2–228,8
Хризотоп	2–5 (оптимальный 3)	45	90–225 (135)
Стилобит	2–5 (оптимальный 3)	43,5	87–217,5 (130,5)
СД-3ГБЦ	3-4	47	141–188

Сегодня рынок добавок значительно увеличился. Причем, российские добавки отвечают всем требованиям нормативной документации и по характеристикам не уступают иностранным аналогам. Более того, они стоят дешевле, что делает их использование экономически выгодным.

Применение отечественных добавок для производства щебеночно-мастичного асфальто-

бетона является важным шагом к снижению стоимости и повышению доступности этого материала. Благодаря этому, строительство дорог становится более экономичным, а значит, доступным для большего количества проектов. Использование отечественных добавок уже успешно применяется в различных регионах России и соседних стран. Крупные дорожные проекты, такие как фе-

деральные автодороги под контролем ФДА Росавтодор, трассы, управляемые Государственной компанией Автодор, олимпийская инфраструктура в Сочи, а также проекты в крупных городах, таких как Москва и Санкт-Петербург, демонстрируют эффективность отечественных разработок [45].

Выводы. Наиболее распространенными добавками для ЩМА являются стабилизирующие, которые, как правило, производятся из целлюлозы. Они представлены в виде фибриллированных волокон или гранул, способствуя повышению прочности и долговечности асфальтобетонного покрытия. Среди наиболее известных целлюлозных добавок можно выделить: Viator – известная марка, представленная в различных модификациях, применяется для улучшения качества асфальтобетона. Technosel отличается высокой эффективностью и широко используется в дорожном строительстве. Торсел – импортная добавка, обладающая высокими характеристиками, но отличающаяся высокой стоимостью. Хризотоп, СД 3 – ГБЦ, Стилорит – российский продукт, характеризующийся оптимальным соотношением цены и качества. Помимо целлюлозных волокон, в дорожном строительстве применяются и другие виды стабилизирующих добавок. Например, Dolanit – добавка на основе акриловых волокон, эффективно улучшающая прочностные характеристики асфальтобетона.

Анализ средней стоимости добавок для щебеночно-мастичного асфальтобетона показывает, что российские продукты Хризотоп и Стилорит являются оптимальным вариантом с точки зрения соотношения цены и качества. Российские добавки, как правило, дешевле импортных аналогов. Хризотоп и Стилорит отличаются низким расходом, что также снижает общую стоимость производства щебеночно-мастичного асфальтобетона.

Анализ литературных данных показывает, что применение органических волокнистых материалов в качестве стабилизирующих добавок для ЩМА является перспективным направлением исследований, а количество экспериментальных работ с их применением значительно увеличилось за последнее время. При этом, стоит отметить ограниченное количество исследований по применению в качестве стабилизатора таких отходов промышленности как лигнин, представляющего угрозу экологической обстановки в регионах, на территории которых находятся целлюлозно-бумажные комбинаты. Однако во многих странах проводятся исследования по использованию таких отходов как бамбуковые волокна, волокна сахарного тростника и отходы производства сахара, количество которых также наносит

ущерб окружающей среде. Развитие и внедрение новых отечественных добавок для щебеночно-мастичного асфальтобетона на основе таких материалов как лигнин будет способствовать улучшению качества дорожного покрытия, снижению его стоимости, что позволит построить еще более эффективную и безопасную дорожную сеть, а также сохранить окружающую среду.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Вдовин Е.А., Буланов П.Е., Журавлев И.В. Влияние целлюлозных стабилизирующих добавок на физико-механические характеристики битума // Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. 2022. № 3(61). С. 103–109. DOI: 10.52409/20731523_2022_3_103.
2. Дедуренко В.А., Колосков Р.С. Влияние состава асфальтобетона на процессы колееобразования автомобильных дорог // Актуальные проблемы строительства, ЖКХ и техносферной безопасности: Материалы IX Всероссийской (с международным участием) научно-технической конференции молодых исследователей 18-23 февраля 2022 года. 2022. С. 28–30.
3. Ядыкина В.В. Влияние энергосберегающих добавок на свойства щебеночно-мастичного асфальтобетона на примере Evotherm, Азол 1007 и Адгезол 3-тд // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2015. №. 6. С. 149–153.
4. Степанец В.Г. Применение щебеночно-мастичной асфальтобетонной смеси при строительстве покрытий в Алтайском крае // Молодой учёный. 2016. Т. 12. С. 226–230.
5. Ниязов М.К., Саканов К.Т. Щебеночно-мастичный асфальтобетон в дорожном строительстве // Повышение качества образования, современные инновации в науке и производстве : Сборник трудов Международной научно-практической конференции, Экибастуз, 29 мая 2020 года. 2020. С. 550–554.
6. 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. DOI: 10.18411/lj-06-2021-93.
7. Мясникова А.А. Методы регулирования свойств щебеночно-мастичного асфальтобетона // Архитектура, градостроительство и дизайн. 2023. №37. С. 26–32.
8. Ярцев В.П., Полежаева Е.С. Повышение технологических и эксплуатационных характеристик строительного битума // Кровельные и изоляционные материалы. 2014. № 6. С. 14–15.

9. Сапов А.В., Зимнухов А.Н. Особенности состава и структуры щебеночно-мастичного асфальтобетона // Стабилизирующие добавки. 2010. Т. 124. С. 144–148.
10. Эфа А.К., Жураускас А.В., Акулов А.П. Щебеночно-мастичный асфальтобетон теоретические основы, практика применения // Строительные материалы. 2003. №1. С. 22–23.
11. Исмаилов А.М. Оптимизационно-квалиметрическая модель процесса проектирования асфальтобетонных смесей требуемого качества // Современные наукоемкие технологии-2019. № 11-2. С. 170–279.
12. Герасимов А.И. Устойчивость к колееобразованию асфальтобетонных покрытий // Студент и наука. 2020. №1. С. 653–656.
13. Русаков М.Н., Исмаилов А.М. Стирол-бутадиен-стирольные полимеры для дорожного строительства в Российской Федерации // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2020. №87. С. 1–13. DOI: 10.18720/CUBS.87.3
14. Чернова Н.А., Бирюков О.Р., Ермошин Н.А. Влияние стабилизирующих добавок из целлюлозы на свойства щебеночно-мастичного асфальтобетона // Неделя науки ИСИ : Материалы всероссийской конференции в 3-х частях, Санкт-Петербург, 26–30 апреля 2021 года. 2021. С. 255–257.
15. Ильина Т.Н., Севостьянов М.В., Шкарпеткин Е.А. Конструктивно-технологическое совершенствование агрегатов для гранулирования порошкообразных материалов // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2010. №2. С. 100–102.
16. Ядыкина В.В. Влияние стабилизирующих добавок из отходов целлюлозно-бумажной промышленности на свойства щебеночно-мастичного асфальтобетона // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. ВГ Шухова. 2013. №. 6. С. 7–11.
17. Стабилизирующие добавки в ЩМА. Виды и эффективность // Сумма проектов.: URL: <https://sumpro.ru/articles/article?id=239> (дата обращения: 09.04.2024).
18. Соловьёва А.А., Новик А.Н. Стабилизирующие добавки различного производства для щебеночно-мастичного асфальтобетона // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2018. №. 6. С. 25–34. DOI: 10.18720/CUBS.69.3.
19. Добавки Viatop // Сумма проектов. URL: <https://sumpro.ru/articles/article?id=297> (дата обращения: 09.04.2024).
20. Стабилизатор Хризотоп // Сумма проектов. URL: <https://sumpro.ru/articles/article?id=305> (дата обращения: 09.04.2024).
21. Ермошин Н.А., Исмаилов А.М. Долговечность и качество // Автомобильные дороги. 2021. №1 (1070). С. 94–97.
22. Стабилизирующая добавка Стилосит // Сумма проектов. URL: <https://sumpro.ru/articles/article?id=308> (дата обращения: 09.04.2024).
23. Псюрник В.А. Роль волокон в формировании физико-механических свойств щебеночно-мастичного асфальтобетона // Вісник Харківського національного автомобільно-дорожнього університету. 2005. №. 30. С. 1–4.
24. 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.
25. Desseaux S., Santos S., Geiger T., Tingaut P., Zimmermann T.N., Part M.D., Poulikakos L. Improved mechanical properties of bitumen modified with acetylated cellulose fibers // Composites Part B – Engineering. 2018. Pp. 139–144. DOI: 10.1016/2017.12.010.
26. Awanti S.S. Laboratory Evaluation of SMA Mixes Prepared with SBS Modified and Neat Bitumen Procedia // Social and Behavioral Sciences. 2017. Vol. 104. Pp. 59–68. DOI: 10.1016/j.sbspro.2013.11.098.
27. Ameli A., Babagoli R., Norouzi N., Jalali F., Poorheydari M.F. Laboratory evaluation of the effect of coal waste ash (CWA) and rice husk ash (RHA) on performance of asphalt mastics and Stone matrix asphalt (SMA) mixture // Construction and Building Materials. 2020. Pp. 117–127. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2019.1175.
28. Guo Q., Li L., Cheng Y., Jiao Y., Xu C. Laboratory Evaluation on Performance of Diatomite and Glass Fiber Compound Modified Asphalt Mixture // Materials & Design. 2015. Vol. 66. Pp. 51–59. DOI: 10.1016/j.matdes.2014.10.033.
29. Xiong R., Fang J., Xu A., Guan B., Liu Z. Laboratory Investigation on the Brucite Fiber Reinforced Asphalt Binder and Asphalt Concrete // Construction and Building Materials 2015. Vol. 83. Pp. 44–52. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2015.02.089.
30. Gao Y., Guo Q., Guo Y., Wu P., Meng W., Jia T. Investigation on Reinforced Mechanism of Fiber Reinforced Asphalt Concrete Based on Micro-mechanical Modeling // Advances in Materials Science and Engineering. 2017. Pp. 1–12. DOI: 10.1155/2017/4768718.
31. Arabani M., Shabani A. Evaluation of the Ceramic Fiber Modified Asphalt Binder // Construction and Building Materials. 2019. Vol. 205. Pp. 377–386. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2019.02.037.
32. Chen Z., Yi J., Chen Z., Feng D. Properties of Asphalt Binder Modified by Corn Stalk Fiber // Construction and Building Materials.

2019. Vol. 212. Pp. 225–235. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2019.03.329.

33. Geremew A., Jemal A. The comparative study on the performance of bamboo fiber and sugarcane bagasse fiber as modifiers in asphalt concrete production // *Heliyon*. 2020. Pp. 1–8. DOI: 10.1016/j.heliyon.2022.e09842.

34. Assan M., Rashid M., Danish A., Ahmed A. The effect of using jute fiber on deformation resistance of asphalt concrete. 2021. Pp. 1–6.

35. Kim M.-J., Kim S., Yoo D.-Y., Shin H.-O. Enhancing Mechanical Properties of Asphalt Concrete Using Synthetic Fibers // *Construction and Building Materials*. 2018. Vol. 178. Pp. 233–243. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2018.05.070.

36. Соловьёва А.А., Новик А.Н. Стабилизирующие добавки различного производства для щебеночно-мастичного асфальтобетона // *Строительство уникальных зданий и сооружений*. 2018. №. 6. С. 25–34. DOI: 10.18720/CUBS.69.3.

37. Комбинированное волокно, повышающее трещиностойкость и трещиностойкость битумных покрытий : пат. CN101798169A Китай. № 201010125128 ; заявл. 16.03.10 ; опубл. 29.08.12. 4 с.

38. Абдуллин А.И., Емельянычева Е.А. Использование технического углерода в качестве добавки к дорожным битумам // *Вестник Казанского технологического университета*. 2014. №2. 275–278.

Информация об авторах

Траутвайн Анна Ивановна, кандидат технических наук, доцент кафедры автомобильных и железных дорог. E-mail: trautvain@bk.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Сырых Алина Александровна, студент кафедры автомобильных и железных дорог. E-mail: syryhalina@gmail.com Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Поступила 27.05.2024 г.

© Траутвайн А.И., Сырых А.А. 2025

Trautvain A.I., *Syryh A.A.

Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov

**E-mail: syryhalina@gmail.com*

ANALYSIS OF THE MARKET OF STABILIZING ADDITIVES FOR CRUSHED STONE-MASTIC ASPHALT CONCRETE. THEORETICAL INFORMATION ON THE APPLICATION OF ORGANIC FIBERS FOR BITUMEN STABILIZATION

Abstract. *The transition to the use of crushed stone-mastic asphalt concrete mixtures in the upper layers of road clothes is a global trend and leads to increased crack resistance, shear resistance, fatigue resistance, frost resistance, as well as low abrasion resistance, reduced noise and increased roughness of the coating compared with road clothes having a coating based on traditional asphalt concrete. The production of crushed stone-mastic asphalt concrete with high performance and functional characteristics depends on the quality of the stabilizing additive used. Modern specialists are constantly working to improve and strengthen the road*

surface and, in particular, the upper layers of the road surface, to make them more resistant to external influences and conditions of modern and rapidly changing traffic flow, while paying attention to various additives that are designed to strengthen and bind the components of the road surface more firmly. The market of stabilizing additives is mainly represented by foreign manufacturers, and the use of domestic analogues in the composition of crushed stone-mastic asphalt concrete leads to a mixture of unsatisfactory quality. The paper considers a wide range of existing stabilizing additives, their component composition, as well as their advantages and disadvantages. The main properties of the resulting crushed stone-mastic asphalt concrete based on the most common types of additives of both imported and domestic production are considered. Based on the data obtained, theoretical prerequisites have been made for the development and laboratory studies of a new stabilizing additive using natural polymer fiber based on cellulose production waste.

Keywords: crushed stone-mastic asphalt concrete, runoff, shear stability, stabilizing additive, structure formation, modification, cellulose fibers, polymer fibers, organic fiber additives, lignin.

REFERENCES

1. Vdovin E.A., Bulanov P.E., Zhuravlev I.V. Influence of cellulose stabilizing additives on the physico-mechanical characteristics of bitumen [Vliyaniye celluloznykh stabiliziruyushih dobavok na fiziko-mekhanicheskie harakteristiki bituma]. Izvestiya Kazanskogo gosudarstvennogo arhitekturo-stroitel'nogo universiteta. 2022. No. 3(61). Pp. 103–109. DOI: 10.52409/20731523_2022_3_103. (rus)
2. Dedurenko V.A., Koloskov R.S. The influence of asphalt concrete composition on the processes of highway rutting [Vliyaniye sostava asfaltobetona na protsessy koleebrazovaniya avtomobilnykh dorog]. Actual problems of construction, housing and communal services and technosphere safety: Materials of the IX All-Russian (with international participation) scientific and technical conference of young researchers on February 18-23, 2022. 2022. Pp. 28–30. (rus)
3. Yadykina V.V. The influence of energy-saving additives on the properties of crushed stone-mastic asphalt concrete on the example of Evotherm, Azol 1007 and Adgezol 3-td [Vliyaniye energosberegayushchikh dobavok na svoystva shchebenochno-mastichnogo asfaltobetona na primere Evotherm. Azol 1007 i Adgezol 3-td]. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2015. No. 6. Pp. 149–153. (rus)
4. Stepanets V.G. The use of crushed stone-mastic asphalt concrete mixture in the construction of coatings in the Altai Territory [Primeneniye shchebenochno-mastichnoy asfaltobetonnoy smesi pri stroitelstve pokrytiy v Altayskom kraye]. Young Scientist. 2016. Vol. 12. Pp. 226–230. (rus)
5. Niyazov M.K., Sakanov K.T. Crushed stone-mastic asphalt concrete in road construction [Shchebenochno-mastichnyy asfaltobeton v dorozhnom stroitelstve]. Improving the quality of education, modern innovations in science and production: Proceedings of the International Scientific and Practical Conference, Ekibastuz, May 29, 2020. 2020. Pp. 550–554. (rus)
6. Dormidontova T.V., Losev D.A., Andreev F.S. Advantages of using crushed stone-mastic asphalt concrete during major repairs of highways [Preimushchestva ispolzovaniya shchebenochno-mastichnogo asfaltobetona pri kapitalnom remonte avtomobilnykh dorog]. Trends in the development of science and education. 2021. No. 74-3. Pp. 47–50. DOI: 10.18411/lj-06-2021-93. (rus)
7. Myasnikova A.A. Methods of regulating the properties of crushed stone-mastic asphalt concrete [Metody regulirovaniya svoystv shchebenochno-mastichnogo asfaltobetona]. Architecture, urban planning and design. 2023. No. 37. Pp. 26–32. (rus)
8. Yartsev V.P., Polezhaeva E.S. Improving the technological and operational characteristics of building bitumen [Povysheniye tekhnologicheskikh i ekspluatatsionnykh kharakteristik stroitel'nogo bituma]. Roofing and insulating materials. 2014. No. 6. Pp. 14–15. (rus)
9. Sapov A.V., Zimnukhov A.N. Features of the composition and structure of crushed stone-mastic asphalt concrete [Osobennosti sostava i struktury shchebenochno-mastichnogo asfaltobetona]. Stabilizing additives. 2010. Vol. 124. Pp. 144–148. (rus)
10. Efa A.K., Jurauskas A.V., Akulov A.P. Crushed stone mastic asphalt concrete theoretical foundations, application practice [Shchebenochno-mastichnyy asfaltobeton teoreticheskiye osnovy. praktika primeneniya]. Building materials. 2003. No.1. Pp. 22–23. (rus)
11. Ismailov A.M. Optimization and qualimetric model of the design process of asphalt concrete mixtures of the required quality [Optimizatsionno-kvalimetriceskaya model protsessa proyektirovaniya asfaltobetonnykh smesey trebuyemogo kachestva]. Modern high-tech technologies-2019. No. 11-2. Pp. 170–279. (rus)
12. Gerasimov A.I. Resistance to rutting of asphalt concrete coatings [Ustoychivost k koleyebrazovaniyu asfaltobetonnykh pokrytiy]. Student and science. 2020. No. 1. Pp. 653–656. (rus)
13. Rusakov M.N., Ismailov A.M. Styrene-butadiene-styrene polymers for road construction in the Russian Federation [Stirol-butadien-stirolnyye polimery dlya dorozhnogo stroitelstva v Rossiyskoy

Federatsii]. Construction of unique buildings and structures. 2020. No. 87. Pp. 1–13. DOI: 10.18720/CUBS.87.3 (rus)

14. Chernova N.A., Biryukov O.R., Yermoshin N.A. The effect of stabilizing additives from cellulose on the properties of crushed stone-mastic asphalt concrete [Vliyaniye stabiliziruyushchikh dobavok iz tsellyulozy na svoystva shchebenochno-mastichnogo asfaltobetona]. ISI Science Week : Proceedings of the All-Russian conference in 3 parts, St. Petersburg, April 26-30, 2021. 2021. Pp. 255–257. (rus)

15. Ilyina T.N., Sevostyanov M.V., Shkarpetkin E.A. Constructive and technological improvement of aggregates for granulating powdery materials [Konstruktivno-tekhnologicheskoye sovershenstvovaniye agregatov dlya granulirovaniya poroshkoobraznykh materialov]. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2010. No.2. Pp. 100–102. (rus)

16. Yadykina V.V. Influence of stabilizing additives from pulp and paper industry waste on the properties of crushed stone-mastic asphalt concrete [Vliyaniye stabiliziruyushchikh dobavok iz otkhodov tsellyulozno-bumazhnoy promyshlennosti na svoystva shchebenochno-mastichnogo asfaltobetona]. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2013. No. 6. Pp. 7–11. (rus)

17. Stabilizing additives in the cheek. Types and effectiveness [Stabiliziruyushchiye dobavki v ShchMA. Vidy i effektivnost]. Sum of projects : URL: <https://sumpro.ru/articles/article?id=239> (date of application: 04/09/2024).

18. Solovyova A. A., Novik A.N. Stabilizing additives of various production for crushed stone-mastic asphalt concrete [Stabiliziruyushchiye dobavki razlichnogo proizvodstva dlya shchebenochno-mastichnogo asfaltobetona]. Construction of unique buildings and structures. 2018. No. 6. Pp. 25–34. DOI: 10.18720/CUBS.69.3. (rus)

19. Viatop supplements [Dobavki Viatop]. Sum of projects. URL: <https://sumpro.ru/articles/article?id=297> (date of application: 04/09/2024). (rus)

20. Stabilizer Chrysotop [Stabilizator Khризотоп]. Sum of projects. URL: <https://sumpro.ru/articles/article?id=305> (date of reference: 04/09/2024). (rus)

21. Yermoshin N.A., Ismailov A.M. Durability and quality [Dolgovechnost i kachestvo]. Highways. 2021. No. 1 (1070). Pp. 94–97. (rus)

22. Stabilizing additive Stylobite [Stabiliziruyushchaya dobavka Stilobit]. Sum of projects : URL: <https://sumpro.ru/articles/article?id=308> (date of reference: 04/09/2024). (rus)

23. Psyurnik V. A. The role of fibers in the formation of physical and mechanical properties of crushed stone-mastic asphalt concrete [Rol volokon v formirovaniy fiziko-mekhanicheskikh svoystv

shchebenochno-mastichnogo asfaltobetona]. Bulletin of the Kharkiv National Automobile and Road University. 2005. No. 30. Pp. 1–4. (ua)

24. Smirnov D.S., Yagund E.M., Brodneva V.E. Assessment of the impact of cellulose impurities on the properties of crushed stone-mastic asphalt concrete [Otsenka vozdeystviya tsellyuloznykh primesey na svoystva shchebenochno-mastichnogo asfaltobetona]. Proceedings of the Kazan State University of Architecture and Civil Engineering. 2020. No. 4 (54). Pp. 80–87. (rus)

25. Desseaux S., Santos S., Geiger T., Tingaut P., Zimmermann T. N., Part M. D., Poulikakos L. Improved mechanical properties of bitumen modified with acetylated cellulose fibers. Composites Part B – Engineering. 2018. Pp. 139–144. DOI: 10.1016/2017.12.010.

26. Awanti S.S. Laboratory Evaluation of SMA Mixes Prepared with SBS Modified and Neat Bitumen Procedia. Social and Behavioral Sciences. 2017. Vol. 104. Pp. 59–68. DOI: 10.1016/j.sbspro.2013.11.098.

27. Ameli A., Babagoli R., Norouzi N., Jalali F., Poorheydari M. F. Laboratory evaluation of the effect of coal waste ash (CWA) and rice husk ash (RHA) on performance of asphalt mastics and Stone matrix asphalt (SMA) mixture. Construction and Building Materials. 2020. Pp. 117–127. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2019.1175.

28. Guo Q., Li L., Cheng Y., Jiao Y., Xu C. Laboratory Evaluation on Performance of Diatomite and Glass Fiber Compound Modified Asphalt Mixture. Materials & Design. 2015. Vol. 66. Pp. 51–59. DOI: 10.1016/j.matdes.2014.10.033.

29. Xiong R., Fang J., Xu A., Guan B., Liu Z. Laboratory Investigation on the Bru-cite Fiber Reinforced Asphalt Binder and As-phalt Concrete. Construction and Building Materials. 2015. Vol. 83. Pp. 44–52. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2015.02.089.

30. Gao Y., Guo Q., Guo Y., Wu P., Meng W., Jia T. Investigation on Reinforced Mechanism of Fiber Reinforced Asphalt Concrete Based on Micro-mechanical Modeling. Advances in Materials Science and Engineering. 2017. Pp. 1–12. DOI: 10.1155/2017/4768718.

31. Arabani M., Shabani A. Evaluation of the Ceramic Fiber Modified Asphalt Binder. Construction and Building Materials. 2019. Vol. 205. Pp. 377–386. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2019.02.037.

32. Chen Z., Yi J., Chen Z., Feng D. Properties of Asphalt Binder Modified by Corn Stalk Fiber. Construction and Building Materials. 2019. Vol. 212. Pp. 225–235. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2019.03.329.

33. Geremew A., Jemal A. The comparative study on the performance of bamboo fiber and sugarcane bagasse fiber as modifiers in asphalt concrete

production. Heliyon. 2020. Pp. 1–8. DOI: 10.1016/j.heliyon.2022.e09842.

34. Assan M., Rashid M., Danish A., Ahmed A. The effect of using jute fiber on de-formation resistance of asphalt concrete. 2021. Pp. 1–6.

35. Kim M.-J., Kim S., Yoo D.-Y., Shin H.-O. Enhancing Mechanical Properties of Asphalt Concrete Using Synthetic Fibers. Construction and Building Materials. 2018. Vol. 178. Pp. 233–243. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2018.05.070.

36. Solovyova A. A., Novik A.N. Stabilizing additives of various production for crushed stone-mastic asphalt concrete [Stabiliziruyushchiye dobavki razlichnogo proizvodstva dlya shchebenochno-mastichnogo asfaltobetona]. Construction of unique buildings and structures. 2018. No. 6. Pp. 25–34. DOI: 10.18720/CUBS.69.3 (rus)

37. Combined fiber that increases crack resistance and crack resistance of bitumen coatings : pat. CN101798169A China. No. 201010125128 ; application. 03/16/10 ; publ. 08/29/12. 4 p.

38. Abdullin A.I., Yemelyanycheva E.A. The use of carbon black as an additive to road bitumen [Ispolzovaniye tekhnicheskogo ugleroda v kachestve dobavki k dorozhnym bitumam]. Bulletin of the Kazan Technological University. 2014. No. 2. 275–278. (rus)

39. Sokolov Yu.V., Galdina V.D., Tsekanovich M.S., Zholos A.I. Investigation of the structure and properties of concentrated bitumen mastics based on bitumen and carbon black [Issledovaniye struktury i svoystv kontsentrirrovannykh bi-

tumnykh mastik na osnove bitumov i tekhnicheskogo ugleroda]. Building Materials. 2005. No.10. Pp. 10–11. (rus)

40. Hui Y., Yiran W., Junfu L., Mei X., Pengrui M., Jie Ji, Zhanping Y. Review on Applications of Lignin in Pavement Engineering: A Recent Survey. Sec. Structural Materials. 2021 Vol. 8. 803524. DOI: 10.3389/fmats.2021.803524.

41. Kozhitov L.V., Zaporotskova I.V., V. Kozlov.B. Promising carbon-based nanomaterials [Perspektivnyye nanomaterialy na osnove ugleroda]. Bulletin of the Volga. 2009. Series 10. Iss. 4. Pp. 63–85. (rus)

42. Lesovik V.S., Zagorodnyuk L.H., Chulkova I.L. The law of affinity of structures in materials science [Zakon srodstva struktur v materialovedenii]. Fundamental research. 2014. No. 3. Part 2. Pp. 267–271.

43. Smirnova A.I., Antonova V.S. Applied chemistry of natural compounds: textbook. handbook. St. Petersburg: HSE SPbGUPTD, 2020. 94 p.

44. Ignatiev A.A. Additives in asphalt concrete. Literature review [Dobavki v asfaltobeton. Obzor literatury]. Proceedings of the Kazan State University of Architecture and Civil Engineering. 2023. No. 1 (63). Pp. 14–30. DOI: 10.52409/20731523_2023_1_14. (rus)

45. Solovyova A.A., Novik A.N. Stabilizing additives of various production for crushed stone-mastic asphalt concrete [Stabiliziruyushchiye dobavki razlichnogo proizvodstva dlya shchebenochno-mastichnogo asfaltobetona]. Construction of unique buildings and structures. 2018. No. 6. Pp. 25–34. DOI: 10.18720/CUBS.69.3 (rus)

Information about the authors

Trautvain, Anna I. Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Automobile and Railways. E-mail: trautvain@bk.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Syryh, Alina A. Student of the Department of Automobile and Railways. E-mail: syryhalina@gmail.com. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Received 27.05.2024

Для цитирования:

Траутвайн А.И., Сырых А.А. Анализ рынка стабилизирующих добавок для щебеночно-мастичного асфальтобетона. Теоретические предпосылки применения органических волокон для стабилизации битума // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2025. № 1. С. 82–99. DOI: 10.34031/2071-7318-2024-10-1-82-99

For citation:

Trautvain A.I., Syryh A.A. Analysis of the market of stabilizing additives for crushed stone-mastic asphalt concrete. Theoretical information on the application of organic fibers for bitumen stabilization. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2025. No. 1. Pp. 82–99. DOI: 10.34031/2071-7318-2024-10-1-82-99

DOI: 10.34031/2071-7318-2024-10-1-100-116

¹Буковцова А.И., ^{1,*}Нецвет Д.Д., ²Жерновская И.В.¹Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС»²Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

*E-mail: netsvet_dd@mail.ru

АНАЛИЗ МЕХАНИЗМОВ САМООЧИЩЕНИЯ В МАТЕРИАЛАХ СТРОИТЕЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Аннотация. В настоящее время существует потребность в возведении зданий с высокими показателями по долговечности и эксплуатационными свойствами, которая может быть реализована разработкой и внедрением самоочищающихся покрытий и материалов с их применением. Использование строительных материалов с самоочищающейся поверхностью является экономичным и экологичным решением для поддержания внешнего вида и чистоты фасадов зданий, а также значительного повышения долговечности строительных конструкций, в связи с чем данное направление является актуальным для строительной отрасли.

В статье представлен обзор работ по разработке и исследованию самоочищающихся покрытий с гидрофобными и гидрофильными свойствами. Указаны основные показатели, которые контролируются для самоочищающихся покрытий. Также рассмотрены «умные» покрытия, свойства которых меняются в зависимости от воздействующих факторов внешней среды.

