

Научно-теоретический журнал
ВЕСТНИК

БГТУ им. В.Г. Шухова

ISSN 2071-7318

5

2023

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**

№ 5, 2023 год

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

Vol. 5. 2023

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)
- 2.6.14. – 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. 724/4 Гк
Адрес типографии:	Россия, 308012, Белгородская обл., г. Белгород, ул. Костюкова, д. 46, Издательский центр БГТУ им. В.Г. Шухова
Тел:	+7 (4722) 30-99-77
E-mail:	VESTNIK@intbel.ru
Официальный сайт журнала:	https://bulletinbstu.editorum.ru
Подписка и распространение	Журнал распространяется бесплатно в открытом доступе и по подписке. Подписной индекс в Объединенном каталоге «Пресса России» – 44446. (+12) Online подписка: http://www.akc.ru/itm/2558104627/ Цена свободная.
Подписан в печать	15.05.2023
Выход в свет	22.05.2023

Формат 60×84/8. Усл. печ. л. 14,53. Уч.-изд. л. 15,63. Тираж 40 экз. Заказ № 69

© ФГБОУ ВО «Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова», 2023

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)
- 2.6.14. – 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. 724/4
Printing house address:	46 Kostyukova street, Belgorod, 308012, Russian Federation Publishing Center, BSTU named after V.G. Shukhov
Tel:	+7 (4722) 30-99-77
E-mail:	VESTNIK@intbel.ru
Official website of the journal	https://bulletinbstu.editorum.ru
Подписка и распространение	Subscription index in the united catalogue of "Press of Russia" – 44446. Online subscription: http://www.akc.ru/itm/255810462/
Signed for printing:	15.05.2023

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, член-корр. РААСН, д-р арх., проф., заведующий кафедрой градостроительства Самарского государственного технического университета, Архитектурно-строительной академии (РФ, г. Самара).

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

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

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

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).

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, директор НИИЖБ им. А.А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство» (РФ, г. Москва).

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

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

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

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

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

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

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

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

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).

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

CHIEF EDITOR

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

DEPUTY OF CHIEF EDITOR

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

MEMBER OF EDITORIAL BOARD

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

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

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

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

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

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

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).

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

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

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

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

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

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

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

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

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).

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

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

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

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

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

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

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

Valeriya V. Strokov, 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).

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).