Существует два основных типа самоочищающихся поверхностей: гидрофобные и гидрофильные. Гидрофобные поверхности характеризуются высокой водоотталкивающей способностью, которая достигается благодаря наличию микро- и наноструктур. Гидрофильные поверхности, наоборот, обладают способностью притягивать воду. Требуемые свойства поверхности и условия эксплуатации материала определяют выбор соответствующего типа покрытия и технологии нанесения. Однако, в настоящее время ученые ведут разработки амфибобных и амфифильных материалов, свойства которых распространяются одновременно на полярные и неполярные жидкости, что позволяет достигать более высоких эксплуатационных показателей покрытий и эффективности их применения.

Литературный поиск производился по опубликованным за последние 5 лет статьям, рецензированным в базах данных РИНЦ, Scopus и Web of Science.

Ключевые слова: самоочищение, гидрофобные покрытия, гидрофильные покрытия, шероховатость, поверхностная энергия

Введение. В природе существует значительное количество примеров поверхностей со свойствами самоочищения и гидрофобности: поверхность листьев растений (лотос, роза), кожа ящериц, крылья насекомых и т.д. Основываясь на результатах исследований особенностей поверхности данных объектов, учеными разработаны инновационные технологии и материалы для получения покрытий с заданными свойствами и контроля смачиваемости.

Вопросы разработки и внедрения материалов с самоочищающимися поверхностями в настоящее время получают всё больше внимания как со стороны науки о материалах, так и со стороны различных отраслей промышленности. Данная проблематика является важной и для строительной отрасли, одной из задач которой является возведение гражданских и промышленных зданий с высокими показателями по долговечности, энергоэффективности, улучшенными эстетическими и эксплуатационными характеристиками. Также важно отметить, что применение

самоочищающихся покрытий является экономичным и экологичным (с низким углеродным следом) решением для поддержания внешнего вида фасадов зданий: снижение эксплуатационных затрат достигается путем уменьшения частоты уборки, сокращения количества используемых для очистки моющих средств и воды, а также деструктивного влияния от воздействия агрессивных химических веществ при обработке, что позволит продлить срок службы материалов и сохранить их внешний вид. В итоге эффект самоочищения приведет к снижению выбросов углекислого газа при производстве и эксплуатации новых материалов и выполнении работ по очистке и уборке, сокращению загрязнения окружающей среды и экономии ресурсов [1–5].

Поиск и анализ опубликованных за последние 5 лет статей в базах данных РИНЦ, Scopus и Web of Science показывает высокий интерес исследователей в области самоочищающихся покрытий.

Таким образом, цель представленного исследования заключалась в изучении и анализе современных самоочищающихся покрытий для материалов различного назначения, в том числе и строительных материалов для облицовки фасадов зданий и остекления, применение которых позволит значительно повысить долговечность и эксплуатационные свойства зданий. Особое внимание уделяется созданию гидрофобных, гидрофильных, амфифобных и «умных» покрытий, свойства которых меняются в зависимости от внешних факторов. Исследование направлено на выявление преимуществ и особенностей применения данных покрытий для улучшения эстетических характеристик, снижения эксплуатационных затрат и воздействия на окружающую среду, что делает их актуальными для строительной отрасли.

Методология. Поиск по базе данных РИНЦ осуществлялся с помощью сайта ELIBRARY.RU, поиск зарубежных статей проводился с помощью сайтов ScienceDirect.com, ResearchGate.net, scholar.google.ru. Наиболее полная информация о результатах, опубликованных в зарубежных источниках, получена с сайта ScienceDirect.com.

Согласно полученным данным, с 2020 по 2024 г. по тематике «самоочищающиеся» на сайте ELIBRARY.ru опубликована и запланирована к публикации 51 статья, по тематике «self-cleaning» на сайте ScienceDirect.com – 51824 статьи (рис. 1). Отметим, что реальное количество статей может незначительно отличаться от представленного на сайте ввиду различий во времени рецензирования.

а

РЕЗУЛЬТАТЫ ПОИСКОВОГО ЗАПРОСА

ВСЕГО НАЙДЕНО ПУБЛИКАЦИЙ: 51 из 55631787

№	Публикация	Цит.
1	ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ТИТАНСОДЕРЖАЩИХ ЗОЛЕЙ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ САМООЧИЩАЮЩИХСЯ ТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ Коробова Е.Д., Брусевич А., Дашенко Н.В. Вестник молодых ученых Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. 2022. № 3. С. 30-35.	0
2	САМООЧИЩАЮЩИЕСЯ НАНОРАЗМЕРНЫЕ ПОКРЫТИЯ НА ТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛАХ Ерзунов К.А., Одинцова О.И., Трегубов А.В., Илькичева М.Д. Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2022. № 5 (401). С. 5-18.	1
3	ПОЛУЧЕНИЕ САМООЧИЩАЮЩИХСЯ КОМПОЗИТОВ ШЕРСТЯНОЕ ВОЛОКНО – TiO_2 -ПИЛЛАРНЫЙ МОНТОРИЛЛОНИТ С УФ-ПРОТЕКТНЫМИ СВОЙСТВАМИ Овчинников Н.Л., Владимирцева Е.Л., Быков Ф.А., Изюмова О.С., Бутман М.Ф. Физикохимия поверхности и защита материалов. 2023. Т. 59, № 3. С. 298-304.	2
4	ОЦЕНКА САМООЧИЩАЮЩЕЙСЯ СПОСОБНОСТИ НЕФТЕЗАГРЯЗНЕННЫХ ПОЧВ СЕВЕРНЫХ РЕГИОНОВ Гречищева Н.Ю., Запорожская А.А., Алтанбаган Н. Известия высших учебных заведений. Серия: Химия и химическая технология. 2023. Т. 66, № 10. С. 114-120.	0
5	НАНОРАЗМЕРНЫЕ ФОТОКАТАЛИТИЧЕСКИЕ ДОБАВКИ ДЛЯ САМООЧИЩАЮЩИХСЯ БЕТОНОВ Тюкавкина В.В., Цырятева А.В. Труды Фермановской научной сессии ГИ КНЦ РАН. 2023. № 20. С. 468-476.	0
6	ОЦЕНКА ФОТОКАТАЛИТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ТИТАНСОДЕРЖАЩИХ ЗОЛЕЙ В СОСТАВЕ САМООЧИЩАЮЩЕГОСЯ ПОКРЫТИЯ Коробова Е.Д., Дашенко Н.В. Физика волокнистых материалов: структура, свойства, наукоёмкие технологии и материалы (SMARTEX). 2023. № 1. С. 119-125.	0
7	ОПРЕДЕЛЕНИЕ САМООЧИЩАЮЩЕЙСЯ СПОСОБНОСТИ БЕТОНА, МОДИФИЦИРОВАННОГО НАНОЧАСТИЦАМИ TiO_2 - SiO_2 Цырятева А.В., Тюкавкина В.В. Труды Кольского научного центра РАН. Серия: Технические науки. 2023. Т. 14, № 5. С. 84-89.	0
8	СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ МИНЕРАЛЬНЫХ МОДИФИКАТОРОВ ДЛЯ ФОТОКАТАЛИТИЧЕСКИХ САМООЧИЩАЮЩИХСЯ ЦЕМЕНТНЫХ МАТЕРИАЛОВ Балыков А.С., Володин С.В. В сборнике: Поколение будущего: Взгляд молодых ученых-2023. Сборник научных статей 12-й Международной молодежной научной конференции. В 4-х томах. Курск, 2023. С. 202-206.	0
9	ФОТОКАТАЛИТИЧЕСКИЕ ДОБАВКИ ДЛЯ САМООЧИЩАЮЩИХСЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ Плесовских В.П., Кийко П.И., Черных Т.Н. В сборнике: Инновации в строительстве. Технологии КНАУФ. Материалы 15-й Международной научно-практической конференции. Южно-Уральский государственный университет (Национальный исследовательский университет) Архитектурно-строительный институт Консультационный центр КНАУФ ООО «КНАУФ ГИПС ЧЕЛЯБИНСК» Уральская сбытовая дирекция – Ф-л ООО «КНАУФ ГИПС» (г. Челябинск). 2022. С. 97-103.	0
10	ОСОБЕННОСТИ МЕТОДОВ ИЗМЕРЕНИЯ САМООЧИЩАЮЩЕЙСЯ СПОСОБНОСТИ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ Кийко П.И., Черных Т.Н. В сборнике: Инновации в строительстве. Технологии КНАУФ. Материалы XVI Всероссийской научно-практической конференции. Челябинск, 2023. С. 57-61.	0
11	САМООЧИЩАЮЩИЙСЯ ФИЛЬТР УСТАНОВОК ДЛЯ СКВАЖИННОЙ ДОБЫЧИ НЕФТИ Шишлянников Д.И., Коротков Ю.Г., Дремина Д.И. Актуальные проблемы повышения эффективности и безопасности эксплуатации горношахтного и нефтепромыслового оборудования. 2022. Т. 1. С. 117-121.	0
12	УФ-ИНДУЦИРОВАННАЯ САМООЧИЩАЮЩАЯСЯ МЕМБРАНА, СОДЕРЖАЩАЯ TiO_2 ДЛЯ РАЗДЕЛЕНИЯ ЭМУЛЬСИИ НЕФТЬ / ВОДА Вежновец В.К., Курлович Д.Э. Вестник магистратуры. 2020. № 1-1 (100). С. 20-21.	1
13	САМООЧИЩАЮЩИЕСЯ ФАСАДНЫЕ ПОКРЫТИЯ Александров А., Мещеряков Э.С., Пилицын А., Павловых М.П.	

б

Рис. 1. Поиск статей по тематике «самоочищающиеся» и «self-cleaning» на сайтах ELIBRARY.ru (а) и ScienceDirect.com (б) (начало)

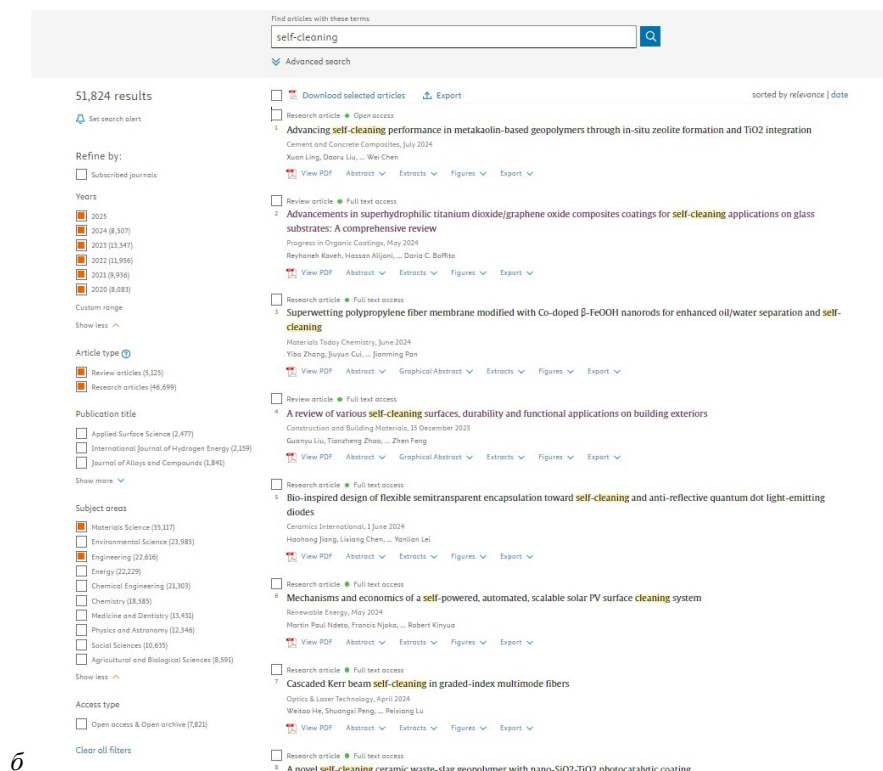


Рис. 1. Поиск статей по тематике «самоочищающиеся» и «self-cleaning» на сайтах ELIBRARY.ru (а) и ScienceDirect.com (б) (окончание)

Поиск ключевых слов по однокоренным терминам, связанным со свойствами самоочищения, позволил получить следующие результаты (рис. 2).

Как видно, наиболее часто встречаются статьи, посвященные гидрофобным и гидрофильным материалам. При сравнении с облаком слов,

представленным в [6] на основе анализа публикаций в зарубежных изданиях, отмечается, что в иностранных университетах больше внимания уделяется исследованию фотокаталитических поверхностей (рис. 3).

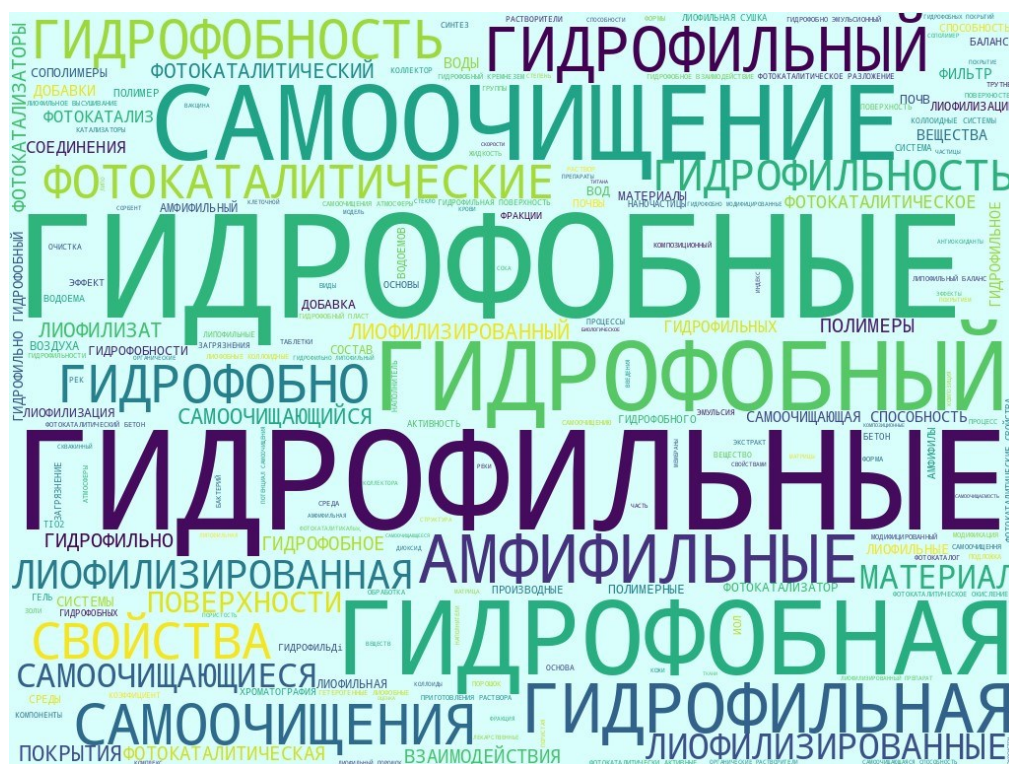


Рис. 2. Облако слов, полученное анализом частоты их употребления в ключевых словах в статьях на сайте ELIBRARY



Рис. 3. Облако слов, полученное анализом частоты их употребления в ключевых словах в статьях, индексированных базой данных Web of Science [6]

Основная часть. На основе анализа публикаций по данной теме можно выделить следующие механизмы обеспечения способности к самоочищению: химические и физические.

Под химическими понимается очищение поверхности материала в результате химических реакций. Примером может случить самоочищение материалов с фотокаталитическими агентами при воздействии УФ-излучения (солнечного света). Под физическими – получение поверхности с заданной шероховатостью и поверхностной энергией, обеспечивающими ее заданные свойства [7]. Известно, что в зависимости от состава, шероховатости, поверхностной энергии можно добиться получения лиофобных или лиофильных покрытий – гидрофобных, олеофобных, гидрофильных, олеофильных, а также амфифобных и амфифильных, свойства которых распространяются одновременно на полярные и неполярные жидкости [8].

В источнике [6] описаны особенности покрытий с разным уровнем смачивания. На супергидрофильной поверхности при контакте с водой образуется слой растекающейся жидкости, который, за счет гравитации, будет обеспечивать очищение от неорганических и масляных загрязнителей. На супергидрофобной поверхности наблюдается обратный эффект – капли жидкости не растекаются, а стекают по поверхности даже при незначительном угле наклона, собирая неорганические загрязнители. Амфифобные материалы обладают низкой поверхностной энергией и более выраженной микро- и наношероховатостью. За счет образования воздушных подушек, капли различных жидкостей не растекаются, а скатываются, забирая с собой неорганическую пыль и загрязнители различной природы. Совместное применение гидрофобности/гидрофильности и фотокаталитических свойств позволяет

усилить самоочищающиеся свойства и продлить срок эффективной эксплуатации поверхности.

На сегодняшний день разработано множество способов получения гидрофобных и олеофобных покрытий, включая фотолитографию, золь-гель технологии, электростатическое формирование и напыление, нанесение, плазменное травление, плазменное текстурирование [9–10], разделение фаз, технология шаблонов и послойная сборка [11–15]. Современные методы получения материалов с шероховатой поверхностью являются сложными, дорогостоящими и продолжительными по времени. Кроме того, получаемые покрытия имеют недостаточную адгезию между микро- и наноструктурированными частями и подложками. Некоторые методы ограничены типом применяемой подложки, что препятствует их широкому применению. Ввиду этого актуальной задачей является усовершенствование существующих и разработка новых методов получения покрытий с заданной смачиваемостью, способностью к самоочищению, обладающих высокой адгезией к широкому спектру материалов (природные каменные, бетонные, керамические материалы, металлы, стекло).

В настоящее время существенный интерес приобретают исследования в области получения суперамфифобных покрытий с одинаковой стойкостью к воздействию воды и масел [16].

Для предотвращения смачивания поверхность энергии твердого тела должна быть ниже поверхностной энергии рассматриваемой жидкости. Известно, что поверхностное натяжение неполярных жидкостей (масел) и органических жидкостей меньше поверхностного натяжения полярных жидкостей (воды), ввиду чего разрабатываемые амфифобные материалы должны обладать низкой поверхностной энергией для обеспечения поверхностного натяжения в 25 % от значения поверхностного натяжения неполярных

жидкостей (масел) [17–19]. Величина 25 % рассчитана из условия, что при краевом угле смачивания $\theta = 90^\circ$ выполняется условие равенства значений поверхностного натяжения на границах «твердое–газ» и «твердое–жидкость» ($\gamma_{ТГ} = \gamma_{ТЖ}$) и верным будет выражение

$$\gamma_{ТЖ} = \gamma_{ТГ} + \gamma_{ЖГ} - 2\sqrt{\gamma_{ТГ}\gamma_{ЖГ}}, \quad (1)$$

откуда $\gamma_{ТГ} = \gamma_{ЖГ} / 4$.

Ввиду низкого поверхностного натяжения масел или органических растворителей в диапазоне от 18 до 33 мН/м, требуемое поверхностное натяжение суперамфифобной поверхности должно составлять всего несколько мН/м.

Достижение указанных выше параметров поверхности возможно за счет использования материалов с низким поверхностным натяжением, таких как фторалканы, фторированные полимеры, фторированные поверхностно-активные вещества и фторированная плазма [20–21]. Наличие фтора в молекулярных цепях в этих материалах-подложках приводит к снижению поверхностной энергии [22].

Хорошо известно, что многие вещества в нанодисперсном состоянии (к примеру, диоксид кремния (SiO_2)), способны проявлять как гидрофобные, так и олеофобные свойства. Научным коллективом под руководством Ванга [21] методом фотолитографии получен супергидрофобный материал на основе бамбука с краевым углом смачивания $152,5^\circ$. В качестве прототипа была рассмотрена поверхность листьев лотоса. На поверхность наносились монодисперсные силикатные микросферы. Научной группой под руководством Ке [24] разработано кремнеземное покрытие на подложках из стекла, получаемое на основе золь-гель метода. Данное покрытие было модифицировано фторсиланом, что позволило снизить поверхностную энергию, краевой угол смачивания увеличился со 142° до 154° : повышение содержания наночастиц SiO_2 в золе с 0,8 г до 1,5 г приводит к повышению значения краевого угла смачивания на 12° . Дальнейшее увеличение дозировки наночастиц SiO_2 приводит к снижению значений краевого угла.

Авторами [20] предлагается совместное использование пленкообразующих полимеров с гидрофобными неорганическими/органическими материалами как эффективный способ создания покрытий с высокими механическими характеристиками. Отмечается возможность масштабирования технологии и оптимизация финансовых и временных затрат. Гипотеза высокой эффективности данного варианта решения проблемы заключается в том, что полимер, образующий

пленку, обеспечит высокий уровень адгезии к основанию, а органический/неорганический материал повысит твердость и износостойкость полимерного покрытия.

В работе [25] рассмотрен способ получения покрытий с супергидрофильными свойствами, т.е. значения краевого угла смачивания приближены к 0° . Технология получения таких покрытий сводится к приготовлению коллоидного раствора диоксида кремния путем диспергирования наноразмерных частиц SiO_2 в водной среде с последующим центрифугированием. С целью повышения стойкости покрытий предложено заменить водную среду при получении коллоида на эффективный эмульгатор с повышенной адгезионной и пленкообразующей способностью, которым выступает поливиниловый спирт (ПВС). Формирование многослойной структуры покрытия, которая формируется при применении гидролизованного гептадекафтортетрагидродецилтриметоксисилана (ГФС) в системе « SiO_2 –ПВС», способствует проявлению не только гидрофобных, но и олеофобных свойств, при условии сохранения гидрофильности немодифицированной части. Создание покрытия с повторяющимися слоями гидрофильной, гидро- и олеофобной поверхности обусловлено модифицированием состава и наличием высокоразвитой шероховатости компонентов [25–26].

При изменении морфологии поверхности с использованием нанотехнологических подходов «сверху-вниз» или «снизу-вверх» возможно получать как однородные структуры, так и произвольные рельефы различной архитектуры. При создании поверхности с определенными свойствами особое внимание уделяют таким показателям, как смачиваемость, цвет, структура, рассеяние и отражение света, механические свойства и адгезия. Получение заданных параметров достигается путем контроля рельефа, структуры, размерных показателей на уровне нано- и микро-структуры поверхностного слоя материала.

С другой стороны, химический состав также является немаловажным фактором, влияющим на способность реагировать на внешние воздействия. Модификацией химического состава поверхностного слоя можно добиться изменения показателей смачиваемости поверхности, а также ее твердости, атмосферостойкости, термостойкости, износостойчивости [27, 28].

В наши дни большой интерес вызывают многофункциональные («умные») материалы, способные изменять свойства поверхности под воздействием внешних факторов [29].

Как правило, свойства поверхности задаются, в первую очередь, ее химическим составом

и шероховатостью. Воздействие внешних факторов (рис. 4) может привести к изменению поверхностной энергии или рельефа поверхности. Учеными были разработаны интеллектуальные материалы, в которых под воздействием факторов окружающей среды могут меняться свойства

смачиваемости/несмачиваемости – происходит контролируемое изменение между гидрофобностью и гидрофильностью за счет усиления эффекта шероховатости поверхности и обратимого изменения химического состава/конформации поверхности.



Рис. 4. Изменение параметров поверхности материала за счет воздействия внешних факторов

В случае строительных материалов, применяемых для облицовки фасадов и остекления, важными внешними факторами будут являться уровень освещенности, наличие примесей в воздухе и механические воздействия [30–32].

Особый интерес представляют материалы, которые способны изменять свои свойства при воздействии солнечного (УФ) излучения, яркости освещения. Для различных светочувствительных материалов, включая неорганические оксиды и органические полимеры, после ультрафиолетового облучения значение краевого угла смачивания снижается. Облучаемая поверхность может восстанавливаться до исходного состояния при отсутствии светового излучения. Такое попеременное преобразование свойств может повторяться несколько раз.

Примеры материалов со светочувствительностью:

– «умные» эмульгаторы с интеллектуальными частицами, активируемыми при световом воздействии с целью контроля образования, разрушения и конверсии эмульсий Пикеринга при воздействии разного уровня освещенности (в качестве эмульгаторов используются наночастицы TiO_2) [33];

– стеклянные поверхности с микропластинками с нанесенными методом атомно-слоевого осаждения (atomic layer deposition) наночастицами TiO_2 и ZnO с наблюдаемым быстрым фотоактивируемым изменением смачиваемости [34];

– светочувствительные полимерные материалы, состоящие из функциональных групп, таких как азобензол, которые могут быстро менять свои свойства в зависимости от освещенности

при воздействии света определенной длины волны [35, 36];

– полимерные подложки с введенными неорганическими наночастицами, используемые для изготовления фотоиндуцированных разделительных материалов на основе полимеров [37, 38].

Для обеспечения удобства эксплуатации без необходимости введения в систему дорогостоящих химических реагентов учеными в сфере материаловедения разрабатываются технологии получения, применения и составы термочувствительных материалов, для которых внешним воздействием, приводящим к изменению свойств, является изменение температуры окружающей среды [39–42].

Учеными показано, что при изменении температуры возможно регулировать шероховатость поверхности материала и, тем самым, смачиваемость [43–46].

В работах [47–51] для создания чувствительных к температуре поверхностей предложено применение PNI-PAM (поли(N-изопропил-акриламид)) с более низкой критической температурой раствора (LCST), приблизительно равной 32–33°C. Ниже критической температуры преобладает межмолекулярная водородная связь между цепочками PNI-PAM и молекулами воды, что приводит к образованию удлиненной щеточной структуры, обладающей гидрофильностью. Выше критической температуры внутримолекулярная водородная связь в цепях PNI-PAM приводит к их сжатию и обеспечению гидрофобных свойств. Очевидно, подобное обратимое изменение смачиваемости, вызванное конформационным изменением, может быть достигнуто в узком

температурном диапазоне около 10°C и может повторяться в течение многих циклов.

На основе термочувствительного сополимера поли(метилметакрилат)-блок-поли(N-изопропилакриламид) (PMMA-b-PNIPAAm) [52] в работе [53] предложены два состава интеллектуальных пленок, наносимых с использованием метода литья из раствора и технологии электроформования (электроспиннинга). В работе [54] описано применение прочных термопластичных мембран из микроволокон полиуретана, покрытых термочувствительным гидрогелем PNI-PAM для эффективного разделения масляно-водной эмульсии: смачиваемость при комнатной температуре (25°C) и при температуре выше минимальной температуры PNI-PAM (32°C) может изменяться между супергидрофильностью и супергидрофобностью.

Помимо PNI-PAM, для создания термочувствительных поверхностей также используются некоторые другие полимеры. Поли(N-винилкапролактан) (PVCL) также относится к термочувствительным полимерам, обладающим сходными свойствами с PNI-PAM. Фазовый переход может происходить в цепях PVCL при температурах выше критических при различном градиенте распределения молекул воды. В работе [55] успешно получены термочувствительные нановолокнистые материалы с сердцевинной и оболочкой из поли(N-винилкапролактама) и акриловой кислоты/полиакрилонитила (P-(VCL-co-AA)/PAN), которые действуют как абсорбенты воды. Из-за высокой химической, термической, механической стабильности и низкой стоимости PNI-PAN использовался в качестве нановолокон со суспандированной сердцевинной.

Несмотря на прогресс в разработке вышеописанных систем, изменяющих смачиваемость при наличии определенных химических или физических воздействий, поиск интеллектуальных, экологических и экономичных методов обеспечения изменения смачиваемости поверхности привлекает все больше внимания. Появление материалов, реагирующих на наличие определенных газов, предоставило возможность для разработки новых высокоэффективных интеллектуальных материалов и устройств. По сравнению с другими видами воздействий, газовые стимуляторы можно легко добавлять или удалять при работе в больших объемах, что определяет огромный потенциал в промышленном применении [56].

Наиболее широко изученным газовым стимулятором является диоксид углерода (CO₂): многофункциональные мембраны на основе полимеров, активируемых CO₂, при его воздействии позволяют изменять смачиваемость поверхности.

В работе [57] разработаны интеллектуальные нановолокнистые мембраны, полученные технологией электроспиннинга, с большой площадью поверхности раздела фаз, которые могут обратимо изменять смачиваемость маслом/водой с гидрофобного/олеофильного на гидрофильное/олеофобное состояние благодаря чередующемуся воздействию CO₂/N₂. Это явление может быть объяснено эффектами протонирования и депротонирования аминогрупп в PDEAEMA (поли(N,N-диметиламиноэтилметакрилат)).

Среди природных иерархических структур с супергидрофобными поверхностями листья лотоса и лепестки роз вызывают повышенный интерес из-за разных механизмов смачивания: обе эти поверхности имеют большие значения краевого угла и являются гидрофобными, но проявляют совершенно разные показатели по адгезии к воде. Для листьев лотоса характерно состояние Кэсси-Бакстера, при котором капли воды могут легко скатываться с поверхности. Лепестки роз обладают высокой адгезией к каплям воды (импрегнированное состояние Кэсси), что именуется «эффектом лепестка розы». Разница в их поведении при смачивании в основном обусловлена различиями в их микроструктуре и морфологии. Другими словами, основное отличие эффекта лотоса от эффекта лепестка розы заключается в том, что эффект лотоса связан с отталкиванием воды и самоочищением, тогда как эффект лепестка розы – с удержанием капель воды на поверхности без их стекания [58–62]. К примеру, опираясь на данные механизмы, Ким с научной группой разработали поверхность нанокомпозита кремний/эластомер, в которой зазор между кремниевыми микропластинками был изменен с помощью механического напряжения для переключения между упомянутыми состояниями адгезии [63]. Изменяемая смачиваемость может быть достигнута путем изменения зазора при механическом растяжении. Нерастянутая поверхность композита обладает исключительной супергидрофобностью при низком угле скольжения, как на листьях лотоса. Смачивание поверхности композита при растяжении меняется с состояния «лотоса» на состояние «лепестка розы», поскольку капля воды растекается и закрепляется на поверхности эластомера подобно капле на лепестке розы при определенном механическом напряжении.

Еще одним примером гидрофобных материалов могут служить лапки насекомых, способных передвигаться по поверхности воды. Данное явление стало моделью для Ванга и его коллег при разработке механически регулируемых поверхностей (МРП) для перемещения капель жидкости путем распределения подвижных кварцевых

микроволокон с высокой адгезией на несмачиваемой подложке из графеновых нанопластинок, покрытых полиэфирными сетками. Микро- и нанолитровые капли жидкости на поверхности МРП проявляют способность изменения адгезии с высокой на низкую за 1 секунду [64].

В полях чувствительного смачивания широко изучались азобензолы, известные своими обратимыми изменениями в структуре при облучении светом различных длин волн. В сравнении с обычным изменением с помощью светового воздействия, в работах Шиммеля описано механически вызванное изменение самоорганизующегося монослоя азобензола, приводящее к изменению степени смачиваемости поверхности, силы сцепления и трения. Такая механически инициируемая цис-транс-изомеризация стимулируется либо локально с помощью атомно-силовой микроскопии (АСМ), либо макроскопическим воздействием на частицы [65].

Патентный поиск был произведен с помощью сайта www1.fips.ru.

В рамках исследования внимание обратили на себя следующие патенты:

1) Патент № 2 494 984 «Покрытое хитозаном гидрофобное стекло и способы его изготовления» авторов Джозеф Бристов, Ричард М. Демарко [66]. В данном изобретении предложен способ изготовления изделий из стекла с гидрофобной поверхностью. Авторами установлена более высокая длительность эксплуатации при нормальных условиях разработанных гидрофобных покрытий, полученных с помощью хитозанового покрытия, по сравнению с силиконовыми. Хитозановое покрытие химически связывают со стеклом и обрабатывают для придания ему гидрофобности, что исключает необходимость частой замены гидрофобного покрытия, как в случае ранее применяемых материалов.

В тексте патента авторами указано, что основной областью применения разработанных стеклянных поверхностей с гидрофобным покрытием является автомобильная отрасль. Однако это покрытие также можно применять на других стеклянных изделиях, таких как ветровые стекла и окна в авиации и морских судах, а также в остеклении гражданских и промышленных зданий.

2) Патент № 2 516 407 «Покрытие из дентритового полиуретана» автора Томас Ф. Чоате [67]. Данное изобретение связано с защитой поверхностей (особое внимание уделяется окрашенным поверхностям) от негативных факторов окружающей среды, к числу которых относятся перепады температур, перепады влажности, вода (дождь), снег, лед (град), сажа, смог, грязь, пти-

чий помет, отложения солей, длительное воздействие солнечного света, химическое воздействие, кислотные осадки и др. Указанные факторы вызывают деструктивные процессы в декоративных и защитных покрытиях, появление царапин, трещин, снижающих их эффективность.

На производствах, продукция которых регулярно подвергается негативному воздействию окружающей среды, проблема защиты поверхностей от внешних факторов является актуальной и для ее решения осуществляется большой объем исследовательских работ. Одним из возможных решений в случае окрашенных металлических поверхностей является нанесение на них защитных бесцветных покрытий, позволяющих нивелировать негативное воздействие на слой краски и ее разрушение.

Автором в патенте предложен состав покрытия с улучшенными эксплуатационными и защитными свойствами. В состав описанной композиции для получения защитного покрытия входят 2 комплексных компонента, которые смешиваются, формируя композицию покрытия.

В состав первого компонента входит дендритный полимер, акриловый полиол, наночастицы оксидов металлов, инкапсулированные в полимер, светостабилизаторы и поглотители, такие как пространственно затрудненный аминный светостабилизатор и ультрафиолетовый поглотитель, сшивающий катализатор и первый безводный растворитель для растворения и дисперсии вышеуказанных материалов, а также второй компонент, состоящий из сшивающего агента и почти безводного растворителя, который может быть аналогичным вышеуказанному, либо же другим, с целью расширения свойств создаваемого покрытия. Технический результат – покрытие обладает высокой водонепроницаемостью, устойчивостью к царапинам и самоочищающимися свойствами, а также сохраняет блеск в течение длительного времени.

3) Патент № 2 490 077 «Композиция для придания поверхности свойств самоочищения на основе эффекта лотоса» авторов О.В. Горшкова, В.В. Гольдин, Д.Н. Кондратьев [68]. Основываясь на исследованиях эффекта лотоса, авторы провели разработку состава самоочищающегося покрытия для широкого спектра материалов. Особое внимание уделяется достижению низкой смачиваемости за счет образования нанорельефа поверхности. Основным элементом разработанного состава покрытия является гидрофобизирующий компонент (фторсодержащие полиоксалькиленовые производные), который подвергается растворению в органических растворителях. Для формирования структуры предложено ис-

пользование компонентов, позволяющих получить специфический нанорельеф на поверхности (органорастворимыми неорганическими прекурсорами). Массовое соотношение компонентов подбирается с учетом условий эксплуатации материалов для достижения оптимальных свойств. Техническим результатом применения этой технологии является получение поверхности с уникальной текстурой и высокой водоотталкивающей способностью, что значительно повышает её самоочищающиеся свойства.

В заключении отметим, что лиофобные поверхности находят применение в системах очистки воздуха и воды, антибактериальных покрытиях, покрытиях против запотевания, антиобледенительных составах, антикоррозионных составах, антифоулинговых покрытиях. Данное направление активно развивается во многих странах, что подтверждается значительным объемом статей, опубликованных в высокорейтинговых журналах, наличием патентов и ноу-хау.

Выводы. Анализ результатов исследований в области разработки и применения самоочищающихся покрытий показывает, что их внедрение может способствовать увеличению срока службы материалов и снизить эксплуатационные расходы. В рассмотренных литературных источниках описаны достижения в разработке гидрофобных и гидрофильных покрытий, а также на амфифобных покрытиях, обеспечивающих защиту одновременно от веществ с разной полярностью.

Рассмотренные в работах «умные» покрытия способны менять свойства поверхности в ответ на внешние воздействия (изменение температуры, влажности, освещенности и др.). Их внедрение возможно в разных климатических зонах и условиях эксплуатации, что открывает широкие перспективы для использования.

Самоочищающиеся покрытия являются актуальной сферой исследований для совершенствования строительной отрасли, особенно когда речь идет об устойчивом развитии и защите окружающей среды. Использование таких инновационных решений способствует более экономичному и экологичному строительству, сохранению внешнего вида зданий и увеличению срока службы материалов, что позволяет сохранять природные ресурсы и уменьшать углеродный след в процессе эксплуатации зданий.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Toktarbaiuly O., Kurbanova A., Ualibek O., Seralin A., Zhunussova T., Sugurbekova G., Nuraje N. Fabrication of Superhydrophobic Self-Cleaning Coatings by Facile Method: Stable after Exposure to Low Temperatures and UV Light // *Bulletin of the Karaganda University. Chemistry Series*. 2022. No. 3(107). Pp. 158–167. DOI: 10.31489/2022Ch3/3-22-14
2. Айл Н., Вулин А., Велкова Е., Баумгарднер А. Как обеспечить будущее с низким углеродным следом // *Control Engineering Россия*. 2020. № 5(89). С. 22–28.
3. Андалоро А., Маццучелли Э.С., Луккини А., Педерфери М.П. Самоочищающиеся фасадные покрытия // *Лакокрасочные материалы и их применение*. 2020. № 3. С. 18–23.
4. Никитин А.В., Роцин П.В., Савельев А.А., Огородникова Е.М., Изотенко Е.В., Рашевская Ю.А., Гилаев Г.Г. Углеродный след продукции в современных условиях // *Нефть. Газ. Новации*. 2023. № 7(272). С. 11–17.
5. Белова С.Б., Старчикова И.Ю., Старчикова Е.С. Углеродный след: проблемы и пути решения // *Наука и бизнес: пути развития*. 2020. № 3 (105). С. 19–21.
6. Liu G., Zhao T., Fei H., Li F., Guo W., Yao Z., Feng Z. A review of various self-cleaning surfaces, durability and functional applications on building exteriors // *Construction and building materials*. 2023. Vol. 409. Art. Num. 134084. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2023.134084
7. Назаров В.В. Коллоидная химия: учеб. пособие // М.: ДеЛи плюс, 2015. 250 с.
8. Нажипкызы М., Мансуров З.А. Супергидрофобные материалы и покрытия: обзор // *Горение и плазмохимия*. 2020. Т. 18. № 4. С. 163–189. DOI: 10.18321/cpc393
9. Ellinas K., Pujari S.P., Dragatogiannis D.A., Charitidis C.A., Tserepi A., Zuilhof H., Gogolides E. Plasma Micro-Nanotextured, Scratch, Water and Hexadecane Resistant, Superhydrophobic, and Superamphiphobic Polymeric Surfaces with Perfluorinated Monolayers // *ACS Applied Materials and Interfaces*. 2014. Vol. 6. Iss. 9. Pp. 6510–6524. DOI: 10.1021/am5000432
10. Gnanappa A.K., Papageorgiou D.P., Gogolides E., Tserepi A., Papathanasiou A.G., Boudouvis A.G. Hierarchical, Plasma Nanotextured, Robust Superamphiphobic Polymeric Surfaces Structurally Stabilized through a Wetting–Drying Cycle // *Plasma Processes and Polymers*. 2012. Vol. 9 (3). Pp. 304–315. DOI: 10.1002/ppap.201100124
11. Cengiz U., Erbil H.Y. Superhydrophobic perfluoropolymer surfaces having heterogeneous roughness created by dip-coating from solutions containing a nonsolvent // *Applied Surface Science*. 2014. Vol. 292. Pp. 591–597. DOI: 10.1016/j.apusc.2013.12.013
12. Darmanin T., Guittar D.F. Superhydrophobic fiber mats by electrodeposition of fluorinated poly(3,4-ethyleneoxythiathiophene) // *Journal of the American Chemical Society*. 2011. Vol. 133. Pp. 15627–15634. DOI: 10.1021/ja205283b

13. Qian H., Zhang D., Deng L., Huang L., Xu D., Du C., Li X. The role of surface morphology in the barrier properties of epoxy coatings in different corrosion environments // *Progress in Organic Coatings*. 2017. Vol. 104. Pp. 199–209. DOI: 10.1016/j.porgcoat.2016.11.002
14. Jeevahan J., Chandrasekaran M., Joseph G.B., Durairaj R.B., Mageshwaran G. Superhydrophobic surfaces: a review on fundamentals, applications, and challenges // *Journal of Coatings Technology and Research*. 2018. Vol. 15. Pp. 231–250. DOI: 10.1007/s11998-017-0011-x
15. Motlagh N.V., Birjandi F.C., Sargolzaei J., Shahtahmassebi N. Durable, superhydrophobic, superoleophobic and corrosion resistant coating on the stainless steel surface using a scalable method // *Applied Surface Science*. 2013. Vol. 283. Pp. 636–647. DOI: 10.1016/j.apsusc.2013.06.160
16. Tian L., Sun M., Liu Y., He B., Dong G., Hao H. Superhydrophobic and highly oleophobic coatings based on litchi-like FDA-SiO₂-PS nanocomposite with excellent self-cleaning and anti-bioadhesion performances // *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*. 2023. Vol. 667. Pp. 131395–131395. DOI: 10.1016/j.colsurfa.2023.131395
17. Zhang K., Xu F., Gao Y. Superhydrophobic and oleophobic dual-function coating with durability and self-healing property based on a waterborne solution // *Applied Materials Today*. 2021. Vol. 22. Pp. 100970. DOI: 10.1016/j.apmt.2021.100970
18. Gou X., Guo Z. Surface topographies of biomimetic superamphiphobic materials: design criteria, fabrication and performance // *Advances in Colloid and Interface Science*. 2019. Vol. 269. Pp. 87–121. DOI: 10.1016/j.cis.2019.04.007
19. Tsujii K., Yamamoto T., Onda T., Shibuchi S. Super Oil-Repellent Surfaces // *Angewandte Chemie International*. 1997. Vol. 36. Iss. 9. Pp. 1011–1012. DOI: 10.1002/anie.199710111
20. Wang G., Li A., Li K., Zhao Y., Ma Y., He Q. A fluorine-free superhydrophobic silicone rubber surface has excellent self-cleaning and bouncing properties // *Journal of Colloid and Interface Science*. 2021. Vol. 588. Pp. 175–183. DOI: 10.1016/j.jcis.2020.12.059
21. Tian Y., Li H., Wang M., Yang C., Yang Z., Liu X. Insights into the stability of fluorinated superhydrophobic coating in different corrosive solutions // *Progress in Organic Coatings*. 2021. Vol. 151. Art. Num. 106043. DOI: 10.1016/j.porgcoat.2020.106043
22. Яруллин А.Ф., Абзальдинов Х.С., Касперович А.В., Прокопчук Н.Р., Казаков Ю.М., Стоянов О.В. Поверхностная модификация резинотехнических изделий химическими методами (обзор) // *Вестник Технологического университета*. 2022. Т. 25. № 11. С. 50–58. DOI: 10.55421/1998-7072_2022_25_11_50
23. Wang F., Wang L., Wu H., Pang J., Gu D., Li S. A lotus-leaf-like SiO₂ superhydrophobic bamboo surface based on soft lithography // *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*. 2017. Vol. 520. Pp. 834–840. DOI: 10.1016/j.colsurfa.2017.02.043
24. Ke C., Zhang C., Wu X., Jiang Y. Highly transparent and robust superhydrophobic coatings fabricated via a facile sol-gel process // *Thin Solid Films*. 2021. Vol. 723. Art. Num. 138583. DOI: 10.1016/j.tsf.2021.138583
25. Соломянский А.Е., Коленченко Д.А., Мельникова Г.Б., Синькевич Ю.В., Агабеков В.Е. Гидро- и олеофобные покрытия на основе поливинилового спирта и наночастиц диоксида кремния // *Доклады Национальной академии наук Беларуси*. 2018. Т. 62. № 3. С. 298–303. DOI: 10.29235/1561-8323-2018-62-3-298-303
26. Lyoo W.S., Lee H.W. Synthesis of high-molecular-weight poly(vinyl alcohol) with high yield by novel one-batch suspension polymerization of vinyl acetate and saponification // *Colloid & Polymer Science*. 2002. Vol. 280. № 9. Pp. 835–840. DOI: 10.1007/s00396-002-0691-2
27. Бессмертный В.С., Пучка О.В., Бондаренко Д.О., Антропова И.А., Брагина Л.Л. Плазмохимическое модифицирование стеновых строительных материалов // *Строительные материалы и изделия*. 2018. Т. 1. № 2. С. 11–18.
28. Lou X., Huang Y., Yang X., Zhu H., Heng L., Xia F. External stimuli responsive liquid-infused surfaces switching between slippery and nonslippery states: fabrications and applications // *Advanced Functional Materials*. 2020. Vol. 30. Iss. 10. Art. Num. 1901130. DOI: 10.1002/adfm.201901130
29. Liu H., Zhang L., Huang J., Mao J., Chen Z., Mao Q., Ge M., Lai Y. Smart surfaces with reversibly switchable wettability: Concepts, synthesis and applications // *Advances in Colloid and Interface Science*. 2022. Vol. 300. Art. Num. 102584. DOI: 10.1016/j.cis.2021.102584
30. Ульбиева И.С., Ужахов К.М. Современные технологии и материалы, применяемые для отделки фасадов зданий // *Перспективы науки*. 2017. № 1 (88). С. 38–40.
31. Ильичев В.А., Колчунов В.И., Азаров В.Н., Кузьмичев А.А. Здание, как очиститель воздуха, маркер его загрязнённости и объект видеоэкологии // *Биосферная совместимость: человек, регион, технологии*. 2020. № 1(29). С. 69–84. DOI: 10.21869/2311-1518-2020-29-1-69-84
32. Бондаренко И.Н., Ястребова Н.Б. Воздействие окружающей среды на конструкции жилых

зданий // Жилищное строительство. 2003. № 11. С. 4.

33. Zhang Q., Bai R.-X., Guo T., Meng T. Switchable Pickering Emulsions Stabilized by Awakened TiO₂ Nanoparticle Emulsifiers Using UV/Dark Actuation // ACS Applied Materials and Interfaces. 2015. Vol. 7(33). Pp. 18240–18246. DOI: 10.1021/acsami.5b06808

34. Yang Y., Zhang L., Wang J., Wang X., Duan L., Wang N., Xiao F., Xie Y., Zhao J. Inorganic Surface Coating with Fast Wetting–Dewetting Transitions for Liquid Manipulations // ACS Applied Materials and Interfaces. 2018. Vol. 10 (22). Pp. 19182–19188. DOI: 10.1021/acsami.8b02537

35. Feng C.L., Zhang Y.J., Jin J., Song Y.L., Xie L.Y., Qu G.R., Lei J., Dao B.Z. Reversible wettability of photoresponsive fluorine-containing azobenzene polymer in Langmuir–Blodgett films // Langmuir. 2001. Vol. 17. Iss. 15. Pp. 4593–4597. DOI: 10.1021/la010071r

36. Anastasiadis S.H. Development of functional polymer surfaces with controlled wettability // Langmuir. 2013. Vol. 29(30). Pp. 9277–9290. DOI: 10.1021/la400533u

37. Gaputo G., Cortese B., Nobile C., Salerno M., Athanassiou A. Reversibly lightswitchable wettability of hybrid organic/inorganic surfaces with dual micro-/nanoscale roughness // Advanced Functional Materials. 2009. Vol. 19. Iss. 8. Pp. 1149–1157. DOI: 10.1002/adfm.200800909

38. Hu J., Gao Q., Xu L., Wang M., Zhang M., Zhang K., Lui W., Wu G. Functionalization of cotton fabrics with highly durable polysiloxane-TiO₂ hybrid layers: potential applications for photo-induced water-oil separation, UV shielding, and selfcleaning // Journal of Materials Chemistry A. 2018. Vol. 6. Iss. 14. Pp. 6085–6095. DOI: 10.1039/C7TA11231A

39. Liu F., Urban M.W. Recent advances and challenges in designing stimuli-responsive polymers // Progress in Polymer Science. 2010. Vol. 35. Iss. 1–2. Pp. 3–23. DOI: 10.1016/j.progpolymsci.2009.10.002

40. Roy D., Cambre J.N., Sumerlin B.S. Future perspectives and recent advances in stimuli-responsive materials // Progress in Polymer Science. 2010. Vol. 35. Iss. 1–2. Pp. 278–301. DOI: 10.1016/j.progpolymsci.2019.10.008

41. Lee H.-I., Pietrasik J., Sheiko S.S., Matyjaszewski K. Stimuli-responsive molecular brushes // Progress in Polymer Science. 2010. Vol. 35. Iss. 1–2. Pp. 24–44. DOI: 10.1016/j.progpolymsci.2009.11.002

42. Wang D., Jin Y., Zhu X., Yan D. Synthesis and applications of stimuli-responsive hyperbranched polymers // Progress in Polymer Science. 2017. Vol. 64. Pp. 114–153. DOI: 10.1016/j.progpolymsci.2016.09.005

43. Guo F., Guo Z. Inspired smart materials with external stimuli responsive wettability: a review // RSC Advances. 2016. Vol. 6. Iss. 43. Pp. 36623–36641. DOI: 10.1039/C6RA04079A

44. Chang B., Zhang B., Sun T. Smart polymers with special wettability // Small. 2017. Vol. 13. Iss. 4. Art. Num. 1503472. DOI: 10.1002/sml.201503472

45. Hu J., Meng H., Li G., Ibekwe S.I. A review of stimuli-responsive polymers for smart textile applications // Smart Materials and Structures. 2012. Vol. 21. Iss. 5. Art. Num. 053001. DOI: 10.1088/0964-1726/21/5/053001

46. Zhai L. Stimuli-responsive polymer films // Chemical Society Review. 2013. Vol. 42. Iss. 17. Pp. 7148–7160. DOI: 10.1039/c3cs60023h

47. Sun T., Wang G., Feng L., Liu B., Ma Y., Jiang L., Zhu D. Reversible Switching between Superhydrophilicity and Superhydrophobicity // Angewandte Chemie International Edition. 2004. Vol. 43. Iss. 3. Pp. 357–360. DOI: 10.1002/anie.200352565

48. Fu Q., Rama Rao G.V., Basame S.B., Keller D.J., Artyushkova K., Fulghum J.E., Lopez G.P. Reversible control of free energy and topography of nanostructured surfaces // Journal of the American Chemical Society. 2004. Vol. 126. Iss. 29. Pp. 8904–8905. DOI: 10.1021/ja047895q

49. Chen L., Liu M., Lin L., Zhang T., Ma J., Song Y., Jiang L. Thermal-responsive hydrogel surface: tunable wettability and adhesion to oil at the water/solid interface // Soft Matter. 2010. Vol. 6. Iss. 12. Pp. 2708–2712. DOI: 10.1039/C002543G

50. Byun J., Shin J., Kwon S., Jang S., Kim J.K. Fast and reversibly switchable wettability induced by a photothermal effect // Chemical Communications. 2012. Vol. 48. Iss. 74. Pp. 9278–9280. DOI: 10.1039/c2cc34601j

51. Zhang D., Cheng Z., Kang H., Yu J., Liu Y., Jiang L. A smart superwetting surface with responsivity in both surface chemistry and microstructure // Angewandte Chemie. 2018. Vol. 130. Iss. 14. Pp. 3763–3767. DOI: 10.1002/ange.201800416

52. Tang T., Castelletto V., Parras P., Hamley I.W., King S.M., Roy D., Perrier S., Hoogenboom R., Schubert U.S. Thermo-responsive Poly(methyl methacrylate)-block-poly(N-isopropylacrylamide) Block Copolymers Synthesized by RAFT Polymerization: Micellization and Gelation // Macromolecular Chemistry and Physics. 2006. Vol. 207. Iss. 19. Pp. 1718–1726. DOI: 10.1002/macp.200600309

53. Li J.-J., Zhu L.-T., Luo Z.-H. Electrospun fibrous membrane with enhanced switchable oil/water wettability for oily water separation // Chemical Engineering Journal. 2016. Vol. 287. Pp. 474–481. DOI: 10.1016/j.cej.2015.11.057

54. Ou R., Wei J., Jiang L., Simon G.P., Wang H. Robust thermoresponsive polymer composite membrane with switchable superhydrophilicity and superhydrophobicity for efficient oil–water separation // *Environmental Science & Technology*. 2016. Vol. 50. Iss. 2. Pp. 906–914. DOI: 10.1021/acs.est.5b03418
55. Kim S., Choi H. Switchable wettability of thermoresponsive core–shell nanofibers for water capture and release // *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*. 2019. Vol. 7. Iss. 24. 19870–19879. DOI: 10.1021/acssuschemeng.9b05273
56. Zhang Q., Lei L., Zhu S. Gas-responsive polymers // *ACS Macro Letters*. 2017. Vol. 6. Iss. 5. Pp. 515–522. DOI: 10.1021/acsmacrolett.7b00245
57. Che H., Huo M., Peng L., Fang T., Liu N., Feng L., Wei Y., Yan J. CO₂-responsive nanofibrous membranes with switchable oil/water wettability // *Angewandte Chemie International Edition*. 2015. Vol. 54. Iss. 31. Pp. 8934–8938. DOI: 10.1002/anie.201501034
58. Bhushan B., Nosonovsky M. The rose petal effect and the modes of superhydrophobicity // *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*. 2010. Vol. 368. Iss. 1929. Pp. 4713–4728. DOI: 10.1098/rsta.2010.0203
59. Bhushan B., Her E.K. Fabrication of superhydrophobic surfaces with high and low adhesion inspired from rose petal // *Langmuir*. 2010. Vol. 26. Iss. 11. Pp. 8207–8217. DOI: 10.1021/la904585j
60. Yong J., Chen F., Yang Q., Zhang D., Du G., Si J., Yun F., Hou X. Femtosecond laser weaving superhydrophobic patterned PDMS surfaces with tunable adhesion // *The Journal of Physical Chemistry C*. 2013. Vol. 117. Iss. 47. Pp. 24907–24912. DOI: 10.1021/jp408863u
61. Wang C., Shao R., Wang G., Sun S. Hierarchical hydrophobic surfaces with controlled dual transition between rose petal effect and lotus effect via structure tailoring or chemical modification // *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*. 2021. Vol. 622. Art. Num. 126661. DOI: 10.1016/j.colsurfa.2021.126661
62. Mukhopadhyay R.D., Vedhanarayanan B., Ajayaghosh A. Creation of «Rose Petal» and «Lotus Leaf» Effects on Alumina by Surface Functionalization and Metal-Ion Coordination // *Angewandte Chemie International edition*. 2017. Vol. 56. Iss. 50. Pp. 16018–16022. DOI: 10.1002/anie.201709463
63. Park J.K., Yang Z., Kim S. Black silicon/elastomer composite surface with switchable wettability and adhesion between lotus and rose petal effects by mechanical strain // *ACS Applied Materials & Interfaces*. 2017. Vol. 9. Iss. 38. Pp. 33333–33340. DOI: 10.1021/acsami.7b11143
64. Tang X., Zhu P., Tian Y., Zhou X., Kong T., Wang L. Mechano-regulated surface for manipulating liquid droplets // *Nature Communications*. 2017. Vol. 8. Art. Num. 14831. DOI: 10.1038/ncomms14831
65. Berson J., Moosmann M., Walheim S., Schimmel T. Mechanically induced switching of molecular layers // *Nano Letters*. 2019. Vol. 19. Iss. 2. Pp. 816–822. DOI: 10.1021/acs.nanolett.8b03987
66. Пат. 2494984, Российская Федерация, МПК C03C 17/32. Покрытое хитозаном гидрофобное стекло и способы его изготовления / Д. Бристов, Р.М. Демарко; патентообладатель Аграртек Интернэшнл, Инк. № 2010142412/03; заявл. 18.03.2009; опубл. 10.10.2013, Бюл. № 28. 8 с.
67. Пат. 2516407, Российская Федерация, МПК C09D 175/04. Покрытие из дендритного полиуретана / Т.Ф. Чоате; патентообладатель Нановер Текнолджис Инк. № 2011102479/05; заявл. 08.07.2009; опубл. 20.05.2014, Бюл. № 14. 29 с.
68. Пат. 2490077, Российская Федерация, МПК B08B 17/00, B82B 3/00, C03C 17/00. Композиция для придания поверхности свойств самоочищения на основе эффекта лотоса / О.В. Горшкова, В.В. Гольдин, Д.Н. Кондратьев; патентообладатель Общество с ограниченной ответственностью Научно Производственный Центр «Квадра». № 2011150422/05; заявл. 13.12.2011; опубл. 20.08.2013, Бюл. № 23. 6 с.

Информация об авторах

Буковцова Александра Игоревна, кандидат технических наук, доцент кафедры строительства и эксплуатации горно-металлургических комплексов. E-mail: 9507131581@mail.ru. Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС». Россия, 309516, г. Старый Оскол, микрорайон им. Макаренко, д. 42.

Нецвет Дарья Дмитриевна, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры строительства и эксплуатации горно-металлургических комплексов. E-mail: netsvet_dd@mail.ru. Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС». Россия, 309516, г. Старый Оскол, микрорайон им. Макаренко, д. 42.

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

Поступила 21.06.2024 г.

© Буковцова А.И., Нецвет Д.Д., Жерновская И.В., 2024

¹*Bukovtsova A.I.*, ^{*1}*Netsvet D.D.*, ²*Zhernovskaya I.V.*

*Sary Oskol Technological Institute named after A.A. Ugarov (branch)
of the FSAEI HE «National University of Science and Technology «MISIS» (STI NITU MISIS)
Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov
E-mail: netsvet_dd@mail.ru

ANALYSIS OF SELF-CLEANING MECHANISMS IN CONSTRUCTION MATERIALS

Abstract. Currently, there is a need for the construction of buildings with high durability and performance properties, which can be realized by the development and implementation of self-cleaning coatings and materials with their application. The use of building materials with a self-cleaning surface is an economical and environmentally friendly solution to maintain the appearance and cleanliness of building facades and significantly increase the durability of building structures, which is why this area is relevant for the construction industry.

The paper provides an overview of the work on the development and research of self-cleaning coatings with hydrophobic and hydrophilic properties. The main indicators that are controlled for self-cleaning coatings are indicated. "Smart" coatings are also considered, the properties of which vary depending on the influencing factors of the external environment.

There are two main types of self-cleaning surfaces: hydrophobic and hydrophilic. Hydrophobic surfaces are characterized by high water repellency, which is achieved due to the presence of micro- and nanostructures. Hydrophilic surfaces, on the contrary, have the ability to attract water. The required surface properties and operating conditions of the material determine the choice of the appropriate type of coating and technology of its application. However, scientists are currently developing amphiphobic and amphiphilic materials, the properties of which extend simultaneously to polar and non-polar liquids, which makes it possible to achieve higher performance indicators of coatings and the effectiveness of their application.

The literary search was carried out based on papers published over the past 5 years, reviewed in the databases of the RSCI, Scopus and Web of Science.