Памяти Анатолия Митрофановича Гридчина 8

СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

- Лукутцова Н.П., Карпиков Е.Г., Горностаева Е.Ю., Соболева Г.Н.**
ОПТИМИЗАЦИЯ СОСТАВА ДОБАВКИ СТАБИЛИЗИРОВАННОГО
ВЫСОКОДИСПЕРСНОГО ВОЛЛАСТОНИТА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ
КОМПЬЮТЕРНОГО АЛГОРИТМА ПОИСКА ЭКСТРЕМУМОВ 9
- Высоцкая М.А., Киндеев О.Н., Курлыкина А.В., Кабалин М.Д.**
ДОБАВКА НА ОСНОВЕ ОРГАНОГЛИН – КАК ИНСТРУМЕНТ РЕГУЛИРОВАНИЯ
РЕОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ БИТУМА 19
- Серых И.Р., Чернышева Е.В.**
ПРОМЫШЛЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ПРИ ТЕХНИЧЕСКОМ
ПЕРЕВООРУЖЕНИИ ОПАСНОГО ПРОИЗВОДСТВЕННОГО
ОБЪЕКТА НА ПРИМЕРЕ ЛИТЕЙНОГО ЦЕХА 35
- Елистратова Ю.В., Семиненко А.С., Уваров В.А., Щербинина О.А.**
ЭКОНОМИЧЕСКИЙ АСПЕКТ ДИАГНОСТИКИ НАКИПЕОБРАЗУЮЩИХ СЛОЕВ
В ПЛАСТИНЧАТЫХ ТЕПЛООБМЕННИКАХ 42
- Рязанцев О.А., Трубаев П.А., Кошлич Ю.А., Доценко Д.Ю., Буханов Д.Г.**
ИНСТРУМЕНТАЛЬНОЕ ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКОЕ ОБСЛЕДОВАНИЕ
ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ ЗДАНИЙ ПЕРЕД ПРОВЕДЕНИЕМ
КАПИТАЛЬНОГО РЕМОНТА 52
- Меркулов С.И., Есипов С.М., Голиков Г.Г.**
О ФОРМИРОВАНИИ МЕТОДИКИ ОПТИМИЗАЦИИ ПЛАНИРОВАНИЯ
КАПИТАЛЬНОГО РЕМОНТА ЖИЛЫХ ЗДАНИЙ НА ЭТАПАХ
ЭКСПЛУАТАЦИИ И РЕМОНТА 62
- Семенов С.В., Михайлов А.В.**
ГРАДОСТРОИТЕЛЬНЫЕ И НЕМАТЕРИАЛЬНЫЕ АСПЕКТЫ ПРЕДМЕТА
ОХРАНЫ ОБЪЕКТОВ КУЛЬТУРНОГО НАСЛЕДИЯ В ИСТОРИЧЕСКОЙ
СРЕДЕ САНКТ-ПЕТЕРБУРГА 71
- Калинкина Н.А., Жданова И.В., Мягкова А.В., Пирогов Я.М.**
ОСОБЕННОСТИ ЦВЕТОВОГО ОФОРМЛЕНИЯ ПРОСТРАНСТВ
В ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ОРГАНИЗАЦИЯХ. ВОСПРИЯТИЕ ЦВЕТА
И ФОРМЫ ДЕТЬМИ РАЗНОГО ВОЗРАСТА 82
- Шиплей А., Ладик Е.И.**
РЕГИОНАЛЬНЫЕ ОСОБЕННОСТИ И СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ
ИСТОРИЧЕСКОЙ ЗАСТРОЙКИ СИРИЙСКИХ ГОРОДОВ
(НА ПРИМЕРЕ Г. ДАМАСК) 92
- Банникова Л.А.**
ПРОСТРАНСТВЕННАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ УЧАСТКА УЛИЦЫ В ЗАВИСИМОСТИ
ОТ ХАРАКТЕРА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ 105

МАШИНОСТРОЕНИЕ И МАШИНОВЕДЕНИЕ

- Дуюн И.А., Кабелянц П.С., Зувев С.В., Дуюн Т.А., Малышев Д.И.**
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИНДЕКСА УПРАВЛЯЕМОСТИ И ВЫЯВЛЕНИЕ ОСОБЫХ
ПОЛОЖЕНИЙ ПАРАЛЛЕЛЬНОГО МАНИПУЛЯТОРА 116