Keywords: self-cleaning, hydrophobic coatings, hydrophilic coatings, roughness, surface energy

REFERENCES

1. Toktarbaiuly O., Kurbanova A., Ualibek O., Seralin A., Zhunussova T., Sugurbekova G., Nuraje N. Fabrication of Superhydrophobic Self-Cleaning Coatings by Facile Method: Stable after Exposure to Low Temperatures and UV Light. Bulletin of the Karaganda University. Chemistry Series. 2022. No. 3(107). Pp. 158–167. DOI:10.31489/2022Ch3/3-22-14
2. Ail N., Vaulin A., Volkova E., Baumgardner A. How to secure a low-carbon future. Control Engineering Russia. 2020. No. 5(89). Pp. 22–28. (rus)
3. Andaloro A., Mazzucchelli E.S., Lucchini A., Pedferri M.P. Self-cleaning facade coatings. The Russian Coatings Journal (Lakokrasochnye materialy i ikh primeneniye). 2020. No. 3. Pp. 18–23. (rus)
4. Nikitin A.V., Roschin P.V., Saveliev A.A., Ogorodnikova E.M., Izotenko E.V., Rashevskaya Yu.A., Gilaev G.G. Carbon product footprint in modern conditions. Oil. Gas. Innovations. 2023. No. 7(272). Pp. 11–17. (rus)
5. Belova S.B., Starchikova I.Yu., Starchikova E.S. Carbon footprint: problems and solutions. Science and Business: Ways of Development. 2020. No. 3 (105). Pp. 19–21. (rus)
6. Liu G., Zhao T., Fei H., Li F., Guo W., Yao Z., Feng Z. A review of various self-cleaning surfaces, durability and functional applications on building exteriors. Construction and building materials. 2023. Vol. 409. Art. Num. 134084. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2023.134084
7. Nazarov V.V. Colloidal chemistry: textbook. [Kolloidnaya himiya: ucheb. posobie]. Moscow: DeLi plus, 2015. 250 p. (rus)
8. Nazhipkyzy M., Mansurov Z.A. Super hydrophobic materials and coatings: Overview. Combustion and Plasma Chemistry. 2020. Vol. 18. No. 4. Pp. 163–189. DOI: 10.18321/cpc393 (rus)
9. Ellinas K., Pujari S.P., Dragatogiannis D.A., Charitidis C.A., Tserepi A., Zuilhof H., Gogolides E. Plasma Micro-Nanotextured, Scratch, Water and Hexadecane Resistant, Superhydrophobic, and Su-

peramphiphobic Polymeric Surfaces with Perfluorinated Monolayers. *ACS Applied Materials and Interfaces*. 2014. Vol. 6. Iss. 9. Pp. 6510–6524. DOI: 10.1021/am5000432

10. Gnanappa A.K., Papageorgiou D.P., Gogolides E., Tserepi A., Papathanasiou A.G., Boudouvis A.G. Hierarchical, Plasma Nanotextured, Robust Superamphiphobic Polymeric Surfaces Structurally Stabilized through a Wetting–Drying Cycle. *Plasma Processes and Polymers*. 2012. Vol. 9 (3). Pp. 304–315. DOI: 10.1002/ppap.201100124

11. Cengiz U., Erbil H.Y. Superhydrophobic perfluoropolymer surfaces having heterogeneous roughness created by dip-coating from solutions containing a nonsolvent. *Applied Surface Science*. 2014. Vol. 292. Pp. 591–597. DOI: 10.1016/j.apusc.2013.12.013

12. Darmanin T., Guittar D.F. Superhydrophobic fiber mats by electrodeposition of fluorinated poly(3,4-ethyleneoxythiathiophene). *Journal of the American Chemical Society*. 2011. Vol. 133. Pp. 15627–15634. DOI: 10.1021/ja205283b

13. Qian H., Zhang D., Deng L., Huang L., Xu D., Du C., Li X. The role of surface morphology in the barrier properties of epoxy coatings in different corrosion environments. *Progress in Organic Coatings*. 2017. Vol. 104. Pp. 199–209. DOI: 10.1016/j.porgcoat.2016.11.002

14. Jeevahan J., Chandrasekaran M., Joseph G.B., Durairaj R.B., Mageshwaran G. Superhydrophobic surfaces: a review on fundamentals, applications, and challenges. *Journal of Coatings Technology and Research*. 2018. Vol. 15. Pp. 231–250. DOI: 10.1007/s11998-017-0011-x

15. Motlagh N.V., Birjandi F.C., Sargolzaei J., Shahtahmassebi N. Durable, superhydrophobic, superoleophobic and corrosion resistant coating on the stainless steel surface using a scalable method. *Applied Surface Science*. 2013. Vol. 283. Pp. 636–647. DOI: 10.1016/j.apusc.2013.06.160

16. Tian L., Sun M., Liu Y., He B., Dong G., Hao H. Superhydrophobic and highly oleophobic coatings based on litchi-like FDA-SiO₂-PS nanocomposite with excellent self-cleaning and anti-bioadhesion performances. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*. 2023. Vol. 667. Pp. 131395–131395. DOI: 10.1016/j.colsurfa.2023.131395

17. Zhang K., Xu F., Gao Y. Superhydrophobic and oleophobic dual-function coating with durability and self-healing property based on a waterborne solution. *Applied Materials Today*. 2021. Vol. 22. Pp. 100970. DOI: 10.1016/j.apmt.2021.100970

18. Gou X., Guo Z. Surface topographies of biomimetic superamphiphobic materials: design criteria,

fabrication and performance. *Advances in Colloid and Interface Science*. 2019. Vol. 269. Pp. 87–121. DOI: 10.1016/j.cis.2019.04.007

19. Tsujii K., Yamamoto T., Onda T., Shibuichi S. Super Oil-Repellent Surfaces. *Angewandte Chemie International*. 1997. Vol. 36. Iss. 9. Pp. 1011–1012. DOI: 10.1002/anie.199710111

20. Wang G., Li A., Li K., Zhao Y., Ma Y., He Q. A fluorine-free superhydrophobic silicone rubber surface has excellent self-cleaning and bouncing properties. *Journal of Colloid and Interface Science*. 2021. Vol. 588. Pp. 175–183. DOI: 10.1016/j.jcis.2020.12.059

21. Tian Y., Li H., Wang M., Yang C., Yang Z., Liu X. Insights into the stability of fluorinated superhydrophobic coating in different corrosive solutions. *Progress in Organic Coatings*. 2021. Vol. 151. Art. Num. 106043. DOI: 10.1016/j.porgcoat.2020.106043

22. Yarullin A.F., Abzalidinov Kh.S., Kasperovich A.V., Prokopchuk N.R., Kazakov Yu.M., Stoyanov O.V. Surface modification of rubber products by chemical methods (Review). *Bulletin Of The Technological University*. 2022. Vol. 25. No. 11. Pp. 50–58. DOI: 10.55421/1998-7072_2022_25_11_50 (rus)

23. Wang F., Wang L., Wu H., Pang J., Gu D., Li S. A lotus-leaf-like SiO₂ superhydrophobic bamboo surface based on soft lithography. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*. 2017. Vol. 520. Pp. 834–840. DOI: 10.1016/j.colsurfa.2017.02.043

24. Ke C., Zhang C., Wu X., Jiang Y. Highly transparent and robust superhydrophobic coatings fabricated via a facile sol-gel process. *Thin Solid Films*. 2021. Vol. 723. Art. Num. 138583. DOI: 10.1016/j.tsf.2021.138583

25. Salamianski A.E., Kalenchanka D.A., Melnikova G.B., Sinkevich Yu.V., Agabekov V.E. Hydro- and oleophobic coatings based on polyvinyl alcohol and silicon dioxide nanoparticles. *Doklady of the National Academy of Sciences of Belarus (Doklady Nacional'noj akademii nauk Belarusi)*. 2018. Vol. 62. No. 3. Pp. 298–303. DOI: 10.29235/1561-8323-2018-62-3-298-303 (rus)

26. Lyoo W.S., Lee H.W. Synthesis of high-molecular-weight poly(vinyl alcohol) with high yield by novel one-batch suspension polymerization of vinyl acetate and saponification. *Colloid & Polymer Science*. 2002. Vol. 280. № 9. Pp. 835–840. DOI: 10.1007/s00396-002-0691-2

27. 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 decorative coating. *Construction Materials and Products*. 2018. Vol. 1. No. 2. Pp. 11–18. (rus)

28. Lou X, Huang Y, Yang X, Zhu H, Heng L, Xia F. External stimuli responsive liquid-infused surfaces switching between slippery and nonslippery states: fabrications and applications. *Advanced Functional Materials*. 2020. Vol. 30. Iss. 10. Art. Num. 1901130. DOI: 10.1002/adfm.201901130
29. Liu H., Zhang L., Huang J., Mao J., Chen Z., Mao Q., Ge M., Lai Y. Smart surfaces with reversibly switchable wettability: Concepts, synthesis and applications. *Advances in Colloid and Interface Science*. 2022. Vol. 300. Art. Num. 102584. DOI: 10.1016/j.cis.2021.102584
30. Ulbieva I.S., Uzhanov K.M. Modern technologies and materials applied for finishing of building facades. *Science Prospects*. 2017. No.1 (88). Pp. 38–40. (rus)
31. Ilyichev V.A., Kolchunov V.I., Azarov V.N., Kuzmichev A.A. Building like an air cleaner, a marker of its contamination and a video ecology facility. *Biospheric compatibility: human, region, technologies*. 2020. No. 1 (29). Pp. 69–84. DOI: 10.21869/2311-1518-2020-29-1-69-84 (rus)
32. Bondarenko I.N., Yastrebova N.B. The impact of the environment on the structures of residential buildings. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo (Housing Construction)*. 2003. No. 11. Pp.4. (rus)
33. Zhang Q., Bai R.-X., Guo T., Meng T. Switchable Pickering Emulsions Stabilized by Awakened TiO₂ Nanoparticle Emulsifiers Using UV/Dark Actuation. *ACS Applied Materials and Interfaces*. 2015. Vol. 7(33). Pp. 18240–18246. DOI: 10.1021/acsami.5b06808
34. Yang Y., Zhang L., Wang J., Wang X., Duan L., Wang N., Xiao F., Xie Y., Zhao J. Inorganic Surface Coating with Fast Wetting–Dewetting Transitions for Liquid Manipulations. *ACS Applied Materials and Interfaces*. 2018. Vol. 10 (22). Pp. 19182–19188. DOI: 10.1021/acsami.8b02537
35. Feng C.L., Zhang Y.J., Jin J., Song Y.L., Xie L.Y., Qu G.R., Lei J., Dao B.Z. Reversible wettability of photoresponsive fluorine-containing azobenzene polymer in Langmuir–Blodgett films. *Langmuir*. 2001. Vol. 17. Iss. 15. Pp. 4593–4597. DOI: 10.1021/la010071r
36. Anastasiadis S.H. Development of functional polymer surfaces with controlled wettability. *Langmuir*. 2013. Vol. 29(30). Pp. 9277–9290. DOI: 10.1021/la400533u
37. Gaputo G., Cortese B., Nobile C., Salerno M., Athanassiou A. Reversibly lightswitchable wettability of hybrid organic/inorganic surfaces with dual micro-/nanoscale roughness. *Advanced Functional Materials*. 2009. Vol. 19. Iss. 8. Pp. 1149–1157. DOI: 10.1002/adfm.200800909
38. Hu J., Gao Q., Xu L., Wang M., Zhang M., Zhang K., Lui W., Wu G. Functionalization of cotton fabrics with highly durable polysiloxane-TiO₂ hybrid layers: potential applications for photo-induced water-oil separation, UV shielding, and selfcleaning. *Journal of Materials Chemistry A*. 2018. Vol. 6. Iss. 14. Pp. 6085–6095. DOI: 10.1039/C7TA11231A
39. Liu F., Urban M.W. Recent advances and challenges in designing stimuli-responsive polymers. *Progress in Polymer Science*. 2010. Vol. 35. Iss. 1–2. Pp. 3–23. DOI: 10.1016/j.progpolymsci.2009.10.002
40. Roy D., Cambre J. N., Sumerlin B.S. Future perspectives and recent advances in stimuli-responsive materials. *Progress in Polymer Science*. 2010. Vol. 35. Iss. 1–2. Pp. 278–301. DOI: 10.1016/j.progpolymsci.2019.10.008
41. Lee H.-I., Pietrasik J., Sheiko S.S., Matyjaszewski K. Stimuli-responsive molecular brushes. *Progress in Polymer Science*. 2010. Vol. 35. Iss. 1–2. Pp. 24–44. DOI: 10.1016/j.progpolymsci.2009.11.002
42. Wang D., Jin Y., Zhu X., Yan D. Synthesis and applications of stimuli-responsive hyperbranched polymers. *Progress in Polymer Science*. 2017. Vol. 64. Pp. 114–153. DOI: 10.1016/j.progpolymsci.2016.09.005
43. Guo F., Guo Z. Inspired smart materials with external stimuli responsive wettability: a review. *RSC Advances*. 2016. Vol. 6. Iss. 43. Pp. 36623–36641. DOI: 10.1039/C6RA04079A
44. Chang B., Zhang B., Sun T. Smart polymers with special wettability. *Small*. 2017. Vol. 13. Iss. 4. Art. Num. 1503472. DOI: 10.1002/sml.201503472
45. Hu J., Meng H., Li G., Ibekwe S.I. A review of stimuli-responsive polymers for smart textile applications. *Smart Materials and Structures*. 2012. Vol. 21. Iss. 5. Art. Num. 053001. DOI: 10.1088/0964-1726/21/5/053001
46. Zhai L. Stimuli-responsive polymer films. *Chemical Society Review*. 2013. Vol. 42. Iss. 17. Pp. 7148–7160. DOI: 10.1039/c3cs60023h
47. Sun T., Wang G., Feng L., Liu B., Ma Y., Jiang L., Zhu D. Reversible Switching between Superhydrophilicity and Superhydrophobicity. *Angewandte Chemie International Edition*. 2004. Vol. 43. Iss. 3. Pp. 357–360. DOI: 10.1002/anie.200352565
48. Fu Q., Rama Rao G.V., Basame S.B., Keller D.J., Artyushkova K., Fulghum J.E., Lopez G.P. Reversible control of free energy and topography of nanostructured surfaces. *Journal of the American Chemical Society*. 2004. Vol. 126. Iss. 29. Pp. 8904–8905. DOI: 10.1021/ja047895q
49. Chen L., Liu M., Lin L., Zhang T., Ma J., Song Y., Jiang L. Thermal-responsive hydrogel surface: tunable wettability and adhesion to oil at the water/solid interface. *Soft Matter*. 2010. Vol. 6. Iss. 12. Pp. 2708–2712. DOI: 10.1039/C002543G

50. Byun J., Shin J., Kwon S., Jang S., Kim J.K. Fast and reversibly switchable wettability induced by a photothermal effect. *Chemical Communications*. 2012. Vol. 48. Iss. 74. Pp. 9278–9280. DOI: 10.1039/c2cc34601j
51. Zhang D., Cheng Z., Kang H., Yu J., Liu Y., Jiang L. A smart superwetting surface with responsivity in both surface chemistry and microstructure. *Angewandte Chemie*. 2018. Vol. 130. Iss. 14. Pp. 3763–3767. DOI: 10.1002/ange.201800416
52. Tang T., Castelletto V., Parras P., Hamley I.W., King S.M., Roy D., Perrier S., Hoogenboom R., Schubert U.S. Thermo-responsive Poly (methyl methacrylate)-block-poly(N-isopropylacrylamide) Block Copolymers Synthesized by RAFT Polymerization: Micellization and Gelation. *Macromolecular Chemistry and Physics*. 2006. Vol. 207. Iss. 19. Pp. 1718–1726. DOI: 10.1002/macp.200600309
53. Li J.-J., Zhu L.-T., Luo Z.-H. Electrospun fibrous membrane with enhanced switchable oil/water wettability for oily water separation. *Chemical Engineering Journal*. 2016. Vol. 287. Pp. 474–481. DOI: 10.1016/j.cej.2015.11.057
54. Ou R., Wei J., Jiang L., Simon G.P., Wang H. Robust thermoresponsive polymer composite membrane with switchable superhydrophilicity and superhydrophobicity for efficient oil–water separation. *Environmental Science & Technology*. 2016. Vol. 50. Iss. 2. Pp. 906–914. DOI: 10.1021/acs.est.5b03418
55. Kim S., Choi H. Switchable wettability of thermoresponsive core–shell nanofibers for water capture and release. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*. 2019. Vol. 7. Iss. 24. 19870–19879. DOI: 10.1021/acssuschemeng.9b05273
56. Zhang Q., Lei L., Zhu S. Gas-responsive polymers. *ACS Macro Letters*. 2017. Vol. 6. Iss. 5. Pp. 515–522. DOI: 10.1021/acsmacrolett.7b00245
57. Che H., Huo M., Peng L., Fang T., Liu N., Feng L., Wei Y., Yan J. CO₂-responsive nanofibrous membranes with switchable oil/water wettability. *Angewandte Chemie International Edition*. 2015. Vol. 54. Iss. 31. Pp. 8934–8938. DOI: 10.1002/anie.201501034
58. Bhushan B., Nosonovsky M. The rose petal effect and the modes of superhydrophobicity. *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*. 2010. Vol. 368. Iss. 1929. Pp. 4713–4728. DOI: 10.1098/rsta.2010.0203
59. Bhushan B., Her E.K. Fabrication of superhydrophobic surfaces with high and low adhesion inspired from rose petal. *Langmuir*. 2010. Vol. 26. Iss. 11. Pp. 8207–8217. DOI: 10.1021/la904585j
60. Yong J., Chen F., Yang Q., Zhang D., Du G., Si J., Yun F., Hou X. Femtosecond laser weaving superhydrophobic patterned PDMS surfaces with tunable adhesion. *The Journal of Physical Chemistry C*. 2013. Vol. 117. Iss. 47. Pp. 24907–24912. DOI: 10.1021/jp408863u
61. Wang C., Shao R., Wang G., Sun S. Hierarchical hydrophobic surfaces with controlled dual transition between rose petal effect and lotus effect via structure tailoring or chemical modification. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*. 2021. Vol. 622. Art. Num. 126661. DOI: 10.1016/j.colsurfa.2021.126661
62. Mukhopadhyay R.D., Vedhanarayanan B., Ajayaghosh A. Creation of «Rose Petal» and «Lotus Leaf» Effects on Alumina by Surface Functionalization and Metal-Ion Coordination. *Angewandte Chemie International edition*. 2017. Vol. 56. Iss. 50. Pp. 16018–16022. DOI: 10.1002/anie.201709463
63. Park J.K., Yang Z., Kim S. Black silicon/elastomer composite surface with switchable wettability and adhesion between lotus and rose petal effects by mechanical strain. *ACS Applied Materials & Interfaces*. 2017. Vol. 9. Iss. 38. Pp. 33333–33340. DOI: 10.1021/acsami.7b11143
64. Tang X., Zhu P., Tian Y., Zhou X., Kong T., Wang L. Mechano-regulated surface for manipulating liquid droplets. *Nature Communications*. 2017. Vol. 8. Art. Num. 14831. DOI: 10.1038/ncomms14831
65. Berson J., Moosmann M., Walheim S., Schimmel T. Mechanically induced switching of molecular layers. *Nano Letters*. 2019. Vol. 19. Iss. 2. Pp. 816–822. DOI: 10.1021/acs.nanolett.8b03987
66. Bristov D., Demarko R.M. Chitosan-covered hydrophobic glass and of its production. Patent RF, no. 2010142412/03, 2013.
67. Choate T.F. Polyurethane dentrite coating. Patent RF, no. 2011102479/05, 2009.
68. Gorshkova O.V., Gol'din V.V., Kondrat'ev D.N. Composition for giving surface properties of self-cleaning based on lotus effect. Patent RF, no. 2011150422/05, 2011.

Information about the authors

Bukovtsova, Aleksandra I. PhD, assistant professor of the department of construction and operation of mining and metallurgical complexes. E-mail: 9507131581@mail.ru. Stary Oskol Technological Institute named after A.A. Ugarov (branch) of the FSAEI HE «National University of Science and Technology «MISIS» (STI NITU MISIS). Russia, 309516, Stary Oskol, microdistrict Makarenko, 42.

Netsvet, Daria D. PhD, assistant professor of the department of construction and operation of mining and metallurgical complexes. E-mail: netsvet_dd@mail.ru. Stary Oskol Technological Institute named after A.A. Ugarov (branch) of the

FSAEI HE «National University of Science and Technology «MISIS» (STI NITU MISIS). Russia, 309516, Stary Oskol, microdistrict Makarenko, 42.

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

Received 21.06.2024

Для цитирования:

Буковцова А.И., Нецвет Д.Д., Жерновская И.В. Анализ механизмов самоочищения в материалах строительного назначения // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2025. № 1. С. 100–116. DOI: 10.34031/2071-7318-2024-10-1-100-116

For citation:

Bukovtsova A.I., Netsvet D.D., Zhernovskaya I.V. Analysis of self-cleaning mechanisms in construction materials. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2025. No. 1. Pp. 100–116. DOI: 10.34031/2071-7318-2024-10-1-100-116

DOI: 10.34031/2071-7318-2024-10-1-117-127

^{1,2}Римшин В.И., ³Сулейманова Л.А., ^{3,*}Амелин П.А¹Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет»²Научно-исследовательский институт строительной физики
Российской академии архитектуры и строительных наук³Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

*E-mail: p.amelin@inbox.ru

ПРОЧНОСТЬ НОРМАЛЬНЫХ И НАКЛОННЫХ СЕЧЕНИЙ ИЗГИБАЕМЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ, ПОВРЕЖДЕННЫХ КОРРОЗИЕЙ И УСИЛЕННЫХ ВНЕШНИМ КОМПОЗИТНЫМ АРМИРОВАНИЕМ

Аннотация. Исследование сосредоточено на разработке методики расчета прочности нормальных и наклонных сечений изгибаемых железобетонных элементов, которые подверглись воздействию коррозии и были усилены внешним композитным армированием. В ходе исследования были изучены бетонные конструкции, подверженные воздействию хлоридной агрессивной среды, вызывающей коррозию. Использование диахронной модели деформирования коррозионно-поврежденных элементов позволило учесть изменения механических характеристик материалов в процессе коррозии и произвести расчеты на основе аналитических зависимостей. Учет внешнего полимеркомпозитного армирования помог улучшить прочностные характеристики поврежденных элементов. Применение итерационного метода Пикара обеспечило точность расчетов. Результаты исследования показали, что предложенная методика эффективно оценивает прочность изгибаемых железобетонных элементов, поврежденных коррозией. Учет изменений характеристик материалов и воздействия агрессивной среды обеспечивает высокую точность и надежность расчетов. Применение внешнего армирования помогает увеличить устойчивость и долговечность конструкций. Разработанная методика представляет собой важный инструмент для улучшения эксплуатационной надежности и продления срока службы железобетонных конструкций, подвергающихся агрессивным средам.

Ключевые слова: прочность, железобетон, хлоридная коррозия, композитные материалы, усиленные строительных конструкций.

Введение. Изгибаемые железобетонные элементы зданий и сооружений подвергаются воздействию агрессивных несиловых нагрузок, что приводит к развитию коррозионных процессов в бетоне и арматуре, вызывая преждевременное наступление предельных состояний в конструкциях [1–4]. Коррозия железобетона – это сложный комплекс химических процессов, в результате развития которых существенно изменяются его прочностные и деформативные свойства [5–7].

Одной из ключевых проблем в строительстве является воздействие хлоридной среды, которое признано опасным и широко распространено на практике. Исследования, проведенные различными методами, включая опросы экспертов, анализ проектной документации и полевые наблюдения, показывают, что около 3/4 предприятий химической, металлургической и других отраслей промышленности, а также в сфере транспортного строительства и в прибрежных зонах подвержены влиянию агрессивных сред, содержащих хлориды [8–10].

На данный момент достаточно исследованы процессы определения НДС (напряженно-деформированного состояния) конструкций,

поврежденных коррозией при совместном действии эксплуатационных и средовых нагрузок, этой теме исследования посвящены работы Бондаренко В.М., Римшина В.И., Розенталя Н.К., Попеско А.И., Овчинникова И.Г., Смоляго Г.А., Селяева В.П., Леоновича С.Н., Чиркова В.П., Mangat P.S., Gaal G.C., Ai-Hammoud R., Andrade C. и др. [11–14].

В модели коррозионного поражения бетона можно применить часть диссипативной теории сопротивления В.М. Бондаренко [5], согласно которой поперечное сечение элемента делится на три зоны. Первая зона представляет собой область полного разрушения материала толщиной z^* . Вторая зона – это переходная зона частичного поражения бетона толщиной δ . Третья зона представляет собой область неповрежденного коррозией бетона толщиной p (рис. 1).

Влияние агрессивной среды на силовое сопротивление бетона учитывается функцией повреждения слоя $K(z)$:

$$\sigma_{b,cor} = \sigma_b(t) \cdot K(z), \quad (1)$$

$$E_{b,cor}^H = E_b^H(t) \cdot K(z), \quad (2)$$

где $\sigma_b(t)$ – модель деформирования обычного бетона; $E_b^H(t)$ – модель изменения интегрального

модуля деформаций; $K(z)$ – функция повреждения для слоя толщиной z .

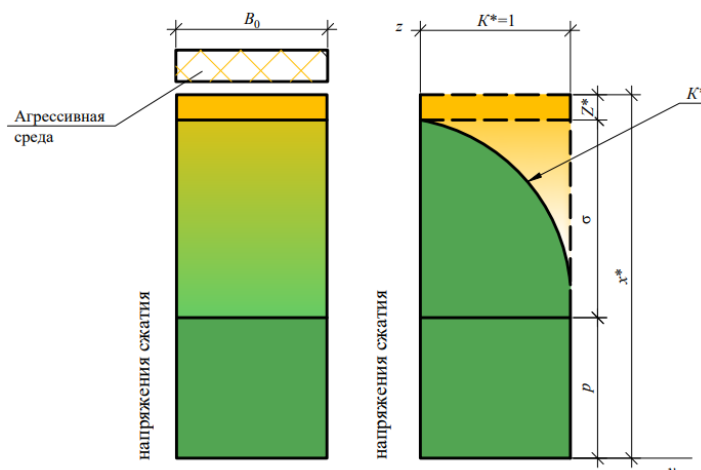


Рис. 1. Схема изменения прочностных характеристик бетона по поперечному сечению и зависимости глубины коррозии от напряжений

Коэффициент K находится в пределах от 0 до 1 и в общем виде определяется зависимостью:

$$K(z) = \sum_{i=0}^3 a_i \cdot z^i, \quad (3)$$

где z – ордината, отсчитываемая от оси силовых напряжений поврежденного коррозией бетонного элемента; a_i – коэффициенты степенного ряда, которые находят при фиксированных значениях K_i .

Согласно модели, условия для определения параметров a_i выглядят таким образом:

$$\text{при } z = p \quad K(p) = 1 \frac{dk^*}{dz} \Big|_{z=p} = 0, \quad (4)$$

$$\text{при } z > p \quad K^*(p + \delta) = K_1. \quad (5)$$

При условии что, $z = p + \sigma \rightarrow K(p + \sigma) = 0$, коэффициенты a_0, a_1, a_2 равны:

$$a_0 = 1 - \left(\frac{p}{\delta}\right)^2, \quad (6)$$

$$a_1 = 2 \frac{p}{\delta^2}, \quad (7)$$

В общем виде, функция напряжений для мгновенных и запаздывающих деформаций определяется по формуле:

$$S^0 = 1 + V \left(\frac{\sigma}{R}\right)^m \quad (11)$$

где m и V – эмпирические константы деформирования для различных классов бетона по прочности в диапазоне от В15 до В60, которые представлены в табл. 1.

Коррозия арматуры в большей степени изменяет геометрические характеристики

$$a_2 = -\frac{1}{\delta^2}. \quad (8)$$

В качестве исходной модели поведения бетона при расчете прочности изгибаемых элементов принята диссипативная теория силового сопротивления В.М. Бондаренко [4, 5], в которой зависимость напряжения сжатия бетона описывается зависимостью:

$$\sigma_b(t) = \frac{k\varepsilon(t) e^{m(t)\varepsilon(t)}}{\left[\frac{1}{E_m^0(t)} + C^*(t, t_0) - \int_{t_0}^t \frac{\sigma(\tau)}{\sigma(t)} \frac{\partial}{\partial \tau} C^*(t, \tau) d\tau\right]}, \quad (9)$$

где k – эмпирический параметр деформирования; m – параметр нелинейности; E_m^0 – модуль мгновенной деформации; t_0 – начало наблюдения; t – окончание наблюдения; ε – полные деформации бетона.

Для дальнейшего использования в уравнениях равновесия и определения изгибных жесткостей железобетонного сечения, используется функция для определения временного нелинейного модуля деформаций:

$$E_b^H(t, t_0) = \left[\frac{S_m^0(t)}{E_m^0(t)} + S_n^0(t) \cdot C^*(t, t_0) - \int_{t_0}^t S_n^0(t) \frac{\sigma(\tau)}{\sigma(t)} \frac{\partial}{\partial \tau} C^*(t, \tau) d\tau \right]^{-1}. \quad (10)$$

арматуры, нежели физико-механические характеристики стали. Расчетная площадь поперечного сечения поврежденной стальной арматуры представляется как [15]:

$$A_s^* = A_s - A_s^{cor}, \quad (12)$$

где A_s – площадь поперечного сечения стальной арматуры до коррозии; A_s^{cor} – расчетная площадь коррозионных повреждений поперечного сечения стальной арматуры.

Таблица 1

Физико-механические характеристики применяемого бетона

Наименование параметров	Значения параметров для классов бетона В					
	15	20	30	40	50	60
$R = 28 \text{ МПа}$	11,0	15,0	22,0	29,0	36,0	43,0
$E_m^0 = 28 \cdot 10^3 \text{ МПа}$	25,5	29,0	33,5	36,5	38,5	39,0
$C = 28 \cdot 10^6 \text{ МПа}^{-1}$	128	102	74	59	50	45
Параметры нелинейности	V_m	2,6	2,0	1,3	1,0	0,8
	m_m	5,0	4,7	4,3	3,8	3,4
	V_3	3,11	2,35	1,6	1,22	1,22
	m_3	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0

Глубина коррозии стальной арматуры в работах Овчинникова И.Г. определяется зависимостью [16]:

$$\delta_s = \begin{cases} 0, & t \leq t_{inc} \\ \frac{\delta_{s,0} \cdot (t - t_{inc})}{T + (t - t_{inc})}, & t > t_{inc} \end{cases}, \quad (13)$$

где: $\delta_{s,0}$, T – константы развития повреждений, устанавливаемые из экспериментальных данных; t_{inc} – время иницирования коррозии арматуры, определяемое из выражения (14), при значении глубины коррозионных повреждений бетона $\delta(t) = a_s - d/2$, т.е. когда агрессивная среда достигнет поверхности стержня.

Время продолжительности инкубационного периода определяется на основе закона Фика при известном значении критической концентрации хлоридов в бетоне $C_{кр}$ [16]:

$$t_{inc} = \frac{1}{12D} \left(\frac{a}{1 - \left(\frac{C_{кр}}{C_s} \right)^{0.5}} \right)^2, \quad (14)$$

где D – коэффициент диффузии хлорида, a – толщина защитного слоя бетона, C_s – концентрация хлоридов на расстоянии x от поверхности бетона в момент времени.

В исследовании [22] зависимость деформирования стали представлена в виде диаграммы Прандтля:

$$\sigma = \begin{cases} E\varepsilon, & 0 < \varepsilon \leq \varepsilon_{упр} \\ \sigma_m, & \varepsilon > \varepsilon_{упр} \end{cases}. \quad (15)$$

Актуальным вопросом при длительной эксплуатации зданий и сооружений является продление остаточного срока службы их поврежденных железобетонных элементов. В практике строительства процесс обследования технического состояния железобетонных конструкций происходит одновременно с целью увеличить несущую способность элементов для восприятия больших значений нагрузок.

Наряду с существующими методами усиления конструкций, такими как наращивание поперечного сечения и армирования, применение стальных обойм, используется метод

внешнего полимеркомпозитного усиления [17–20]. Развитие и применение методов усиления неповрежденных железобетонных конструкций внешним композитным армированием стало возможным благодаря теоретическим и экспериментальным работам Римшина В.И., Маиляна Д.Р., Морозова В.И., Меркулова С.И., Польского П.П., Bonacci J.F., Tamer E.M., Al-Saidy A.H., Elghazy M. и др.

Особенностью работы композитных материалов на растяжение является их упругое вплоть до разрушения деформирование. Композитные волокна отличаются от стали тем, что они не обладают пластичностью, а их разрушение происходит хрупко [21–23]. Напряжение композитных материалов зависит от их деформации согласно уравнению Гука:

$$\sigma_f = E_f \varepsilon_f, \quad (16)$$

где: E_f – модуль упругости композитного материала; ε_f – деформация волокон в определенный момент времени.

Это влияет на проектирование усиления железобетонных конструкций внешним армированием из композитов, так как накладываются ограничения на величину упругих деформаций бетона и стали.

Методика расчета прочности изгибаемых железобетонных элементов, усиленных полимеркомпозитным армированием, основана на ряде предположений и гипотез, включая предположение о постоянстве внешней нагрузки на элемент и концентрации агрессивной среды вокруг сечения на протяжении всего периода наблюдений. Также учитывается коррозия арматуры посредством уменьшения сечения, полиномиальная связь между напряжением и деформацией бетона, прочность системы усиления и характеристики материала усиления, такие как толщина, модули упругости, коэффициенты Пуассона и др.

Методы. В данной работе для получения искомых величин используется математический итерационный метод, который сводится к последовательному применению метода Пикара.

Метод Пикара как инструмент для разбиения поперечного сечения железобетонного элемента является итерационным подходом, используемым для анализа и моделирования поврежденных конструкций. Он предполагает последовательное уточнение характеристик сечения путем деления его на подэлементы и итерационного расчета их свойств. В общем виде формула итерационного метода Пикара определяется зависимостью:

$$y(t) = y_0 + \int_{t_0}^t f(x, y(x)) dx. \quad (17)$$

Ниже представлен пошаговый алгоритм для решения:

- задаются начальные условия, такие как конфигурации поперечного сечения железобетонного элемента, включая размеры, форму, расположение и количество арматуры, геометрические параметры повреждений, такие как глубина и протяженность трещин;

- разбивается поперечное сечение на несколько зон (подэлементов), учитывая как поврежденные, так и неповрежденные области

- выбирается начальное приближение приблизительное значение y (принимается сначала за константу) подставляется в правую часть дифференциального уравнения:

$$\frac{dy}{dx} = f(x, y). \quad (18)$$

- уравнение интегрируется относительно x , давая y в терминах x во втором приближении, в которое подставляются заданные числовые значения, а результат округляется до заданного количества знаков после запятой или значащих цифр. Первоначально оцениваются механические свойства каждого подэлемента. Итерационный расчет напряженно-деформированного состояния проводится для каждого подэлемента, учитывая взаимодействие между ними. Обновляются характеристики подэлементов на основе результатов расчетов, постепенно уточняя модель.

- итерационный процесс повторяется до достижения сходимости, когда изменения характеристик становятся незначительными. Проводится проверка полученных результатов, чтобы убедиться в адекватности модели и правильности расчетов

- на основе итерационных расчетов определяются интегральные характеристики всего сечения, такие как момент инерции, статический момент, жесткость и несущая способность.

Метод Пикара в данном контексте обеспечивает точное моделирование и анализ, что необходимо для оценки состояния конструкции и принятия решений о её ремонте или усилении.

Основная часть. Методика расчета прочности изгибаемых элементов предполагает первоначальное определение несущей способности M неповрежденной конструкции решением аналитических зависимостей:

$$N + \sigma'_s A'_s + \sigma_s A_s + b \int_{-h/2}^0 \sigma_p dz + b \int_0^{h/2} \sigma_c dz = 0, \quad (19)$$

$$M + \sigma'_s A'_s z_c + \sigma_s A_s z_p + b \int_{-h/2}^0 \sigma_p z dz + b \int_0^{h/2} \sigma_c z dz = 0, \quad (20)$$

Далее, для расчета прочности нормальных сечений, поврежденных коррозией, элементов с трещинами, предлагается частный случай диахронной модели деформирования В.В. Белова и С.Е. Никитина [24, 25]. Данная модель учитывает:

- изменение прочностных и деформационных характеристик сжатого и растянутого бетона;

- развитие коррозии арматурных стержней;

В рамках методики рассматривается напряженно-деформированное состояние изгибаемого железобетонного элемента с симметричным поперечным сечением в плоскости изгиба и габаритными размерами $h \times b$, площадью S и двойным армированием $A_{s,cor}, A'_{s,cor}$. В случае поперечного изгиба предполагается превалирующая роль изгибающего момента M_{cor} и продольного усилия N_{cor} при незначительном влиянии перерезывающих сил.

Для сечения с трещиной разрешающие системы уравнений диахронной модели деформирования коррозионно-поврежденных железобетонных элементов составляют условия статической эквивалентности $\Sigma N_{cor} = 0$ и $\Sigma M_{cor} = 0$, а также кинематические зависимости:

$$N_{cor} = b \cdot \int_{h/2}^{\delta_1} \sigma_{b,cor}(y) dy + 2 \cdot \delta_2 \cdot \int_{\delta_1}^{x_b} \sigma_{b,cor}(y) dy + (b - 2 \cdot \delta_2) \cdot \int_{\delta_1}^{x_b} \sigma_b(y) dy + A'_{s,cor} \cdot E'_s \cdot \varepsilon_b - A_{s,cor} \cdot E_s \cdot \varepsilon_s, \quad (21)$$

$$M_{cor} = b \cdot \int_{h/2}^{\delta_1} \sigma_{b,cor}(y) \cdot y \cdot dy + 2 \cdot \delta_2 \cdot \int_{\delta_1}^{x_b} \sigma_{b,cor}(y) \cdot y \cdot dy + (b - 2 \cdot \delta_2) \cdot \int_{\delta_1}^{x_b} \sigma_b(y) \cdot y \cdot dy + A'_{s,cor} \cdot E'_s \cdot \varepsilon_b \cdot \left(\frac{h}{2} - a\right) - A_{s,cor} \cdot E_s \cdot \varepsilon_s \cdot \left(\frac{h}{2} - a\right), \quad (22)$$

$$\frac{\varepsilon_b}{\varepsilon_s} = \frac{x}{h-x-a}, \quad (23)$$

где ε_s – относительная деформация растянутой арматуры, в среднем сечении; E_s – модуль упругости арматуры; a – расстояние от равнодействующей усилий в растянутой арматуре до ближайшей грани сечения; ε_b – относительная деформация бетона, в среднем сечении; $\sigma_{b,cor}, \sigma_b$ – напряжение в бетоне поврежденной и неповрежденной зоны соответственно; δ_1, δ_2 – глубина повреждения бетонного сечения в сжатой зоне и боковых гранях.

Роль внешне-композитного усиления изгибаемого элемента определяется добавлением в уравнения равновесия усилий в композитном армировании на расстоянии a (защитного слоя) от месторасположения растянутой арматуры (рис. 2).

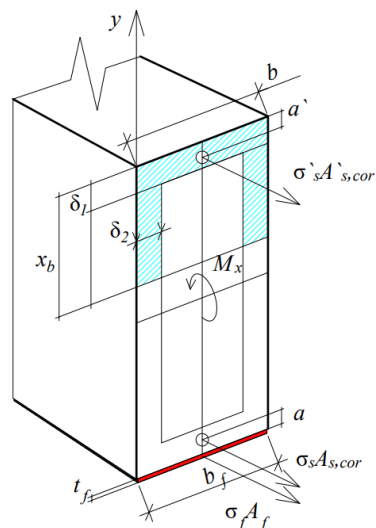


Рис. 2. Схема изменения прочностных характеристик бетона по поперечному сечению и зависимости глубины коррозии от напряжений

В результате получаем зависимости:

$$N_{str} = b \cdot \int_{h/2}^{\delta_1} \sigma_{b,cor}(y) dy + 2 \cdot \delta_2 \cdot \int_{\delta_1}^{x_b} \sigma_{b,cor}(y) dy + (b - 2 \cdot \delta_2) \cdot \int_{\delta_1}^{x_b} \sigma_b(y) dy + A'_{s,cor} \cdot E'_s \cdot \varepsilon_b - A_{s,cor} \cdot E_s \cdot \varepsilon_s - A_f \cdot E_f \cdot \varepsilon_f, \quad (24)$$

$$M_{str} = b \cdot \int_{h/2}^{\delta_1} \sigma_{b,cor}(y) \cdot y \cdot dy + 2 \cdot \delta_2 \cdot \int_{\delta_1}^{x_b} \sigma_{b,cor}(y) \cdot y \cdot dy + (b - 2 \cdot \delta_2) \cdot \int_{\delta_1}^{x_b} \sigma_b(y) \cdot y \cdot dy + A'_{s,cor} \cdot E'_s \cdot \varepsilon_b \cdot \left(\frac{h}{2} - a\right) - A_{s,cor} \cdot E_s \cdot \varepsilon_s \cdot \left(\frac{h}{2} - a\right) - A_f \cdot E_f \cdot \varepsilon_f \cdot \frac{h}{2}, \quad (25)$$

$$\frac{\varepsilon_b}{\varepsilon_{bts}} = \frac{x_b}{h - x_b}, \quad (26)$$

где h – высота прямоугольного сечения; b – ширина прямоугольного сечения; E_s – модуль упругости арматуры; a – расстояние от равнодействующей усилий в растянутой арматуре до ближайшей грани сечения; ε_b – относительная деформация сжатия бетона, в среднем сечении; $\sigma_{b,cor}, \sigma_b$ – напряжение в бетоне поврежденной и неповрежденной зоны соответственно; δ_1, δ_2 – глубина повреждения бетонного сечения в сжатой зоне и боковых гранях; A_f – площадь поперечного сечения композитного материала; E_f – модуль упругости композитного материала; ε_{bts} – общая относительная деформация растяжения бетона усиленного элемента:

$$\varepsilon_{bts} = \varepsilon_f + \varepsilon_{bt}, \quad (27)$$

$$D_{11} = b \cdot \int_{h/2}^{\delta_1} E_{b,cor}^H(y) \cdot y^2 \cdot dy + 2 \cdot \delta_2 \cdot \int_{\delta_1}^x E_{b,cor}^H(y) \cdot y^2 \cdot dy + (b - 2 \cdot \delta_2) \cdot \int_{\delta_1}^x E_b^H(y) \cdot y^2 \cdot dy + A'_{s,cor} \cdot E'_s \cdot \left(\frac{h}{2} - a\right)^2 - A_{s,cor} \cdot E_s \cdot \left(\frac{h}{2} - a\right)^2 - A_f \cdot E_f \cdot \left(\frac{h}{2}\right)^2, \quad (30)$$

где ε_{bt} – относительная деформация растяжения бетона, до применения композитного усиления сечения; ε_f – относительная деформация композитного материала.

Для проведения итерационного счета запишем уравнения (24) и (25), определяющие продольную силу N_{str} и изгибающий момент $M_{x,str}$, через изгибные жесткости D , кривизну $\frac{1}{r_x}$ и относительной деформации волокна в начальной точке ε_0 :

$$N_{str} = D_{13} \frac{1}{r_x} + D_{33} \varepsilon_0, \quad (28)$$

$$M_{x,str} = D_{11} \frac{1}{r_x} + D_{13} \varepsilon_0. \quad (29)$$

С учетом усилий полимеркомпозитного материала изгибные жесткости равны:

$$D_{13} = b \cdot \int_{h/2}^{\delta_1} E_{b,cor}^H(y) \cdot y \cdot dy + 2 \cdot \delta_2 \cdot \int_{\delta_1}^x E_{b,cor}^H(y) \cdot y \cdot dy + (b - 2 \cdot \delta_2) \cdot \int_{\delta_1}^x E_b^H(y) \cdot y \cdot dy + \alpha_s' \cdot A_{s,cor}' \cdot E_s' \cdot \left(\frac{h}{2} - a\right) - \alpha_s \cdot A_{s,cor} \cdot E_s \cdot \left(\frac{h}{2} - a\right) - \alpha_f \cdot A_f \cdot E_f \cdot \frac{h}{2}, \quad (31)$$

$$D_{33} = b \cdot \int_{h/2}^{\delta_1} E_{b,cor}^H(y) \cdot dy + 2 \cdot \delta_2 \cdot \int_{\delta_1}^x E_{b,cor}^H(y) \cdot dy + (b - 2 \cdot \delta_2) \cdot \int_{\delta_1}^x E_b^H(y) \cdot dy + A_{s,cor}' \cdot E_s' - A_{s,cor} \cdot E_s - A_f \cdot E_f, \quad (32)$$

где $E_{b,cor}^H, E_b^H$ – модуль упругости в бетоне сжатой и растянутой зоны поврежденной и неповрежденной зоны соответственно; E_s, E_s' – модуль упругости арматуры растянутой и сжатой зоны; E_f – модуль упругости полимеркомпозитного материала; $\alpha_s, \alpha_s', \alpha_f$ – коэффициенты приведения геометрических характеристик сжатой, растянутой, полимеркомпозитной арматуры;

Расчет изгибаемых элементов, усиленных композитными материалами по наклонным сечениям на действие поперечных сил проводится из условия:

$$Q \leq Q_b + Q_{sw} + Q_{fw}, \quad (33)$$

$$Q_b = \varphi_{b2} \cdot h_0 \left(\frac{b \cdot \int_{h-a}^{\delta_3} \sigma_{bt,cor}(y) dy + 2 \cdot \delta_2 \cdot \int_{\delta_1}^{\delta_3} \sigma_{bt,cor}(y) dy}{c} + \frac{+(b - 2 \cdot \delta_2) \cdot \int_{\delta_1}^{\delta_3} \sigma_{bt}(y) dy + b \cdot \int_{h/2}^{\delta_1} \sigma_{bt,cor}(y) dy}{c} \right), \quad (34)$$

где φ_{b2} – эмпирический коэффициент, принятый 1,5; c – длина проекции наклонного сечения S .

Поперечная сила, воспринимаемая поперечной стальной арматурой, определяется по формуле:

$$Q_{sw} = \varphi_{sw} q_{sw,cor} = \frac{\varphi_{sw} \sigma_s A_{s,cor}}{s_w}, \quad (35)$$

где φ_{sw} – эмпирический коэффициент, принимаемый равным 0,75; $q_{sw,cor}$ – усилие в

где Q – поперечная сила, определяемая внешней нагрузкой, расположенной по одну сторону рассматриваемого наклонного сечения; Q_b – поперечная сила, воспринимаемая бетоном в наклонном сечении; Q_{sw} – поперечная сила, воспринимаемая поперечной стальной арматурой; Q_{fw} – поперечная сила, воспринимаемая внешним полимеркомпозитным армированием;

Поперечную силу Q_b , воспринимаемую в наклонном сечении, с учетом повреждения бетона, можно представить в виде:

поперечной арматуре на единицу длины элемента.

Механизм крепления, обеспечиваемый U-образными хомутами из полимерного композита, основан на поддержании сил трения, возникающего между двумя бетонными поверхностями раскрытой продольной горизонтальной трещины (рис. 3).

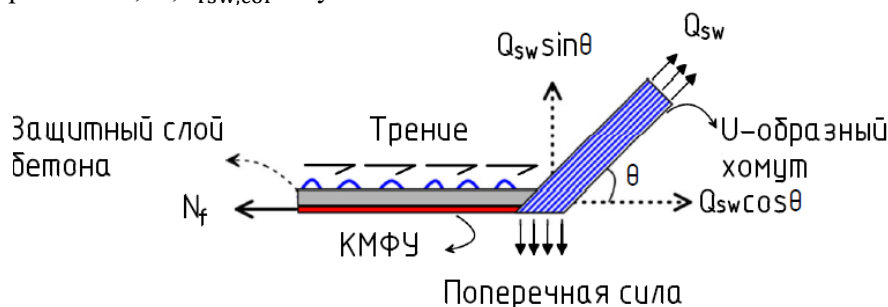


Рис. 3. Схема работы элемента в наклонном сечении

Для расчета поперечной силы, воспринимаемой внешним полимеркомпозитным армированием предлагается зависимость:

$$Q_{fw} = \frac{N_f}{\mu \sin \theta + \cos \theta}, \quad (36)$$

где N_f – продольное растягивающее усилие, воспринимаемое композитным материалом; μ – коэффициент трения, который можно принять равным 1,4; θ – угол наклона U-образного композитного хомута к продольной оси балки.

Продольное растягивающее усилие определяется как наименьшее из уравнений:

$$N_f = A_f E_f \varepsilon_{fd}, \quad (37)$$

$$N_f = A_f E_f \varepsilon_{fu}, \quad (38)$$

$$N_f = A_f E_f \left[\varepsilon_{cu} \left(\frac{h_0 - x}{x} \right) - \varepsilon_{bi} \right], \quad (39)$$

где A_f – площадь поперечного сечения композитного материала; E_f – модуль упругости композитного материала; ε_{fd} – относительная деформация композитного материала для случая разрушения из-за отслоения промежуточной трещины; ε_{fu} – относительная деформация композитного материала случае выхода из строя из-за разрыва композитного материала; ε_{cu} – предельная деформация растянутого бетона; ε_{bi} – это напряжение бетона во время приклейки полимеркомпозитного холста; x – высота сжатой зоны бетона; h_0 – высота рабочей зоны бетона.

Уравнение (37) справедливо для случая разрушения из-за отслоения промежуточной трещины, уравнение (38) – в случае выхода из строя из-за разрыва композитного материала, уравнение (39) – в случае отказа элемента из-за дробления бетона.

Выводы. В данном исследовании были выявлены общие закономерности изменения напряженно-деформированного состояния изгибаемых коррозионно-поврежденных железобетонных элементов, усиленных внешним полимеркомпозитным армированием. Это позволило сформулировать исходные предпосылки и основные гипотезы для расчета, а именно справедливость гипотезы плоских сечений, предположение о постоянстве внешней нагрузки на элемент и концентрации агрессивной среды вокруг сечения на протяжении всего периода наблюдений, учет коррозии арматуры посредством уменьшения сечения, полиномиальная связь между напряжением и деформацией бетона, прочность системы усиления и характеристики материала усиления, такие как толщина, модули упругости, коэффициенты Пуассона и др.

Для определения напряженного состояния усиленных железобетонных изгибаемых элементов была модифицирована методика повреждения железобетона. В соответствии с моделью коррозионного поражения бетона принята диссипативная теория сопротивления В.М. Бондаренко. Расчетная модель позволяет учесть направление хлоридного воздействия, дифференциацию повреждений и концентрации среды.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Смоляго Г.А., Фролов Н.В., Дронов А.В. Анализ коррозионных повреждений эксплуатируемых изгибаемых железобетонных конструкций зданий и сооружений // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2019. № 1. С. 52–57. DOI: 10.12737/article_5c506209065dd6.02007715.
2. Овчинников И.И. Современное состояние проблемы расчета армированных конструкций, подвергающихся воздействию агрессивных сред // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2012. № 2(2). С. 46–60.
3. Mangat P.S., Elgarf M.S. Flexural strength of concrete beams with corroding reinforcement // ACI Structural Journal. 1999. Vol. 96. No. 1. Pp. 149–158.
4. Бондаренко В.М., Римшин В.И. Квазилинейные уравнения силового сопротивления и диаграмма $\sigma - \varepsilon$ бетона // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. 2014. № 6. С. 40–44.
5. Бондаренко В.М. Элементы диссипативной теории силового сопротивления железобетона // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. 2014. № 2. С. 47–57.
6. Римшин В.И., Сулейманова Л.А., Амелин П.А., Крючков А.А. Экспериментальные исследования изгибаемых железобетонных элементов, имеющих повреждения арматуры вследствие контакта с хлоридной агрессивной средой // Эксперт: теория и практика. 2023. № 3(22). С. 138–146. DOI: 10.51608/26867818_2023_3_138.
7. Feng G., Jin Z., Jiang Y., Wang X., Zhu D. Localized corrosion propagation of steel in cracked mortar and long-term corrosion of steel reinforcement in cracked concrete in seawater environment // Corrosion Science. 2024. Vol. 228. 111793. DOI: 10.1016/j.corsci.2023.111793/
8. Чирков В.П., Антропова Е.А. Прогнозирование срока службы автодорожных мостов // В сб. «Надежность строительных элементов и систем». Труды Междунар. научно-технич. конф. Самара, 1997. С. 78–81.
9. Ai-Hammoud R., Soudki K., Topper T.H. Bond analysis of corroded reinforced concrete beams under monotonic and fatigue loads // Cement Concrete Composites. 2010. Vol. 32. No. 3. Pp. 194–203.
10. Розенталь Н.К. Проницаемость и коррозионная стойкость бетона // Промышленное и гражданское строительство. 2013. № 1. С. 35–37.
11. Gaal G.C., Veen C., Djorai M.H. Prediction of deterioration of concrete bridges in the Netherlands // Proceedings of First International Conference on Bridge Maintenance, Safety and Management. 2002. Pp. 111–118.

12. Попеско А.И., Анцыгин О.И., Дайлов А.А. Численный расчет железобетонных стержней при коррозионных воздействиях // Бетон и железобетон. 2007. № 3. С. 25–27.
13. Selyaev V.P., Selyaev P.V., Sorokin E.V., Kechutkina E.L. Modeling of the reinforced concrete structure performance at joint influence of mechanical and chemical loads // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2018. Vol. 456. 012–060. DOI: 10.1088/1757-899X/456/1/012060.
14. Andrade C., Alonso C., Gulikers J. Test methods for on-site corrosion rate measurement of steel reinforcement in concrete by means of the polarization resistance method // Materials and Structures. 2004. No. 37. Pp. 623–643.
15. Frolov N.V., Smolyago G.A. Reinforced concrete beams strength under power and environmental influences // Magazine of Civil Engineering. 2021. No. 3(103). 10303. DOI: 10.34910/MCE.103.3.
16. Ovchinnikov I.I., Snezhkina O.V., Ovchinnikov I.G. Diffusion model of penetration of a chloride-containing environment in the volume of a constructive element // AIP Conference Proceedings. 2018. Vol. 1973(1). 020010. DOI: 10.1063/1.5041394.
17. Римшин В. И., Сулейманова Л. А., Амелин П. А., Фролов Н. В. Композитное усиление железобетонных изгибаемых элементов, поврежденных под воздействием хлоридной агрессивной среды // Эксперт: теория и практика. 2023. № 1 (20). С. 29–34. DOI: 10.51608/26867818_2023_1_29.
18. Bonacci J.F., Maalej M. Externally bonded fiber-reinforced polymer for rehabilitation of corrosion damaged concrete beams // ACI Structural Journal. 2000. Vol. 97(5). P. 703–711. DOI: 10.14359/8805.
19. Морозов В.И., Юшин, А.В. Экспериментальные исследования двухпролетных железобетонных балок, усиленных композитными материалами по наклонному сечению // Вестник гражданских инженеров. 2014. № 5(46). С. 77–84.
20. Меркулов С.И., Есипов С.М., Есипова Д.В. Экспериментальные исследования трещинообразования железобетонных балок, усиленных композитными материалами // Вестник Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. 2019. № 3. С. 102–107.
21. Al-Saidy A.H., Saadatmanesh H., El-Gamal S., Al-Jabri K.S., Waris B.M. Structural behavior of corroded RC beams with/without stirrups repaired with CFRP sheets // Mater. Struct. /Materials et Constructions. 2016. Vol. 49. Pp. 3733–3747. DOI: 10.1617/s11527-015-0751-y.
22. Маилян Д.Р., Польской П.П., Михуб А. Вопросы исследования прочности нормальных сечений балок, усиленных различными видами композитных материалов // Инженерный вестник Дона. 2013. № 2. С. 99.
23. Al-Saidy A.H., Al-Jabri K.S. Effect of damaged concrete cover on the behavior of corroded concrete beams repaired with CFRP sheets // Compos. Struct. 2011. Vol. 93. P. 1775–1786. DOI: 10.1016/j.compstruct.2011.01.011.
24. Белов В.В., Никитин С.Е. Диахронная модель деформирования коррозионно-поврежденных железобетонных элементов с трещинами // Вестник гражданских инженеров. 2011. № 4(29). С. 18–25.
25. Никитин С.Е. Оценка долговечности коррозионно-поврежденных железобетонных конструкций на базе диахронной модели деформирования // Современные проблемы науки и образования. 2012. № 2. С. 242.

Информация об авторах

Римшин Владимир Иванович, доктор технических наук, профессор, член-корреспондент отделения строительных наук. E-mail: v.rimshin@vniizhbeton.ru. Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» Россия, 129337, Москва, Ярославское шоссе, д. 26. Научно-исследовательский институт строительной физики Российской академии архитектуры и строительных наук. Россия, 127238, г. Москва, проезд Локомотивный, д. 21.

Сулейманова Людмила Александровна, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой строительства и городского хозяйства. E-mail: ludmilasuleimanova@yandex.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Амелин Павел Андреевич, ассистент кафедры строительства и городского хозяйства. E-mail: p.amelin@inbox.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Поступила 15.10.2024 г.

© Римшин В.И., Сулейманова Л.А., Амелин П.А., 2025

^{1,2}Rimshin V.I., ³Suleymanova L.A., ^{3,*}Amelin P.A.¹National Research Moscow State University of Civil Engineering²Research Institute of Building Physics

Russian Academy of Architecture and Construction Sciences

³Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov

*E-mail: p.amelin@inbox.ru

STRENGTH OF NORMAL AND INCLINED SECTIONS OF BENDING REINFORCED CONCRETE ELEMENTS DAMAGED BY CORROSION AND REINFORCED BY EXTERNAL COMPOSITE REINFORCEMENT

Abstract The study is focused on the development of a strength calculation methodology for normal and inclined sections of flexural reinforced concrete elements that have been exposed to corrosion and reinforced with external composite reinforcement. Particular attention is paid to assessing the influence of aggressive environments, such as chloride solutions, which accelerate reinforcement corrosion processes. The use of a diachronic deformation model allows taking into account time changes in the physical and mechanical properties of materials under the influence of corrosion. This modeling is based on the use of analytical dependencies describing the development of corrosion damage and allows you to adjust the calculation parameters depending on the stage of corrosion destruction. Particular attention in the methodology is paid to changes in the strength characteristics of concrete and reinforcement, which is a key factor for the correct assessment of the bearing capacity of the elements. The use of external polymer composite reinforcement improves resistance to external influences and significantly reduces the rate of progression of corrosion processes due to the creation of an additional protective layer. To ensure high accuracy of calculations, the iterative Picard method is used, which allows you to adjust solutions at each step of the calculation until convergence of the results is achieved. Including in the calculation changes in the physical and mechanical characteristics of materials caused by corrosion, as well as taking into account external composite reinforcement allows achieving a significant increase in the strength and durability of structures. The results of the study demonstrate that the proposed method is highly effective in assessing the bearing capacity of bending reinforced concrete structures subject to aggressive effects.

Keywords: strength, reinforced concrete, chloride corrosion, composite materials, reinforcement of building structures.

REFERENCES

1. Smolyago G.A., Frolov N.V., Dronov A.V. Analysis of corrosion damage to operated bending reinforced concrete structures of buildings and structures [Analiz korrozionnyh povrezhdenij ekspluatiruemyh izgibaemyh zhelezobetonnyh konstrukcij zdanij i sooruzhenij]. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2019. No. 1. Pp. 52–57. DOI: 10.12737/article_5c506209065dd6.02007715. (rus)
2. Ovchinnikov I.I. Current state of the problem of calculating reinforced structures exposed to aggressive environments [Sovremennoe sostoyanie problemy rascheta armirovannyh konstrukcij, podvergayushchihsya vozdejstviyu agressivnyh sred]. Construction of unique buildings and structures. 2012. No. 2(2). P. 46–60. (rus)
3. Mangat P.S., Elgarf M.S. Flexural strength of concrete beams with corroding reinforcement. ACI Structural Journal. 1999. Vol. 96. No. 1. P. 149–158.
4. Bondarenko V.M., Rimshin V.I. Quasi-linear equations of force resistance and $\sigma - \varepsilon$ diagram of concrete [Kvazilinejnye uravneniya silovogo soprotivleniya i diagramma $\sigma - \varepsilon$ betona]. Structural mechanics of engineering structures and constructions. 2014. No. 6. P. 40–44. (rus)
5. Bondarenko V.M. Elements of the dissipative theory of force resistance of reinforced concrete [Elementy dissipativnoj teorii silovogo soprotivleniya zhelezobetona]. Structural mechanics of engineering structures and constructions. 2014. No. 2. Pp. 47–57. (rus)
6. Rimshin V.I., Suleimanova L.A., Amelin P.A., Kryuchkov A.A. Experimental studies of bending reinforced concrete elements with reinforcement damage due to contact with an aggressive chloride environment [Eksperimental'nye issledovaniya izgibaemyh zhelezobetonnyh elementov, imeyushchih povrezhdeniya armatury vsledstvie kontakta s hloridnoj agressivnoj sredoj]. Expert: theory and practice. 2023. No. 3 (22). P. 138–146. DOI: 10.51608/26867818_2023_3_138. (rus)
7. Feng G., Jin Z., Jiang Y., Wang X., Zhu D. Localized corrosion propagation of steel in cracked mortar and long-term corrosion of steel reinforcement in cracked concrete in seawater environment. Corrosion Science. 2024. Vol. 228. 111793. DOI: 10.1016/j.corsci.2023.111793/

8. Chirkov V.P., Antropova E.A. Forecasting the service life of road bridges [Prognozirovanie sroka sluzhby avtodorozhnyh mostov]. V sb. «Nadezhnost' stroitel'nyh elementov i sistem». Trudy Mezhdunar. nauchno-tekhnich. konf. Samara, 1997. Pp. 78–81. (rus)
9. Ai-Hammoud R., Soudki K., Topper T.H. Bond analysis of corroded reinforced concrete beams under monotonic and fatigue loads. *Cement Concrete Composites*. 2010. Vol. 32. No. 3. Pp. 194–203.
10. Rosenthal N.K. Permeability and corrosion resistance of concrete [Pronicaemost' i korrozionnaya stojkost' betona]. *Industrial and civil engineering*. 2013. No. 1. Pp. 35–37. (rus)
11. Gaal G.C., Veen C., Djorai M.H. Prediction of deterioration of concrete bridges in the Netherlands. *Proceedings of First International Conference on Bridge Maintenance, Safety and Management*. 2002. Pp. 111–118.
12. Popesko A.I., Antsygin O.I., Dailov A.A. Numerical calculation of reinforced concrete rods under corrosion effects [Chislennyj raschet zhelezobetonnyh sterzhnej pri korrozionnyh vozdejstviyah]. *Beton i zhelezobeton*. 2007. No. 3. Pp. 25–27. (rus)
13. Selyaev V.P., Selyaev P.V., Sorokin E.V., Kechutkina E.L. Modeling of the reinforced concrete structure performance at joint influence of mechanical and chemical loads. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2018. Vol. 456. Pp. 012-060. DOI: 10.1088/1757-899X/456/1/012060.
14. Andrade C., Alonso C., Gulikers J. Test methods for on-site corrosion rate measurement of steel reinforcement in concrete by means of the polarization resistance method. *Materials and Structures*. 2004. No. 37. P. 623-643.
15. Frolov N.V., Smolyago G.A. Reinforced concrete beams strength under power and environmental influences. *Magazine of Civil Engineering*. 2021. No. 3(103). 10303. DOI: 10.34910/MCE.103.3.
16. Ovchinnikov I.I., Snezhkina O.V., Ovchinnikov I.G. Diffusion model of penetration of a chloride-containing environment in the volume of a constructive element. *AIP Conference Proceedings*. 2018. Vol. 1973(1). 020010. DOI: 10.1063/1.5041394.
17. Rimshin V.I., Suleimanova L.A., Amelin P.A., Frolov N.V. Composite strengthening of reinforced concrete bending elements damaged by an aggressive chloride environment [Kompozitnoe usilenie zhelezobetonnyh izgibaemyh elementov, povrezhdennyh pod vozdejstviem hloridnoj agressivnoj sredy]. *Expert: Theory and Practice*. 2023. No. 1 (20). Pp. 29–34. DOI: 10.51608/26867818_2023_1_29. (rus)
18. Bonacci J.F., Maalej M. Externally bonded fiber-reinforced polymer for rehabilitation of corrosion damaged concrete beams. *ACI Structural Journal*. 2000. Vol. 97(5). Pp. 703–711. DOI: 10.14359/8805.
19. Morozov V.I., Yushin, A.V. Experimental studies of two-span reinforced concrete beams reinforced with composite materials along an inclined section [Eksperimental'nye issledovaniya dvuhproletnyh zhelezobetonnyh balok, usilennyh kompozitnymi materialami po naklonnomu secheniyu]. *Bulletin of Civil Engineers*. 2014. No. 5 (46). Pp. 77–84. (rus)
20. Merkulov S.I., Esipov S.M., Esipova D.V. Experimental studies of crack formation in reinforced concrete beams reinforced with composite materials [Eksperimental'nye issledovaniya treshchinoobrazovaniya zhelezobetonnyh balok, usilennyh kompozitnymi materialami]. *Bulletin of the Donbass National Academy of Civil Engineering and Architecture*. 2019. No. 3. Pp. 102–107. (rus)
21. Al-Saidy A.H., Saadatmanesh H., El-Gamal S., Al-Jabri K.S., Waris B.M. Structural behavior of corroded RC beams with/without stirrups repaired with CFRP sheets. *Mater. Struct. /Materiaux et Constructions*. 2016. Vol. 49. Pp. 3733–3747. DOI: 10.1617/s11527-015-0751-y.
22. Mailyan D.R., Polskoy P.P., Mikhub A. Issues of studying the strength of normal sections of beams reinforced with different types of composite materials [Voprosy issledovaniya prochnosti normal'nyh sechenij balok, usilennyh razlichnymi vidami kompozitnyh materialov]. *Engineering Bulletin of the Don*. 2013. No. 2. P. 99. (rus)
23. Al-Saidy A.H., Al-Jabri K.S. Effect of damaged concrete cover on the behavior of corroded concrete beams repaired with CFRP sheets. *Compos. Struct.* 2011. Vol. 93. Pp. 1775–1786. DOI: 10.1016/j.compstruct.2011.01.011.
24. Belov V.V., Nikitin S.E. Diachronous model of deformation of corrosion-damaged reinforced concrete elements with cracks [Diahronnaya model' deformirovaniya korrozionno-povrezhdennyh zhelezobetonnyh elementov s treshchinami]. *Bulletin of civil engineers*. 2011. No. 4(29). Pp. 18–25. (rus)
25. Nikitin S.E. Assessment of the durability of corrosion-damaged reinforced concrete structures based on the diachronous model of deformation [Ocenka dolgovechnosti korrozionno-povrezhdennyh zhelezobetonnyh konstrukcij na baze diahronnoj modeli deformirovaniya]. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya*. 2012. No. 2. P. 242. (rus)

Information about the author

Rimshin, Vladimir I. Doctor of Technical Sciences, Professor, Corresponding Member of the Department of Construction Sciences. E-mail: v.rimshin@vniizhbeton.ru. National Research Moscow State University of Civil Engineering, Russia, 129337, Moscow, Yaroslavskoe shosse, 26; Research Institute of Building Physics of the Russian Academy of Architecture and Construction Sciences. Russia, 127238, Moscow, Lokomotivny proezd, 21.

Suleymanova, Lyudmila A. DSc, Professor, Head of the Department of Construction and Urban Economy. E-mail: ludmilasuleimanova@yandex.ru. Belgorod State Technological University. V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Amelin, Pavel A. Assistant of the Department of Construction and Urban Economy. E-mail: p.amelin@inbox.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod st. Kostyukova, 46.

Received 15.10.2024

Для цитирования:

Римшин В.И., Сулейманова Л.А., Амелин П.А. Прочность нормальных и наклонных сечений изгибаемых железобетонных элементов, поврежденных коррозией и усиленных внешним композитным армированием // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2025. №1. С. 117–127. DOI: 10.34031/2071-7318-2024-10-1-117-127

For citation:

Rimshin V.I., Suleymanova L.A., Amelin P.A. Strength of normal and inclined sections of bending reinforced concrete elements damaged by corrosion and reinforced by external composite reinforcement. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2025. No. 1. Pp. 117–127. DOI: 10.34031/2071-7318-2024-10-1-117-127

DOI: 10.34031/2071-7318-2024-10-1-128-137

^{1,*}Муртазин Р.Ш., ¹Мухамадеев К.Т., ²Сабитов Л.С.¹Казанский государственный энергетический университет²Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет

*E-mail: murtrinat@gmail.com

ИССЛЕДОВАНИЯ СБОРНЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ НЕСУЩИХ СИСТЕМ С ПЛОСКИМ ПЕРЕКРЫТИЕМ

Аннотация. В настоящей работе автором приводится общий обзор применяемых несущих каркасных систем с плоским потолком (безригельных и с ригелем, скрытым в плоскости диска перекрытия), выполнение которых на строительной площадке осуществляется с применением сборных железобетонных изделий заводского изготовления. Также описаны основные положения и результаты натурного испытания элементов перекрытия малораспространённого в Российской Федерации сборного железобетонного несущего каркаса по патенту № 132814 «Сборный железобетонный каркас».

Исследования по существующим несущим системам с плоской нижней гранью перекрытия проводились посредством изучения патентной документации, доступной во всероссийской патентно-технической библиотеке; информации, размещённой авторами в открытых источниках, научных статей авторов несущих систем. Натурные испытания элементов перекрытия каркаса по патенту № 132814 «Сборный железобетонный каркас» производились путём эмпирического эксперимента с нагружением предварительно изготовленных элементов по рассматриваемой системе сборно-монолитного железобетонного строительства. В ходе испытаний замерялись вертикальные перемещения элементов, появление и ширина раскрытия их трещин, была зафиксирована разрушающая нагрузка. По зафиксированной разрушающей нагрузке был высчитан коэффициент безопасности по ГОСТ 8829-2018 для испытанных элементов перекрытия.

Полученные в результате испытаний значения разрушающей нагрузки конструкций перекрытия подтверждают надёжность принятых решений, чем обосновывается целесообразность их дальнейшей разработки. Полученные по ГОСТ 8829-2018 коэффициенты безопасности ригелей и плит перекрытия удовлетворяют требованиям по прочности, предъявляемым к строительным конструкциям.

Ключевые слова: сборный железобетон, гражданское строительство, плоское перекрытие, сборно-монолитный каркас, несущий каркас

Введение. Возведение зданий из сборного железобетона является одним из наиболее перспективных направлений. Ежегодно во всем мире производится более 3 млрд. м³ бетона и железобетона. Применение сборных железобетонных элементов позволяет перенести большую часть работ по возведению объекта строительства на железобетонные заводы и комбинаты с высокомеханизированными и частично автоматизированными технологическими процессами. Использование железобетонных изделий заводского изготовления позволяет значительно сократить сроки строительства, уменьшает трудоемкость работ, упрощает производство работ в зимний период. Например, по сравнению с монолитной каркасной или бескаркасной технологиями возведения зданий, исключается острая необходимость в устройстве вспомогательных конструкций: подмостей, опалубочных форм и пр. На производстве железобетона осуществляется обязательный входной контроль качества сырья, поступающего на склады. На бетоносмесительных узлах используется технологическое оборудование, обеспечивающее стабильное ка-

чество получаемых бетонных смесей. Весь технологический процесс производства контролируется собственными лабораториями заводов.

Широко применяемый на территории России и адаптированный для жилья связевый каркас межвидового применения серии 1.020-1/87 [1] с использованием сборных железобетонных изделий при высоком уровне индустриальности ограничивает архитектурно-планировочные возможности из-за выступающих за потолочную поверхность перекрытия ригелей. Подобные решения по устройству перекрытий представлены также в сборно-монолитных каркасах по технологиям «Сарет», «Рекон» [2, 3], «Казань XXI в.» [4–8], конструктивных решениях команд Сальникова В.Б. [9], Зырянова П.А. [10], Прыткова В.Т. [11], Лазарева И.А. [12].

Из существующих в настоящее время современных решений каркасов рассмотрим лишь те, которые имеют конструктивную схему с плоским перекрытием. В отечественной практике наиболее известны следующие решения: система «Аркас» (каркас серии Б-1.020.1-7) [13–17], разработанная БелНИИС; конструктивная система безригельного сборно-монолитного каркаса «КУБ-

2.5» [18]; регионально-адаптируемая индустриальная универсальная строительная система «РАДИУСС» [19, 20], разработка которой производилась Центральным научно-исследовательским и проектным институтом ЦНИИЭП реконструкции совместно с рядом других научных объединений, включая Казанский государственный архитектурно-строительный университет.

Анализ перечисленных каркасных систем выполнен на основе авторских технических описаний и иллюстраций к ним, приведенных в различных публикациях научно-технического характера и в открытых источниках сети Интернет.

Железобетонные изделия, применяемые в системе «Аркас», во многом схожи с теми, что предлагают системы возведения зданий и сооружений, упомянутые ранее («Казань XXI в.» [4–8], «Сарет», «Рекон» [2, 3] и другие). Вертикальные несущие конструкции так же представлены многоярусными колоннами, ярусы которых разделяются разрывами бетонирования в уровне диска перекрытия с оголённой арматурой. Диск перекрытия складывается из многопустотных плит перекрытия и монолитных ригелей, которые выполняются в высотных границах диска перекрытия, за счёт чего обеспечивается ровная поверхность потолков по нижней грани плит перекрытия.

В ходе монтажа конструкций каркаса многопустотные плиты перекрытия устанавливаются на временные опоры. Сквозь разрывы бетонирования, разделяющие ярусы колонн, пропускается рабочая арматура ригелей, после чего посредством бетонирования на строительной площадке изготавливаются сами монолитные ригели. По формовании монолитных ригелей временные опоры плит перекрытия снимаются. Опираемость плит перекрытия на конструкции ригелей осуществляется бетонными шпонками, которые были образованы посредством затекания монолитного бетона ригелей в пустоты по торцам плит.

На период возведения каркасы многопустотные плиты, образующие собой сборно-монолитный диск перекрытия, монтируются на временные опоры. По выполнении монолитных ригелей опирание плит перекрытия на них осуществляется посредством бетонных шпонок, образованных затеканием монолитного бетона ригелей в пустоты по торцам плит. Следовательно, надёжность опорных сечений плит должна быть обусловлена высоким качеством работ при выполнении узлов «плита-ригель», которое сложно гарантированно обеспечить. Для этого на строительной площадке необходимы постоянный технический контроль и высокая культура производства.

Поперечный и продольный шаги колонн принимаются в промежутке от 2,7 до 7,2 м с шагом 0,3 м. В случае необходимости пролёт несущего ригеля может достигать 7,2 м, включая размеры, не модульные 30 см, что позволяет устраивать перекрытие ячеек сетки колонн любых размеров вплоть до 7,2 м, позволяя девиации от предусмотренной модульной сетки.

Дополнительно, в структуре имеются монолитные ригели, расположенные в двух пересекающихся направлениях – несущие и связевые. Опорный узел с колонной обильно армируется, что в значительной мере усложняет выполнение полного и качественного замоноличивания узла бетоном.

Безригельная универсальная конструктивная система сборно-монолитного строительства под названием «КУБ-2.5» включает в себя колонны и плиты перекрытия трёх видов: надколонные, межколонные и средние. В колоннах в уровне диска перекрытия выполняются разрывы бетонирования, представляющие своей формой четырёхгранные усечённые пирамиды, соединённые вершинами. В пределах данного разрыва бетонирования, который обеспечивает сопряжения колонн с панелями перекрытия посредством образования шпонок, оголена несущая арматура. В торцах панели имеют петлевые выпуски, которые обеспечивают монолитную связь смежных панелей.

Использование данной системы позволяет возводить здания, достигающие в высоту до 25 этажей. Объекты строительства, возведённые по системе «КУБ-2.5», могут иметь жилое, общественное и промышленное назначение. Несущие конструкции данной системы могут использоваться для возведения зданий, обладающих 1 степенью огнестойкости. Так же по части архитектурно-планировочных решений система позволяет выносить плиты перекрытия консольно на пролёт до полутора (1,5) метра, при этом наружный контур консольных плит может определяться достаточно гибко.

В системе «КУБ-2.5», как и в системе «АРКОС», сопряжение несущих элементов осуществляется за счёт монолитного бетона. Большая часть конструктивной надёжности каркаса приходится на качество выполнения опорного узла «плита-колонна», который является основным критерием прочности и устойчивости для несущих систем, возведённой по данной системе.

Регионально-адаптируемая индустриальная универсальная строительная система «РАДИУСС», как и вышеупомянутые, в качестве вертикальных несущих конструкций использует многоярусные железобетонные колонны заводского

изготовления. Как и в системе «АРКОС», сборно-монолитный диск перекрытия сложен многпустотными плитами перекрытия и монолитным ригелем без предварительного напряжения арматуры. В системе используется три вида сечения монолитного ригеля и соответствующие им виды колонн, таким образом, получается достаточно большое количество типоразмеров сборных несущих элементов.

Конструктивные решения, которые предлагает система «РАДИУСС», выполнены с принятием во внимание региональных особенностей материально-технической и технологических баз строительной индустрии в РФ.

Данной системой предусматривается выполнение диска перекрытия с применением плит перекрытия сплошного сечения, высотой сечения 160 мм, или многпустотных плит перекрытия, толщиной 220 мм. Зачастую при определении технологического решения по устройству диска перекрытия каркаса руководствуются условиями производства, которые характерны для избранной площадки строительства. Ячейки сетки колонн определяются размерами 3×6 м; 3,6×6 м; 3×7,2 м и 3,6×7,2 м.

Также следует отметить разработку Марийского государственного технического университета по патенту № 2357049 [21]. Данный патент в своём описании цитирует сборно-монолитный каркас «Казань XXI в.» [4–8], ссылаясь на наличие в нём ригеля, выступающего за плоскость потолка на 250–300 мм.

Как и цитируемый данной разработкой каркас, данная система представляет собой железобетонную систему с жёстко замоноличенными узлами колонна-ригель-плита. Она состоит из многоярусных колонн с разрывами бетонирования в уровне диска перекрытия; многпустотных плит перекрытия и сборно-монолитных ригелей перекрытия. Соединение колонн по высоте также производится посредством штепсельного стыка. Основным отличием является то, что ригели перекрытия имеют большую ширину, но меньшую высоту сечения, что позволяет полностью скрывать их в плоскости диска перекрытия.

Опирающие плиты перекрытия на сборную часть ригеля выполняется с помощью консольных выпусков арматуры по боковым поверхностям ригеля, которые замоноличиваются бетонными шпонками по торцам плит перекрытия.

Материалы и методы. За объект исследования принят несущий каркас по патенту № 132814 [22], разработанный на результатах анализа используемых в современной практике каркасных систем с учётом выявленных в них недо-

статков. Рассматриваемая конструктивная система предполагает использование максимального объёма сборного железобетона, монолитным предполагается выполнение лишь узлов сопряжения, в большинстве своём образующими жёсткую связь элементов. За основу несущего каркаса по патенту № 132814 [22] принят связевый каркас серии 1.020-1/87 [1], из которого неизменной осталась только колонна, а ригель и плита перекрытия претерпели существенные изменения как в опалубочной форме, так и в армировании.

Разрушающие исследования проводились с использованием штучных бетонных блоков, весом 115 кг; фундаментных блоков марки ФБС и измерительных приборов, в частности микроскопа МПБ-2 с ценой деления 0,05 мм.

Высота сечения ригеля перекрытия, в целях обеспечения плоского перекрытия с его нижней стороны, принята высотой 300 мм сложной формы поперечного сечения. Принятая высота поперечного сечения позволяет обеспечить пролёт ригеля в осях колонн до 6,6 м. Сборный ригель сечением 600×300(н) мм и длиной 6160 мм (рис. 1), выполняемый предварительно напряжённым [23], имеет подрезку в опорной части, как в серии 1.020-1/87 для опирания на консоль колонны. Высота подрезки составляет 150 мм. По боковым граням ригеля выполнены выступающие полки

Ригель имеет выступающие полки размером 100×80 мм для опирания плит перекрытия по боковым граням. Для армирования используются пространственные каркасы и предварительно напряжённые стержни класса Ат600.

Основное преимущество рассматриваемой каркасной несущей системы, относительно перечисленных ранее «Сарет», «Рекон» [2, 3], «Казань XXI в.» [4–8], конструктивных решений команд Сальникова В.Б. [9], Зырянова П.А. [10], Прыткова В.Т. [11], Лазарева И.А. [12] – возможность устройства перекрытия с плоской нижней гранью, без выступающих за нижнюю поверхность плит перекрытия балок и ригелей. Также стоит отметить низкое использование монолитного бетона – не более 2 % от общего объёма бетонирования.

Снижение несущей способности ригеля, обусловленное меньшей, по сравнению с серией 1.020-1/87, высотой поперечного сечения корректируется неразрезностью балки в опорных зонах. Неразрезные условия работы обеспечиваются посредством соединения выпусков арматуры по торцам ригеля, что дополнительно позволяет увеличить жёсткость и трещиностойкость.

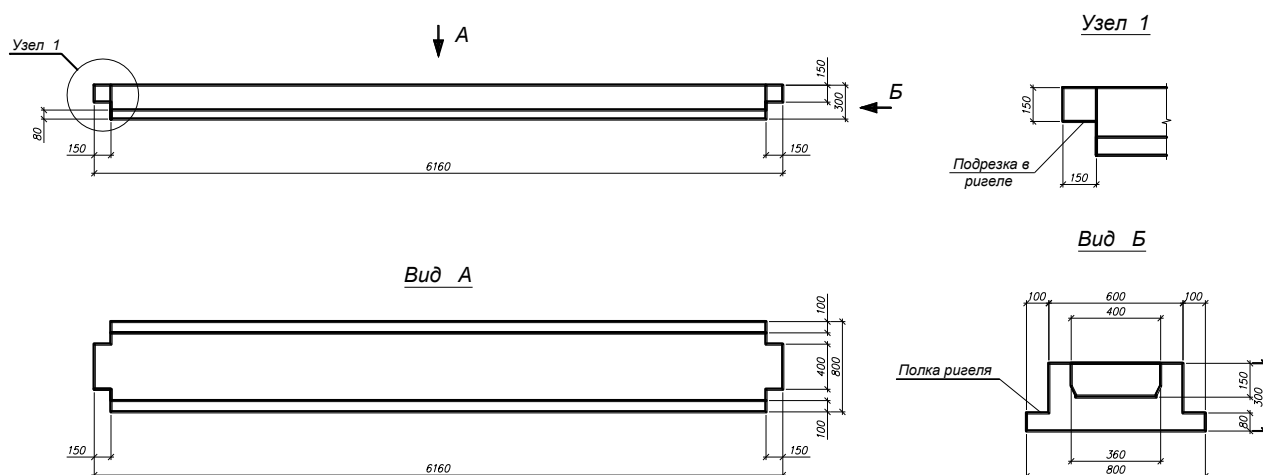


Рис. 1. Опалубочный чертеж ригеля

Многopустотные плиты перекрытия с габаритом 5980×1190×220(h) мм выполнены с подрезкой под опирание на полу ригеля размерами 100×80(h) мм по торцам (рис. 2). Выполненные плиты перекрытия обладают меньшим количеством пустот, по сравнению с типовыми по серии

1.141.1-38 [24], что позволило увеличить толщину ребра между пустотами – данное решение позволило увеличить толщину ребра между пустотами, что повлекло увеличение несущей способности и материалоемкости перекрытия.

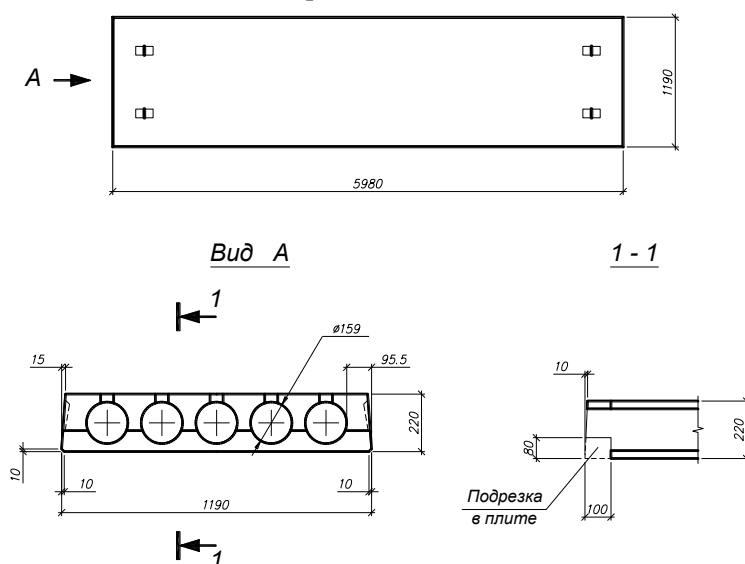


Рис. 2. Опалубочный чертеж плиты перекрытия

Сборные изделия (плиты перекрытия и ригели) по рассматриваемому каркасу были изготовлены и успешно испытаны на территории завода строительных конструкций компании «РАФФ» г. Казани Республики Татарстан.

Сам процесс испытания состоял из постепенного приложения нагрузки на испытуемый элемент конструкции посредством размещения на ней грузов – бетонных блоков. Каждое нагружение сопровождалось выдержкой 15 минут (при контрольных нагружениях по жёсткости и прочности – 30 минут), во время которой испытуемый элемент был обследован на предмет вертикальных деформаций, факта наличия и ширины рас-

крытия трещин, снятия показаний с измерительных приборов. Каждый этап нагружения превышал предыдущий на 10 % от ожидаемой разрушающей нагрузки кратно 115 кг – весу использованных бетонных блоков.

В процессе испытания замерялись вертикальные перемещения (прогибы) испытываемой плиты. Появление трещин и ширину их раскрытия фиксировали с помощью микроскопа МПБ-2 с ценой деления 0,05 мм. Во избежание получения недостоверных результатов, обусловленных неравномерностью задаваемой нагрузки, грузы размещались через деревянные прокладки по направлению от торцов плиты к середине её пролёта (рис. 3).



Рис. 3. Испытание плиты перекрытия на территории завода строительных конструкций «РАФФ», г. Казань Республики Татарстан

Схема испытания ригеля представляла собой систему, состоящую из трех ригелей (двух крайних и одного среднего) и опертых на них многопустотных плит перекрытия марки ПК42.15-8 [25]. Грузы в виде фундаментных блоков марки

ФБС укладывали на плиты перекрытия (рис. 4). Нагружение среднего ригеля происходило передачей нагрузки на его полки через плиты перекрытия. Целью испытания являлась проверка прочности ригеля.



Рис. 4. Испытание ригеля на территории завода строительных конструкций «РАФФ», г. Казань Республики Татарстан

Основная часть. По результатам проведённых испытаний были установлены вертикальные

перемещения и нагрузки, соответствующие разрушающим для круглопустотной плиты перекрытия и сборной части ригеля перекрытия.

В результате воздействия на испытываемую плиту перекрытия путём приложения контрольной по проверке жёсткости нагрузки [26], значение которой составляло 4,73 тс или 0,63 т/м², прогиб в середине плиты после выдержки составил 7,5 мм. Зафиксированная величина вертикального перемещения значительно меньше предельно допускаемой по табл. Е.1 нормативных документов [27] – она принимается равной 1/200 от пролёта перекрытия. Для исследуемого случая она составляет 30 мм. Так же в ходе приложения вышеупомянутой контрольной нагрузки зафиксированная ширина раскрытия трещин в середине пролёта плиты составила 0,05 мм, что так же является значением, значительно меньшим относительно допустимой ширины раскрытия трещины, равной 0,3 мм согласно п.п. 4.2.1.3 СП [23].

Разрушение испытываемого элемента произошло в результате приложения нагрузки равной 14,7 т (2,09 т/м² равномерно распределённой нагрузки). Разрушение имело хрупкий характер и сопровождалось раздроблением бетона сжатой зоны плиты перекрытия. Таким образом, коэффициент безопасности по приложению Б ГОСТ [26] составил 2,08.

$$C = \frac{14,7 + 2,32}{8,176} = 2,08 . \quad (1)$$

В (1):

- 14,7 т – нагрузка, приложение которой повлекло разрушение элемента перекрытия;
- 8,176 т – ожидаемая разрушающая нагрузка на испытываемый элемент, включая его собственный вес;
- 2,32 т – нагрузка от собственного веса плиты перекрытия.

В ходе испытания ригеля перекрытия удалось достигнуть величины прикладываемой нагрузки, равной 76,5 т, прежде, чем произошло разрушение ригеля, позволяющее зафиксировать разрушающую нагрузку. Как и в случае с плитой перекрытия, хрупкое разрушение произошло вследствие раздробления бетона сжатой зоны. В данном случае коэффициент безопасности по [26] составил 1,62.

$$C = \frac{76,5 + 11,11}{53,9} = 1,62 . \quad (2)$$

В (2):

- 76,5 т – нагрузка, приложение которой повлекло разрушение элемента перекрытия;
- 53,9 т – ожидаемая разрушающая нагрузка на испытываемый элемент, включая его собственный вес;
- 11,11 т – нагрузка от собственного веса ригеля и плит перекрытия,

Полученные в (1) и (2) коэффициенты безопасности превышают требуемое значение для второго случая разрушения по [26], равное 1,6. Ввиду изложенного надлежит сделать вывод, что требования, предъявляемые к конструкциям по прочности [26] выполнены в полном объёме.

Таким образом, исходя из описанных в настоящей работе положений и выводов по результатам проведённых испытаний изделий, представляющих собой конструкции сборно-монолитного диска перекрытия по [22], следует сделать вывод о соответствии испытанных изделий требованиям строительных норм [23, 26, 27] по прочности, жёсткости и трещиностойкости. Это означает, что дальнейшая разработка строительной системы с использованием сборных изделий, выполненных по аналогии с испытанными образцами, является целесообразной.

Выводы.

1. Разработаны и выполнены конструкции существующей конструктивной системы, использование которых позволяет выполнить плоское сборно-монолитное перекрытие.
2. Проведены разрушающие испытания разработанного решения, результаты которых устанавливают соответствие решений авторов патента № 2182624 требованиям ГОСТ 8829-2018 по прочности конструкций.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Серия 1.020-1/87. Конструкции каркаса межвидового применения для многоэтажных общественных зданий, производственных и вспомогательных зданий промышленных предприятий. М., 1991. 128 С.
2. Каркас здания, сооружения: пат. 2182624 // Рос. Федерация: № 2001124500/03, заявл. 05.09.2001; опубл. 20.05.2002, Бюл. № 14.
3. Шембаков В.А. Инновационные технологии в домостроении, освоенные ГК «РЕКОН-СМК» за 20 лет работы на рынке РФ и СНГ // Жилищное строительство. 2018. № 3. С. 36–39.
4. Сборно-монолитный железобетонный каркас Казань XXI век: пат. 2281362 // Рос. Федерация: № 2004139244/03, заявл. 27.12.2004; опубл. 10.08.2006, Бюл. № 22.
5. Узел сопряжения сборных стеновых панелей с монолитным перекрытием: пат. 85511 // Рос. Федерация: № 2009100824/22, заявл. 11.01.2009; опубл. 10.08.2009, Бюл. № 22.
6. Сборная диафрагма жёсткости: пат. 126721 // Рос. Федерация: № 2012111659/03, заявл. 26.03.2012; опубл. 10.04.2013, Бюл. № 10.
7. Железобетонный ригель сборно-монолитного перекрытия: пат. 126722 // Рос.

Федерация: № 2012111655/03, заявл. 26.03.2012; опубл. 10.04.2013, Бюл. № 10.

8. Железобетонная колонна Г-образного поперечного сечения: пат. 126723 // Рос. Федерация: № 2012111651/03, заявл. 26.03.2012; опубл. 10.04.2013, Бюл. № 10.

9. Сборно-монолитное перекрытие: пат. 178522 // Рос. Федерация: № 2 017130131, заявл. 25.08.2017; опубл. 06.04.2018, Бюл. № 10.

10. Способ выполнения стыковых узлов "колонна-ригели-колонна": пат. 2471931 // Рос. Федерация: № 2011125854/03, заявл. 22.06.2011; опубл. 10.01.2013 Бюл. №1.

11. Многоэтажное здание каркасно-стеновой конструктивной системы из сборно-монолитного железобетона: пат. 2441965 // Рос. Федерация: № 2010125496/03, заявл. 21.06.2010; опубл. 10.02.2012, Бюл. № 4.

12. Сборно-монолитный железобетонный каркас здания, сооружения: пат. 2519082 // Рос. Федерация: № 2012122947/03, заявл. 04.06.2012; опубл. 10.12.2013, Бюл. № 34.

13. Мордич А.И. Каркас домостроительной системы «АРКОС» // Научно-технический и производственный журнал «Бетон и железобетон». 2013 г. № 2. С. 27–31.

14. Каркас многоэтажного здания: пат. 2118430 // Рос. Федерация: № 96111542/03, заявл. 05.06.1996; опубл. 27.08.1998.

15. Конструктивная система многоэтажного здания и способ его возведения (варианты): пат. 2197578 // Рос. Федерация: № 2000133028/03, заявл. 28.12.2000; опубл. 27.01.2003, Бюл. № 3.

16. Каркас многоэтажного здания: пат. 2233952 // Рос. Федерация: № 2002131052/03, заявл. 18.11.2002; опубл. 10.08.2004, Бюл. № 22.

17. Гуроев Е.П. Анализ и предложения по конструктивной надёжности и безопасности сборно-монолитных перекрытий в каркасе серии Б1.020.1-7 (в системе «АРКОС-1»). // Научно-технический и производственный журнал «Бетон и железобетон». 2012 г. № 5. С. 6–10.

18. Безригельный бескапитальный железобетонный каркас здания: пат. 2247812 // Рос. Федерация. № 2001108701/03; заявл. 03.04.2001; опубл. 10.03.2005, Бюл. №7.

19. Семченков А.С. Испытание натурального фрагмента каркаса РАДИУСС НПУ с плитами сплошного сечения // Научно-технический и производственный журнал «Бетон и железобетон». 2009 г. № 1. С. 2–5.

20. Соколов Б.С., Никитин Г.П., Седов А.Н. Проектирование железобетонных и каменных конструкций здания с неполным каркасом и сборно-монолитными перекрытиями // Казань: КГАСУ, 2007 г. 116 с.

21. Железобетонный каркас здания со сборно-монолитным скрытым ригелем: пат. 2357049 // Рос. Федерация: № 2007145275/03, заявл. 05.12.2007; опубл. 27.05.2009, Бюл. № 15.

22. Сборный железобетонный каркас: пат. 132814 // Рос. Федерация: № 2013107055/03, заявл. 18.02.2013; опубл. 27.09.2013, Бюл. № 27.

23. СП 52-102-2004. Предварительно напряженные железобетонные конструкции // М., 2004. 30 с. (Система нормативных документов в строительстве)

24. Серия 1.141.1-38 Выпуск 1. Предварительно напряжённые плиты с круглыми пустотами длиной 6280, 5980, 5380, 5080 и 4780, шириной 1790, 1490, 1190 и 990 мм, армированные стержнями из термически упрочненной стали класса Ат-V. Метод натяжения электротермический. Технические условия и рабочие чертежи. М., 1988. 52 с.

25. Серия 1.141-1 Выпуск 1. Предварительно напряжённые панели с круглыми пустотами длиной 4180, 3580 и 2980 мм, шириной 1790, 1490 и 1190 мм, армированные стержнями из термически упрочнённой стали класса Ат-v. Метод натяжений электротермический. Рабочие чертежи. М., 1984. 8 с.

26. ГОСТ 8829-2018. Изделия строительные железобетонные и бетонные заводского изготовления. Методы испытаний нагружением. Правила оценки прочности, жесткости и трещиностойкости. М., 2019. 20 с.

27. СП 20.1330.2016. Нагрузки и воздействия. М., 2016, 99 с. (Система нормативных документов в строительстве)

Информация об авторах

Муртазин Ринат Шамилевич, аспирант кафедры «Энергообеспечение предприятий, строительство зданий и сооружений». E-mail: murtrinat@gmail.com. Казанский государственный энергетический университет. Россия, 420066, респ. Татарстан, г. Казань, ул. Красносельская, д. 51.

Мухамадеев Камиль Тальгатович, аспирант кафедры «Энергообеспечение предприятий, строительство зданий и сооружений». Казанский государственный энергетический университет. Россия, 420066, респ. Татарстан, г. Казань, ул. Красносельская, д. 51.

Сабитов Линар Салихзанович, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Технологии и организация строительного производства». Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет. Россия, 129337, г. Москва, Ярославское ш., д. 26.

Поступила 07.05.2024 г.

© Муртазин Р.Ш., Мухамадеев К.Т., Сабитов Л.С., 2024

^{1,*}*Murtazin R.Sh.*, ¹*Mukhamadeev K.T.*, ²*Sabitov L.S.*

¹*Kazan State Power Engineering University*

²*Moscow State University of Civil Engineering*

*E-mail: murtrinat@gmail.com

RESEARCH ON PRECAST REINFORCED CONCRETE FRAME SYSTEMS WITH FLAT CEILING

Abstract. *The paper gives a brief review of existing load-bearing frame systems with a flat bottom edge of the slab, performed using prefabricated reinforced concrete products. The basic provisions and results of field testing of floor elements of the prefabricated reinforced concrete load-bearing frame, which is not widely spread in the Russian Federation, according to patent No. 132814 «Prefabricated Reinforced Concrete Frame» are also described.*

Research on the existing load-bearing systems with flat bottom edge of the slab was carried out by studying the patent documentation available in the All-Russian Patent and Technical Library; information posted by the authors in open sources, scientific articles by the authors of the load-bearing systems. In-situ tests of the slab elements of the framework according to the patent No. 132814 «Prefabricated reinforced concrete framework» were performed by means of empirical experiment with loading of prefabricated elements according to the considered system of prefabricated-monolithic reinforced concrete construction. During the tests, the vertical displacements of the elements, the appearance and width of their crack opening were measured, and the destructive load was recorded. The safety factor according to GOST 8829-2018 for the tested slab elements was calculated based on the recorded destructive load.

The values of destructive load of the slab structures obtained in the test results confirm the reliability of the adopted solutions, which substantiates the expediency of their further development. The safety coefficients of transoms and floor slabs obtained according to GOST 8829-2018 satisfy the strength requirements for building structures.

Keywords: *prefabricated reinforced concrete, civil engineering, flat slab, prefabricated monolithic frame, load-bearing frame*

REFERENCES

1. Series 1.020-1/87. Frame structures of interspecies application for multi-storey public buildings, production and auxiliary buildings of industrial enterprises. [Seriya 1.020-1/87. Konstrukcii karkasa mezhvidovogo primeneniya dlya mnogoetazhnykh obshchestvennykh zdaniy, proizvodstvennykh i vspomogatel'nykh zdaniy promyshlennykh predpriyatij]. M., 1991. 128 p. (rus)
2. Frame of a building, construction: patent 2182624 Rus. Federation: No. 2001124500/03, applied 05.09.2001; published 20.05.2002, Bul. No. 14. (rus)
3. Shembakov V.A. Innovative technologies in house building, mastered by SC «RECON-SMK» for 20 years of work in the market of the Russian Federation and CIS [Innovacionnye tekhnologii v domostroenii, osvoennye GK «REKON-SMK» za 20 let raboty na rynke RF i SNG] Housing Construction. 2018. No. 3. Pp. 36–39. (rus)
4. Prefabricated monolithic reinforced concrete frame Kazan XXI century: patent 2281362 Rus. Federation: No. 2004139244/03, applied 27.12.2004; published 10.08.2006 Bul. No. 22. (rus)
5. Interface unit of the prefabricated wall panels with a monolithic floor: patent 85511 Rus. Federation: No. 2009100824/22, applied 11.01.2009; published 10.08.2009, Bul. No. 22. (rus)
6. Prefabricated stiffening diaphragm: patent 126721 Rus. Federation: No. 2012111659/03, applied 26.03.2012; published 10.04.2013, Bul. No. 10. (rus)
7. Reinforced concrete transom of a prefabricated monolithic slab: patent 126722 Rus. Federation: No. 2012111655/03, applied 26.03.2012; published 10.04.2013, Bul. No. 10. (rus)
8. Reinforced concrete column of L-shaped cross-section: patent 126723 Rus. Federation: No. 2012111651/03, applied 26.03.2012; published 10.04.2013, Bul. No. 10. (rus)

9. Prefabricated monolithic slab: patent 178522 Rus. Federation: No. 2017130131, applied 25.08.2017; published 06.04.2018, Bul. No. 10. (rus)
10. Method of execution of joint assemblies «column-column-rigel-column»: patent 2471931 Rus. Federation: No. 2011125854/03, applied 22.06.2011; published 10.01.2013, Bul. No. 1. (rus)
11. Multi-storey building of frame-wall structural system made of prefabricated monolithic reinforced concrete: patent 2441965 Rus. Federation: No. 2010125496/03, applied 21.06.2010; published 10.02.2012, Bul. No. 4. (rus)
12. Prefabricated monolithic reinforced concrete frame of a building, structure: patent 2519082 Rus. Federation: No. 2012122947/03, applied 04.06.2012; published 10.12.2013, Bul. No. 34. (rus)
13. Mordich A.I. Frame of the house-building system «ARKOS» [Karkas domostroitel'noy sistemy «ARKOS»] Scientific-technical and production journal «Concrete and Reinforced Concrete». 2013. No. 2. P. 27–31. (rus)
14. Frame of a multi-storey building: patent 2118430 Rus. Federation: No. 96111542/03, applied 05.06.1996; published 27.08.1998.
15. Structural system of a multistory building and a method of its erection (variants): patent 2197578 Rus. Federation: No. 2000133028/03, applied 28.12.2000; published 27.01.2003, Bul. No. 3. (rus)
16. Frame of a multistory building: patent 2233952 Rus. Federation: No. 2002131052/03, applied 18.11.2002; published 10.08.2004, Bul. No. 22. (rus)
17. Guroev E.P. Analysis and Proposals on Constructive Reliability and Safety of Prefabricated Monolithic Slabs in the Frame of Series B1.020.1-7 (in the ARCOS-1 System). [Analiz i predlozheniya po konstruktivnoy nadyozhnosti i bezopasnosti sborno-monolitnykh perekrytiy v karkase serii B1.020.1-7 (v sisteme «ARKOS-1»)] Scientific-technical and production journal «Concrete and Reinforced Concrete». 2012. No. 5. Pp. 6–10. (rus)
18. Beamless roofless reinforced concrete frame of a building: patent 2247812 Rus. Federation. No. 2001108701/03; applied 03.04.2001; published 10.03.2005, Bul. No. 7. (rus)
19. Semchenkov A.S. Testing of the full-scale fragment of the Radiuss frame of the NPU with the plates of the continuous section. [Ispytanie naturnogo fragmenta karkasa RADIUSS NPU s plitami sploshnogo secheniya] Scientific-technical and production journal «Concrete and Reinforced Concrete». 2009. No. 1. Pp. 2–5. (rus)
20. Sokolov B.S.; Nikitin G.P.; Sedov A.N. Designing of reinforced concrete and stone structures of a building with an incomplete frame and prefabricated monolithic slabs. [Proektirovanie zhelezobetonnykh i kamennykh konstrukciy zdaniya s nepolnym karkasom i sborno-monolitnym perekrytiyami] Kazan: KGASU, 2007 - 116 p. (rus)
21. Reinforced concrete building frame with a prefabricated monolithic hidden transom: patent 2357049 Rus. Federation: No. 2007145275/03, applied 05.12.2007; published 27.05.2009, Bul. No. 15. (rus)
22. Prefabricated reinforced concrete frame: patent 132814 Rus. Federation: No. 2013107055/03, applied 18.02.2013; published 27.09.2013, Bul. No. 27. (rus)
23. SP 52-102-2004. Prestressed reinforced concrete structures. [SP 52-102-2004. Predvaritel'no napryazhennyye zhelezobetonnyye konstrukcii] M., 2004. 30 p. (rus)
24. Series 1.141.1-38 Issue 1. Prestressed slabs with round cavities of 6280, 5980, 5380, 5080 and 4780 length, 1790, 1490, 1190 and 990 mm width, reinforced with bars of heat-strengthened steel of At-V class. Electrothermal tensioning method. Specifications and working drawings. [Seriya 1.141-1 Vypusk 1. Predvaritel'no napryazhennyye paneli s kruglymi pustotami dlinoy 4180, 3580 i 2980 mm, shirinoy 1790, 1490 i 1190 mm, armirovannyye sterzhnyami iz termicheskoy uprochnennoy stali klassa At-V. Metod natyazheniya elektrotermicheskoy. Rabochie chertezhi.] M., 1988. 52 p. (rus)
25. Series 1.141-1 Issue 1. Prestressed panels with circular voids with length 4180, 3580 and 2980 mm, width 1790, 1490 and 1190 mm, reinforced with bars of heat-hardened steel of At-v class. The method of tensioning is electro-thermal. Working drawings. [Seriya 1.141-1 Vypusk 1. Predvaritel'no napryazhennyye paneli s kruglymi pustotami dlinoy 4180, 3580 i 2980 mm, shirinoy 1790, 1490 i 1190 mm, armirovannyye sterzhnyami iz termicheskoy uprochnennoy stali klassa At-V. Metod natyazheniya elektrotermicheskoy. Rabochie chertezhi.] M., 1984. 8 p. (rus)
26. GOST 8829-2018. Factory-made reinforced concrete and concrete building products. Methods of loading tests. Rules for assessing strength, stiffness and crack resistance. [GOST 8829-2018. Izdeliya stroitel'nye zhelezobetonnyye i betonnyye zavodskogo izgotovleniya. Metody ispytaniy nagruzheniem. Pravila ocenki prochnosti, zhyostkosti i treschinostoykosti]. M., 2019. 20 p. (rus)
27. SP 20.1330.2016. Loads and impacts. [SP 20.1330.2016. Nagruzki i vozdeystviya]. M. 2016, 99 p. (rus)

Information about the authors

Murtazin, Rinat Sh. Postgraduate student. E-mail: murtrinat@gmail.com. Kazan State Power Engineering University postgraduate. Russian Federation, 420066, Kazan, Krasnoselskaya st., 51.

Mukhamadeev, Kamil T. Postgraduate student. Kazan State Power Engineering University postgraduate. Russian Federation, 420066, Kazan, Krasnoselskaya st., 51.

Sabitov, Linar S. DSc, Professor. Russian Federation, 129337, Moscow, Yaroslavskoe rd, 26.

Received 07.05.2024

Для цитирования:

Муртазин Р.Ш., Мухамадеев К.Т., Сабитов Л.С. Исследования сборных железобетонных несущих систем с плоским перекрытием // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2024. № 1. С. 128–137. DOI: 10.34031/2071-7318-2024-10-1-128-137

For citation:

Murtazin R.Sh., Mukhamadeev K.T., Sabitov L.S. research on precast reinforced concrete frame systems with flat ceiling. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2025. No. 1. Pp. 128–148. DOI: 10.34031/2071-7318-2024-10-1-128-137

ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ

DOI: 10.34031/2071-7318-2024-10-1-138-146

Харламов В.А., Лопанов А.Н., Дементьев К.В., Сысоев П.И.Белгородский государственный университет им. В.Г. Шухова***E-mail: wladimir.harlamov@mail.ru*

ГИДРОФОБНЫЕ СВОЙСТВА ЦЕМЕНТНОГО КАМНЯ С ДОБАВКАМИ ОТХОДОВ ЭКСТРАКЦИИ ЛЕЦИТИНА

Аннотация. В ходе данной работы были исследованы характеристики водопоглощения, краевого угла смачивания, свободной энергии поверхности образцов цементного камня из тампонажного цемента и ЦЕМ А/II – Ш 42,5 Н с добавлением присадок на основе отходов экстракции лецитина. Также были проверены прочностные характеристики цементного камня с добавлением присадок на основе отходов экстракции лецитина. Установлено, что добавка 0,5% технического лецитина в тампонажный цемент уменьшает водопоглощение до 4,5%. Выявлено, что добавка соевого лецитина в количестве 0,1% снижает водопоглощение цементного камня на основе тампонажного цемента до 6,35%. Оксалатно-жировой осадок при добавлении в цементный камень на основе тампонажного цемента по мере увеличения концентрации равномерно снижает водопоглощение вплоть до 8,15% при концентрации добавки 0,5%. Наилучшие результаты по снижению водопоглощения у цементного камня на основе ЦЕМ А/II – Ш 42,5 Н наблюдаются у оксалатно-жирового осадка в концентрации 0,5% и достигают значений 2,81%. В случае остальных добавок водопоглощение изменяется незначительно. Измерены краевые углы смачивания у образцов и рассчитаны свободные энергии поверхностей. Измерены прочностные характеристики образцов цементного камня на основе ЦЕМ А/II – Ш 42,5 Н с добавлением присадок на основе отходов экстракции лецитина.

Ключевые слова. Цемент, добавки, лецитин, отходы, цементный камень, бетон, водопоглощение, краевой угол смачивания, свободная энергия поверхности.

Введение. Бетон является основным строительным материалом, который широко используется по всему миру благодаря своей прочности, долговечности и экономичности. Однако, несмотря на эти преимущества, бетон подвержен различным разрушительным процессам, таким как коррозия, увлажнение, с последующей заморозкой и разморозкой, водная эрозия, которые могут значительно снизить его эксплуатационные характеристики и срок службы. Являясь довольно гидрофильным материалом, бетон способен к взаимодействию с водой, которая оказывает на него разрушающее воздействие. Известно, что большинство бетонов имеет пористую капиллярную структуру, которая и способствует гидрофильности данного материала. Износ происходит посредством заполнения водой микропор, которые, в свою очередь, расширяются за счёт замерзания воды, что ведёт к ещё большему их заполнению, и, соответственно, расширению, которое, в конце концов, приводит к уменьшению прочности и разрушению бетона. Таким образом, уменьшение количества воды в порах бетона гарантирует его долговечность.

Уменьшение водопоглощения наиболее важно для подземных бетонных конструкций таких как: подвалы, погреба, фундаменты, скважины и т.д. Поэтому для исследования были выбраны тампонажный цемент и цемент марки ЦЕМ А/II – Ш 42,5 Н. Так как цементы марок 42,5

Н, часто используют в гражданском строительстве, а тампонажный – для заполнения скважин.

Для повышения долговечности, уменьшения водопоглощения и общей гидрофобилизации бетона исследователи активно разрабатывают и внедряют различные добавки, которые улучшают его свойства [1–5]. Такие добавки способны изменять характеристики бетона таким образом, чтобы придать поверхности или внутренней структуре композита водоотталкивающие свойства. Наиболее распространёнными добавками для повышения водоотталкивающих свойств служат жирные кислоты, которые в большом количестве содержатся в лецитине и продуктах его переработки, а также их соли, такие как стераты и олеаты щелочных и щелочноземельных металлов, более известных как мыла. Добавление органических добавок на основе отходов – популярная тема у отечественных исследователей [6]. Так, большое количество работ посвящено исследованию и внедрению добавок на основе отходов древоперерабатывающей промышленности [7–10]. Близкие по химическому составу лецитинам соапстоки растительных масел были исследованы в качестве гидрофобилизирующей добавки в работах [11–13]. И исследования продолжаются.

Лецитин – это группа фосфолипидов, естественных компонентов клеточных мембран, широко распространенных в природе. Он, главным

образом, добывается из соевых бобов и используется в различных отраслях промышленности, включая пищевую, фармацевтическую и косметическую. Лецитин известен своими гидрофобными и эмульгирующими свойствами [14,15], которые потенциально могут благоприятно сказаться на фазовом составе бетона в процессе его твердения. Благодаря своим уникальным химическим свойствам, лецитин является важной функциональной добавкой, которая может быть также полезна в строительной отрасли.

Перспективным типом добавок являются отходы экстракции лецитина. Лецитины, получаемые в процессе переработки растительных масел, обладают уникальными свойствами, которые могут улучшить характеристики бетона. В частности, за счёт наличия в составе липидов и жирных кислот они могут повысить водоотталкивающие свойства бетона, снизить его водопроницаемость, а наличие фосфолипидов может повлиять на прочностные показатели.

Исследования в этой статье сосредоточены на влиянии добавок, полученных при переработке лецитина и его отходов, на гидрофобные свойства образцов цементного камня на основе тампонажного лецитина и ЦЕМ А/П – Ш 42,5 Н. Рассмотрены три типа добавок: на основе чистого лецитина, на основе технического лецитина и на основе оксалатно-жирового осадка. Каждая из этих добавок обладает уникальными свойствами, которые могут по-разному влиять на структуру и прочность цементного материала.

Целью данной работы является исследование гидрофобных свойств цементного камня, полученного с добавлением оригинальных добавок на основе отходов экстракции лецитина. Исследование влияния этих добавок на степень водопоглощения, изменения угла смачивания и прочностные характеристики цементного камня имеет важное значение как для практического

применения в строительстве, так и для научного сообщества. Полученные результаты могут пролить свет на новые перспективы в области улучшения цементных материалов и способствовать решению экологических проблем, связанных с утилизацией отходов, полученных, например, в результате промышленного производства фармацевтических веществ из лецитина.

Материалы и методы. Для приготовления образцов использовались бездобавочный тампонажный цемент и ЦЕМ А/П – Ш42,5 Н. Объектами исследования служили образцы цементного камня. Для приготовления цементного камня кубической формы 20х20х20 мм использовался цементный раствор с водоцементным соотношением В/Ц = 0,33, изготовленный из растворов нормальной густоты, на основе бездобавочного тампонажного и ЦЕМ А/П – Ш 42,5 Н цементов. Условия твердения – температура (20±2) °С и относительная влажность воздуха 50–70%. Перед проведением испытаний образцы выдерживали в течение 28 суток для отверждения в нормальных условиях.

В качестве добавки использовали оригинальные составы, полученные из отходов экстракции лецитина и самого соевого лецитина, в частности. Добавки предварительно размешивали с водой, необходимой для получения цементного раствора, нагревая смесь до 40 °С и получая при этом устойчивую эмульсию, после чего смесь охлаждали до комнатной температуры. В работе использовали три вида добавок: 1. Соевый или исходный лецитин; 2. Технический или обеднённый лецитин; 3. Оксалатно-жировой осадок. Последние два вещества являются отходами.

В данной работе использовался лецитин, полученный традиционным образом, с характеристиками, соответствующими ГОСТ 32052-2013 (табл.1).

Таблица 1

Результаты испытаний лецитина и технического лецитина

Показатель	Единица измерения	Данные испытаний лецитина
Массовая доля веществ, нерастворимых в толуоле	%	0,05
Массовая доля веществ, нерастворимых в ацетоне	%	62,7
Массовая доля летучих веществ	%	0,08
Кислотное число	мг КОН/г	20,3
Перекисное число	Ммоль/кг ½ О	0,1

В процессе промышленной экстракции соевого лецитина, отработанный слой реагента отделяют от органического растворителя, далее этот слой исчерпывающе упаривают от остатков растворителя, таким образом получая технический лецитин. Этот отход представляет собой густую темно-коричневую подвижную массу, не растворимую в ацетоне. Оксалатно-жировой осадок образуется при дальнейшей переработке экстракта и представляет собой, после

упаривания растворителя, коричневый осадок с высоким содержанием жирных кислот и оксалата натрия.

Прочностные характеристики образцов были исследованы на электронном прессе «РЭМ-100-А-1-1», страна изготовления – Россия. Водопоглощение оценивалось по методике ГОСТ 12730.3-2020 путём погружения образцов в воду с последующим измерением массы насыщенного водой образца раз в сутки,

в течение недели. Угол краевого смачивания определяли на приборе «KRUSS Easy Drop DSA 30E» на воде и йодметане с последующим вычислением свободной энергии поверхности материала по методу ОВРК (метод Оунса, Вендта, Рабеля и Кьельбле). Методика расчета представлена в работе [16].

Основная часть. Известно, что лецитин обладает амфифильными свойствами, что означает, что его молекулы содержат как гидрофильные (водорастворимые), так и гидрофобные (жирорастворимые) участки. Это делает его идеальным эмульгатором, способным стабилизировать смеси воды и жира, что широко используется в пищевой промышленности, косметике и фармацевтике. Учитывая, что в лецитине и в отходах его промышленной экстракции содержится большое количество жирных кислот, известных своей гидрофобностью, можно предположить, что добавление лецитина в бетонные смеси будет оказывать многогранное воздействие на их свойства. Фосфолипиды лецитина могут способствовать изменению микроструктуры цементного камня, улучшая сцепление между цементными частицами и водой, что приводит к повышению прочности и долговечности бетона. Гидрофобные свойства входящих в состав жирных кислот лецитина будут способствовать уменьшению водопоглощения и повышению водостойкости бетона, что особенно важно для конструкций, подверженных воздействию влаги.

Снижение водопоглощения оказывает положительное влияние на долговечность бетона. Уменьшение количества воды, способной проникать в материал, препятствует развитию коррозионных процессов в цементном камне и повышает устойчивость к морозному пучению. Это особенно важно для конструкций, подвергающихся воздействию агрессивных внешних условий, таких как мосты, фундаменты и подвалы.

Механизм воздействия лецитина на водопоглощение бетона можно объяснить его способностью стабилизировать водно-цементную смесь, изменяя растворимость клинкерных минералов и связывая продукты гидратации, такие как гидроксид кальция. Это способствует образованию и росту более плотных и устойчивых кристаллических структур, что снижает общую пористость материала.

В первую очередь было исследовано водопоглощение образцов цементного камня из тампонажного цемента и ЦЕМ А/II – Ш 42,5 Н, а также образцов с разным содержанием добавок на основе отходов экстракции лецитина и самого соевого лецитина, для сравнения. Полученные результаты представлены на рисунках 1 и 2.

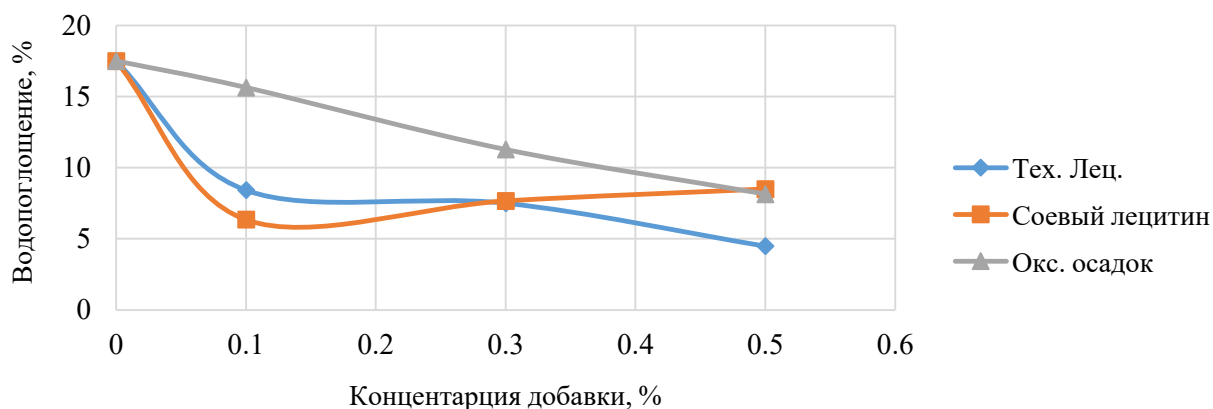


Рис. 1. Зависимость водопоглощения цементного камня на основе тампонажного цемента с различным содержанием добавок

Из представленных данных видно, что на тампонажный цемент все добавки оказывают положительное влияние, снижая степень водопоглощения с увеличением концентрации добавки. Особенно следует выделить добавку на основе технического лецитина, благодаря которому водопоглощение композиции снизилось на 9 % — с 17,47 % до 8,42 %, также при увеличении содержания данной добавки водопоглощение продолжает снижаться, вплоть до 4,5 %, при содержании добавки 0,5 %. Соевый лецитин даёт наилучшие показатели водопоглощения при добавлении 0,1

% от массы, составляя 6,35 %. Однако, с увеличением концентрации добавки водопоглощение повышается. Вероятно, это связано с тем, что в отличие от технического лецитина, исходный соевый лецитин не лишён фосфолипидов, которые, в свою очередь, являются гидрофильными соединениями и вполне могут удерживать воду. Оксидно-жировой осадок равномерно снижает водопоглощение с увеличением содержания добавки, однако только при максимальной концентрации достигает значений прошлых двух добавок, равных 8,15 %.

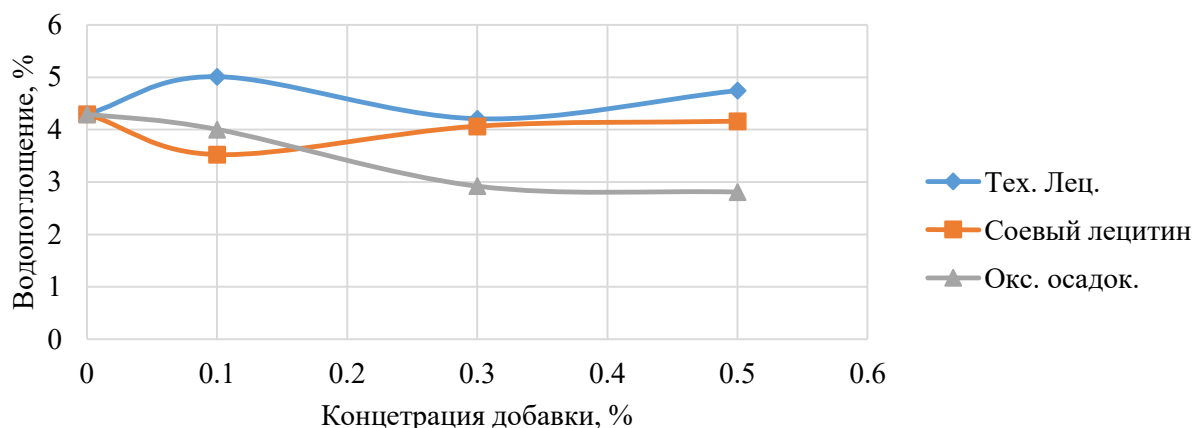


Рис. 2. Зависимость водопоглощения цементного камня на основе ЦЕМ А/II – Ш 42,5 Н с различным содержанием добавок

Данные, представленные на рисунке 2, ясно указывают на то, что в случае ЦЕМ А/II – Ш 42,5 Н наиболее сильное влияние оказывает добавка оксалатно-жирового осадка в концентрации 0,5%, снижая водопоглощение композиции на 1,5%. Добавки технического и соевого лецитинов, оказывают незначительное влияние на цементный камень, полученный на основе ЦЕМ А/II – Ш 42,5 Н.

Также одним из методов оценки гидрофобных свойств бетона является определение краевого угла смачивания поверхности и дальнейший расчёт СЭП (свободной энергии поверхности). В данной работе были исследованы поверхности образцов тампонажного цемента и ЦЕМ А/II – Ш 42,5 Н с добавками технического лецитина, соевого лецитина и оксалатно-жирового осадка в концентрации 0,1% так как данная концентрация добавок способствует образованию цементного камня с наиболее перспективными характеристиками водопоглощения и прочности. Результаты представлены в таблицах 2 и 3.

Таблица 2

Краевой угол смачивания и свободная энергия поверхности образцов из тампонажного цемента

Название	КУС, °	СЭП, Дж/м ²
Контрольный образец	59,6	50,97
0,1% Технического лецитина	47,79	56,97
0,1% Соевого лецитина	56,37	47,62
0,1% Оксалатно-жирового осадка	42,08	62,52

Из полученных данных видно, что влияние добавок из отходов промышленной экстракции лецитина не претерпевает существенных улучшений и, даже наоборот, краевой угол смачивания образцов становится ниже, чем у стандартных образцов. Что может значить, что поверхность становится более гидрофильной. В купе с

данными о водопоглощении, можно предположить, что композиции с добавками на основе отходов экстракции лецитина претерпевают изменения внутри композиции, изменяя капиллярно-пористую структуру самого материала и не затрагивая или незначительно влияя на его поверхность, что также подтверждают измерения свободной энергии поверхности, рассчитанные по методу ОВРК.

Таблица 3

Краевой угол смачивания и свободная энергия поверхности образцов из ЦЕМ А/II – Ш 42,5 Н

Название	КУС, °	СЭП, Дж/м ²
Контрольный образец	49,98	57,15
0,1% Технического лецитина	34,12	62,49
0,1% Соевого лецитина	29,21	69,37
0,1% Оксалатно-жирового осадка	42,02	62,97

Для более полной картины влияния добавок из отходов промышленной экстракции лецитина на цементный камень, полученный на основе ЦЕМ А/II – Ш 42,5 Н, необходимо было узнать и влияние данных добавок на прочностные характеристики образцов. Исследование прочности образцов тампонажного цемента проводили в работе [17]. Полученные значения представлены на рисунках 3 и 4.

Как видно из представленных данных добавление в композицию на основе ЦЕМ А/II – Ш 42,5 Н даже 0,1% технического и соевого лецитинов снижает набор прочности на 33%, в случае оксалатно-жирового осадка набор прочности изменяется незначительно. Однако при дальнейшем увеличении концентрации прочность также снижается.

В случае тампонажного цемента набор прочности увеличивается при добавлении 0,1% технического или соевого лецитина и уменьшается при

увеличении концентрации этих добавок. Оксалатно-жировой осадок снижает набор прочности при низких концентрациях добавки, а при

0,5 % – изменяет его незначительно относительно стандартного образца на основе тампонажного цемента.

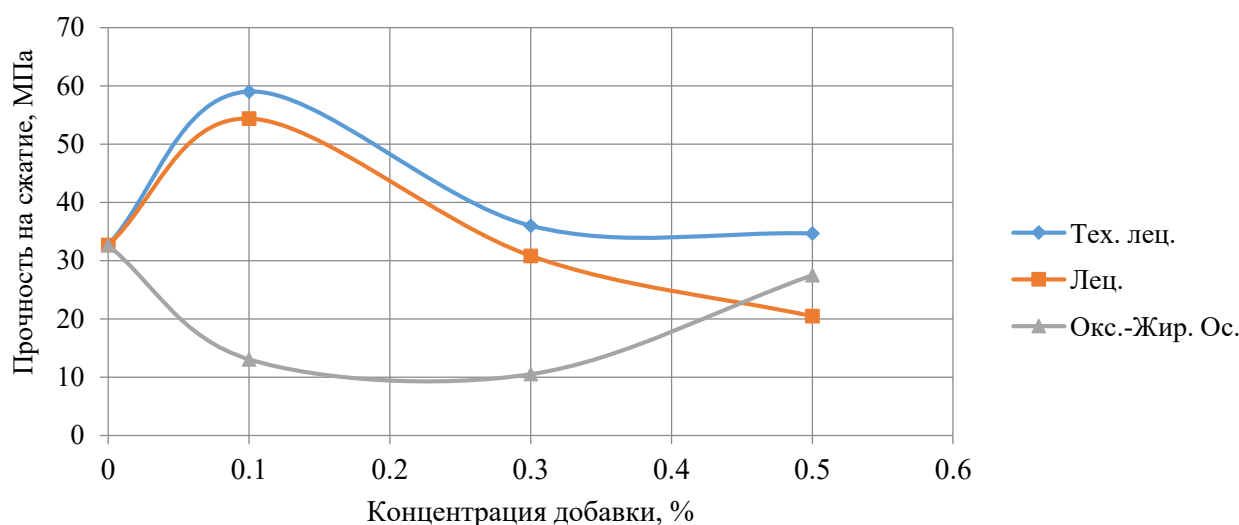


Рис. 3. Зависимость прочности цементного камня из тампонажного цемента от концентрации добавки

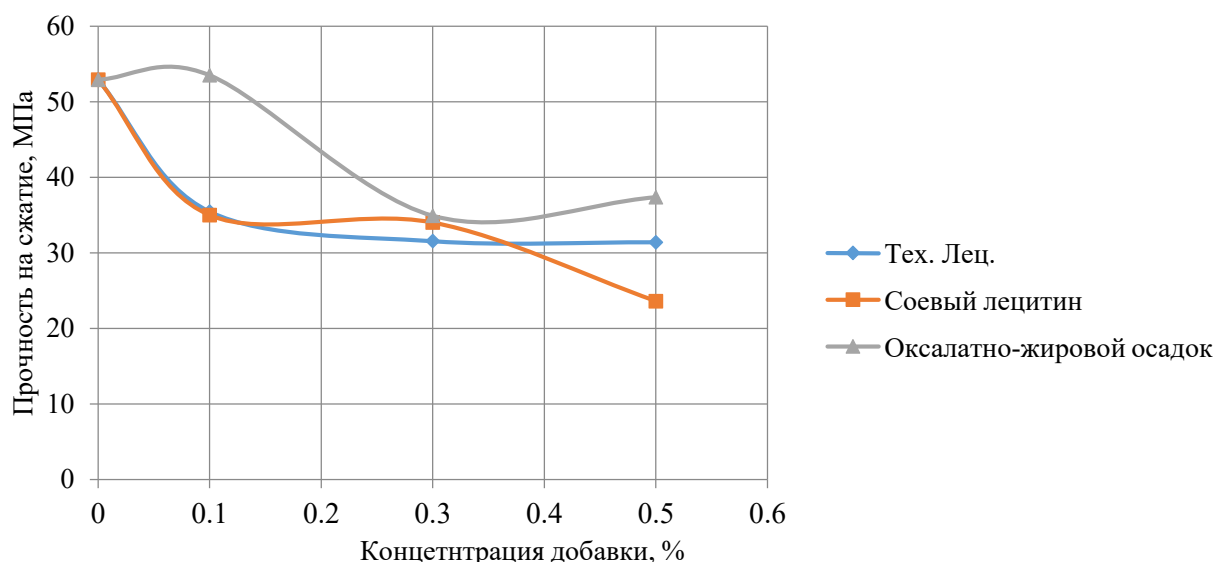


Рис. 4. Зависимость прочности цементного камня из ЦЕМ А/II – III 42,5 Н от концентрации добавки

Анализируя полученные данные, можно предположить, что добавки на основе отходов экстракции лецитина положительно влияют на прочностные характеристики и водопоглощение цементного камня из тампонажного цемента, однако не оказывают положительного воздействия на прочностные характеристики цементного камня из ЦЕМ А/II – III 42,5 Н.

Выводы. На основе проведенных исследований можно сделать выводы о том, что лецитин и его производные оказывают значительное влияние на снижение водопоглощения цементного камня, особенно, в случае тампонажного цемента. Технический лецитин продемонстрировал наибольший эффект, снижая водопоглощение на

9% при концентрации 0,5%. Соевый лецитин также показывает хорошие результаты при низкой концентрации, но при её увеличении водопоглощение начинает увеличиваться. Оксалатно-жировой осадок равномерно снижает водопоглощение, хотя и уступает другим добавкам по эффективности.

Исследования показали, что добавки на основе отходов промышленной экстракции лецитина не приводят к значительным улучшениям краевого угла смачивания и свободной энергии поверхности, а в некоторых случаях даже снижают эти показатели, что может указывать на повышение гидрофильности поверхности. Это

предполагает, что добавки изменяют микроструктуру материала, незначительно влияя на его поверхность.

Добавление 0,1% технического и соевого лецитинов приводит к снижению прочности цементного камня на 33%, в то время как оксалатно-жировой осадок оказывает менее выраженное влияние. Увеличение концентрации добавок приводит к дальнейшему снижению прочностных характеристик.

Таким образом, добавки на основе отходов экстракции лецитина способны значительно улучшить водоотталкивающие свойства цементного камня, но при этом могут негативно сказаться на его прочностных характеристиках. Это указывает на необходимость дальнейших исследований по оптимизации состава добавок и поиска баланса между гидрофобизацией и сохранением прочностных свойств бетона.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Барановская Е.И., Мечай А.А., Довжик Н.С., Колпашиков В.Л. Исследование влияния органических добавок на основе поликарбоксилатного лигнина на реологические свойства ячеистобетонных смесей // Труды БГТУ. Серия 2: Химические технологии, биотехнология, геоэкология. 2018. №2 (211). С. 77–82.
2. Патент № 2072971 С1 Российская Федерация, МПК С04В 28/04, С04В 22/06, С04В 24/04. добавка для бетонной смеси: № 93015448/04; заявл. 24.03.1993; опубл. 10.02.1997 / Ю.П. Гладких, В.И. Завражина, В.В. Ядыкина. заявл. 24.03.1993; опубл. 10.02.1997 5 с.
3. Седнев В.А., Сергеевкова Н.А. Использование гидрофобизирующих композиций для повышения защищённости зданий из бетона от негативного воздействия воды // Технологии технологической безопасности. 2016. №. 4. С. 194–206.
4. Гегер В.Я., Гегер В.Я., Лукутцова Н.П., Карпикиев Е.Г., Петров Р.О. Повышение эффективности мелкозернистого бетона комплексной микродисперсной добавкой // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2013. №. 3. С. 15–18.
5. Румянцев В.Е., Караев И.В., Коновалова В.С., Логинова, С.А. Коррозия бетона с гидрофобизирующими добавками // Повышение эффективности процессов и аппаратов в химической и смежных отраслях промышленности. 2016. С. 138–141.
6. Михалко И.К. Использование промышленных отходов в производстве цемента // Природноресурсный потенциал, экология и устойчивое развитие регионов России: Сборник статей XVII Международной научно-практической конференции, Пенза, 24–25 января 2019 года. Пенза: Пензенский государственный аграрный университет. 2019. С. 123–129.
7. Патент № 2209792 С1 Российская Федерация, МПК С04В 28/02, С04В 24/06. Добавка для бетонной смеси: № 2002100630/03 / В. Н. Махлай, С. В. Афанасьев, В. И. Герасименко, С. С. Сабитов.; заявл. 16.01.2002; опубл. 10.08.2003 5 с.
8. Мечай А.А., Барановская Е.И., Гончар А.Н. Применение органических добавок комплексного действия в технологии автоклавного ячеистого бетона // Опыт производства и применения ячеистого бетона автоклавного твердения: материалы 10-й международной научно-практической конференции. Минск: Издатель А. Н. Вараскин, 2018. С. 74–77.
9. Хорохордин А.М., Рудаков Я.О., Перцев В.Т. Черепашина Р.Г., Рудаков О.Б. Применение шлам-лигнина гашеного известью в качестве добавки в бетон // Химия, физика и механика материалов. 2021. № 2(29). С. 90–97.
10. Барановская Е.И., Мечай А.А., Довжик Н.С., Колпашиков В.Л. Исследование влияния органических добавок на основе поликарбоксилатного лигнина на реологические свойства ячеистобетонных смесей // Труды БГТУ. Серия 2: Химические технологии, биотехнология, геоэкология. 2018. №2 (211). С. 77–82.
11. Дуйсебаева С.Т. Исследование влияния химических добавок на свойства экологичного бетона с коллагеновым наполнителем // Вестник Казахской академии транспорта и коммуникаций им. М. Тынышпаева. 2017. № 2(101). С. 13–17.
12. Иманов М.О., Иманов Е.К. Гранулированная гидрофобно-пластифицирующая добавка на основе отходов промышленности // Труды университета. 2017. № 1(66). С. 62–65.
13. Пупынина В.Д., Сидоров Н.А. Эффект автоактивизации гидрофобизированных цементов при хранении // Международная научно-техническая конференция молодых ученых БГТУ им. В.Г. Шухова, Белгород, 01–20 мая 2019 года. Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2019. С. 2585–2588.
14. Викторова Е.П., Лисовая Е.В., Свердличенко А.В., Жане М.Р. Влияние особенностей химического состава модифицированных лецитинов на их поверхностно-активные и эмульгирующие свойства // Новые технологии. 2023. Том 19, № 3. С. 48–57.
15. Лисовая Е.В., Викторова Е.П., Свердличенко А.В., Жане, М.Р. Исследование влияния особенностей химического состава фосфолипидов соевого лецитина на их полярность //

Вестник Красноярского государственного аграрного университета. 2023. №. 5 (194). С. 225–233. DOI: 10.36718/1819-4036-2023-5-225-233

16. Лопанов А.Н., Фанина Е.А., Тихомирова К.В. Расчет свободной энергии поверхности углей донецкого бассейна и графитов // Химия твердого топлива. 2018. №. 1. С. 16–21.

17. Харламов В.А., Дементьев К.В., Лопанов А.Н., Сысоев П.И. Использование обеднённого

лецитина как добавку, повышающую прочность бетона // Рациональное использование природных ресурсов и переработка техногенного сырья: фундаментальные проблемы науки, материаловедение, химия и биотехнология. Сборник докладов международной научной конференции. Белгород. 2023. С. 250–252.

Информация об авторах

Харламов Владимир Александрович, аспирант кафедры безопасности жизнедеятельности. E-mail: wladimir.harlamov@mail.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д.46.

Лопанов Александр Николаевич, доктор технических наук, профессор кафедры безопасности жизнедеятельности. E-mail: alorpanov@yandex.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д.46.

Дементьев Константин Владимирович, аспирант кафедры безопасности жизнедеятельности. E-mail: kdementev910@gmail.com. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д.46.

Павел Ильич Сысоев, кандидат химических наук, доцент кафедры безопасности жизнедеятельности. E-mail: susoev.pavel@gmail.com. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д.46.

Поступила 16.08.2024 г.

© Харламов В.А., Лопанов А.Н., Дементьев К.В., Сысоев П.И., 2025

***Kharlamov V.A., Lopanov A.N., Dementyev K.V., Sysoev P.I.**

Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov

**E-mail: wladimir.harlamov@mail.ru*

HYDROPHOBIC PROPERTIES OF CEMENT STONE WITH WASTE ADDITIVES OF LECITHIN EXTRACTION

Abstract. In the course of this work, the characteristics of water absorption, contact angle, surface using natural energy, samples of cement stone from well cement and CEM A/II 42.5 N with the addition of additives based on lecithin extraction waste were studied. The strength characteristics of cement stone with the addition of additives based on lecithin extraction waste were also confirmed. It has been established that the addition of 0.5% technical lecithin to cement reduces water absorption to 4.5%. It was revealed that an increase in soy lecithin in the amount of 0.1% leads to water absorption of cement stone based on well cement up to 6.35%. Oxalate-fatty sediment, when added to cement stone based on well cement with a wave force with a charge force, water absorption of the liquid is up to 8.15 % with an additive content of 0.5 %. The best results in reducing water absorption in cement stones based on CEM A/II 42.5 N are observed with an oxalate-fatty sediment content of 0.5 % and measured values of 2.81 %. In the case of remaining exposure, water absorption changes only slightly. The wetting edges of the samples were measured and the surface free energies were calculated. The strength characteristics of cement stone samples based on CEM A/II 42.5 N with the addition of additives based on lecithin extraction waste were measured.

Keywords: cement, additives, lecithin, waste, cement stone, concrete, water absorption, contact angle, surface free energy.

REFERENCES

1. Baranovskaya E.I., Mechai A.A., Dovzhik N.S., Kolpashchikov V.L. Study of the influence of organic additives based on polycarboxylate lignin on

the rheological properties of cellular concrete mixtures [Issledovanie vliyaniya organicheskikh dobavok na osnove polikarboksilatnogo lignin na reologicheskie svoystva yacheisto betonnyh smesej]. Proceed-

ings of BSTU. Series 2: Chemical technologies, biotechnology, geoecology. 2018. No. 2 (211). Pp 77–82. (rus)

2. Gladkikh Y.P., Zavrazhina V.I., Yadykina V.V. Additive for concrete mixture. Patent RF. no. 93015448/04, 1997.

3. Sednev V.A., Sergeenkova N.A. The use of water-repellent compositions to increase the protection of concrete buildings from the negative effects of water [Ispol'zovanie gidrofobiziruyushchih kompozitsiy dlya povysheniya zashchishchyonnosti zdaniy iz betona ot negativnogo vozdeystviya vody]. Technosphere Safety Technologies. 2016. No. 4. Pp. 194–206. (rus)

4. Geger V.Ya., Geger V.Ya., Lukutsova N.P., Karpikov E.G., Petrov R.O. Increasing the efficiency of fine-grained concrete with a complex microdisperse additive [Povyshenie effektivnosti melkozernistogo betona kompleksnoy mikrodispersnoy dobavkoj]. Bulletin of the Belgorod State Technological University named after. V.G. Shukhova. 2013. No. 3. Pp. 15–18. (rus)

5. Rumyantseva V.E., Karavaev I.V., Konovalova V.S., Loginova, S.A. Corrosion of concrete with water-repellent additives [Korroziya betona s gidrofobiziruyushchimi dobavkami]. Increasing the efficiency of processes and devices in the chemical and related industries. 2016. Pp. 138–141. (rus)

6. Mikhalko I.K. Use of industrial waste in cement production [Ispol'zovanie promyshlennyh othodov v proizvodstve cementa]. Natural resource potential, ecology and sustainable development of Russian regions: Collection of articles of the XVII International Scientific and Practical Conference, Penza, January 24–25, 2019. Penza: Penza State Agrarian University. 2019. Pp. 123–129. (rus)

7. Makhlai V.N., Afanasyev S.V., Gerasimenko V.I., Sabitov S.S. Additive for concrete mixture. No. 2002100630/03. Patent RF no. 2002100630/03, 2003.

8. Mechai A.A., Baranovskaya E.I., Gonchar A.N. Application of organic additives of complex action in the technology of autoclaved cellular concrete [Primenenie organicheskikh dobavok kompleksnogo deystviya v tekhnologii avtoklavnogo yacheistogo betona]. Experience in the production and application of autoclaved cellular concrete: materials of the 10th international scientific and practical conference. Minsk: Publisher A. N. Varaskin, 2018. Pp. 74–77. (rus)

9. Khorokhordin A.M., Rudakov Ya.O., Pertsev V.T., Cherepakhina R.G., Rudakov O.B. Application of slaked lime sludge lignin as an additive in concrete [Primenenie shlam-lignina gashenogo izvest'yu v kachestve dobavki v beton]. Chemistry, physics and mechanics of materials. 2021. No. 2(29). Pp. 90–97. (rus)

10. Baranovskaya E.I., Mechai A.A., Dovzhik N.S., Kolpashchikov V.L. Study of the influence of organic additives based on polycarboxylate lignin on the rheological properties of cellular concrete mixtures [Issledovanie vliyaniya organicheskikh dobavok na osnove polikarboksilatnogo lignina na reologicheskie svoystva yacheistobetonnykh smesey]. Proceedings of BSTU. Series 2: Chemical technologies, biotechnology, geoecology. 2018. No. 2 (211). Pp 77–82. (rus)

11. Duysebaeva S.T. Study of the influence of chemical additives on the properties of environmentally friendly concrete with collagen filler [Issledovanie vliyaniya himicheskikh dobavok na svoystva ekologichnogo betona s kollagenovym napolnitelem]. Bulletin of the Kazakh Academy of Transport and Communications named after. M. Tynyshpaeva. 2017. No. 2(101). Pp. 13–17. (rus)

12. Imanov M.O., Imanov E.K. Granulated hydrophobic-plasticizing additive based on industrial waste [Granulirovannaya gidrofobno-plastificiruyushchaya dobavka na osnove othodov promyshlennosti]. Proceedings of the University. 2017. No. 1(66). Pp. 62–65. (rus)

13. Pupynina V.D., Sidorov N.A. Effect of autoactivation of hydrophobized cements during storage [Effekt avtoaktivizatsii gidrofobizirovannykh cementov pri hranenii]. International scientific and technical conference of young scientists of BSTU. V.G. Shukhova, Belgorod, May 01–20, 2019. Belgorod: Belgorod State Technological University named after. V.G. Shukhova, 2019. Pp. 2585–2588. (rus)

14. Viktorova E.P., Lisovaya E.V., Sverdlichenko A.V., Zhane M. R. Influence of the characteristics of the chemical composition of modified lecithins on their surface-active and emulsifying properties [Vliyanie osobennostey himicheskogo sostava modifitsirovannykh lecitinov na ih poverhnostno-aktivnye i emul'giruyushchie svoystva]. New technologies. 2023. Volume 19, No. 3. Pp. 48–57. (rus)

15. Lisovaya E.V., Viktorova E.P., Sverdlichenko A.V., Janet, M.R. Study of the influence of the characteristics of the chemical composition of soy lecithin phospholipids on their polarity [Issledovanie vliyaniya osobennostey himicheskogo sostava fosfolipidov soevogo lecitina na ih polyarnost']. Bulletin of the Krasnoyarsk State Agrarian University. 2023. No. 5 (194). Pp. 225–233. doi: 10.36718/1819-4036-2023-5-225-233 (rus)

16. Lopanov A.N., Fanina E.A., Tikhomirova K.V. Calculation of the free energy of the surface of Donetsk basin coals and graphites [Raschet svobodnoy energii poverhnosti uglej doneckogo bassejna i grafitov]. Chemistry of solid fuels. 2018. No. 1. Pp. 16–21. (rus)

17. Kharlamov V.A., Dementyev K.V., Lopanov A.N., Sysoev P.I. The use of depleted lecithin as an additive that increases the strength of concrete [Ispol'zovanie obednyonnogo lecitin a kak do-bavku, povyshayushchuyu prochnost' betona]. Rational use of natural resources and processing of

technogenic raw materials: fundamental problems of science, materials science, chemistry and biotechnology. Collection of reports of the international scientific conference. Belgorod. 2023. Pp. 250–252. (rus)

Information about the authors

Kharlamov, Vladimir A. Graduate student of the Department of Life Safety. E-mail: wladimir.harlamov@mail.ru. Belgorod State Technological University named after. V.G. Shukhova. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Lopanov, Alexander N. Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Life Safety. E-mail: alopanov@yandex.ru. Belgorod State Technological University named after. V.G. Shukhova. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Dementyev, Konstantin V. Graduate student of the Department of Life Safety. E-mail: kdementev910@gmail.com. Belgorod State Technological University named after. V.G. Shukhova. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Pavel, Pyich S. Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor of the Department of Life Safety. E-mail: susoev.pavel@gmail.com Belgorod State Technological University named after. V.G. Shukhova. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Received 16.08.2024

Для цитирования:

Харламов В.А., Лопанов А.Н., Дементьев К.В., Сысоев П.И. Гидрофобные свойства цементного камня с добавками отходов экстракции лецитина // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2025. № 1. С. 138–146
DOI: 10.34031/2071-7318-2024-10-1-138-146

For citation:

Kharlamov V.A., Lopanov A.N., Dementyev K.V., Sysoev P.I. Hydrophobic properties of cement stone with waste additives of lecithin extraction. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2025. No. 1. Pp. 138–146.
DOI: 10.34031/2071-7318-2024-10-1-138-146