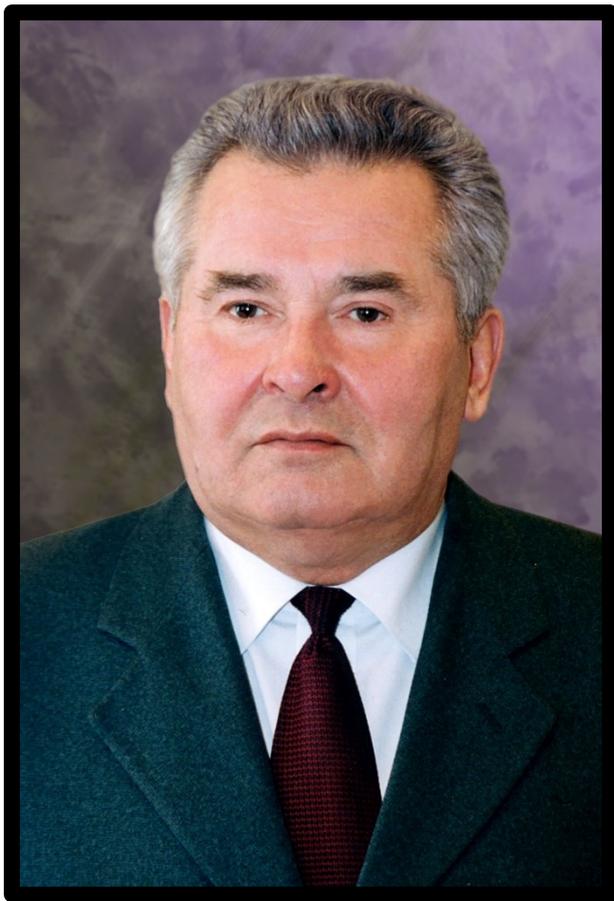
CONSTRUCTION AND ARCHITECTURE

Lukuttsova N.P., Karpikov E.G., Gornostaeva E.Yu., Soboleva G.N. OPTIMIZATION OF THE COMPOSITION OF THE ADDITIVE OF STABILIZED HIGHLY DISPERSED WOLLASTONITE USING A COMPUTER ALGORITHM FOR FINDING EXTREMES	9
Vysotskaya M.A., Kindeev O.N., Kurlykina A.V., Kabalin M.D. ORGANOCLAY BASED ADDITIVE AS A TOOL FOR CONTROL OF RHEOLOGICAL PROPERTIES OF BITUMEN	19
Serykh I.R., Chernyshova E.V. INDUSTRIAL SAFETY AT TECHNICAL RE-EQUIPMENT OF A HAZARDOUS PRODUCTION FACILITY ON THE EXAMPLE OF A FOUNDRY	35
Elistratova Yu.V., Seminenko A.S., Uvarov V.A., Shcherbinina O.A. THE ECONOMIC ASPECT OF THE SCALE-FORMING DIGNOSTICS LAYERS IN PLATE HEAT EXCHANGERS	42
Ryazantsev O.A., Trubaev P.A., Koshlich Yu.A., Dotsenko D.Yu., Bukhanov D.G. INSTRUMENTAL THERMAL ENGINEERING INSPECTION OF BUILDING ENCLOSING STRUCTURES BEFORE MAJOR REPAIRS	52
Merkulov S.I., Esipov S.M., Golikov G.G. ON THE FORMATION OF A METHODOLOGY FOR OPTIMIZING THE PLANNING OF CAPITAL REPAIRS OF RESIDENTIAL BUILDINGS AT THE STAGES OF OPERATION AND REPAIR	62
Sementsov S.V., Mikhailov A.V. URBAN PLANNING AND INTANGIBLE ASPECTS OF THE SUBJECT OF PROTECTION OF CULTURAL HERITAGE OBJECTS IN THE HISTORICAL ENVIRONMENT OF ST. PETERSBURG	71
Kalinkina N.A., Zhdanova I.V., Myagkova A.V., Pirogov Ya.M. FEATURES OF COLOR DESIGN OF SPACES IN EDUCATIONAL ORGANIZATIONS. PERCEPTION OF COLOR AND SHAPE BY CHILDREN OF DIFFERENT AGES	82
Shipley A., Ladik E.I. REGIONAL FEATURES AND CURRENT STATUS OF HISTORICAL DEVELOPMENT OF SYRIAN CITIES (ON THE EXAMPLE OF DAMASCUS)	92
Bannikova L.A. SPATIAL ORGANIZATION OF A STREET SECTION DEPENDING ON THE NATURE OF USE	105

MACHINE BUILDING AND ENGINEERING SCIENCE

Duyun I.A., Kabalyants P.S., Zuev S.V., Duyun T.A., Malyshev D.I. DETERMINATION OF THE DEXTERITY INDEX AND DETECTION OF SPECIAL POSITIONS OF THE PARALLEL MANIPULATOR	116
--	-----

Памяти Анатолия Митрофановича Гридчина



10 апреля 2023 года ушёл из жизни доктор технических наук, профессор, президент Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова, член редакционной коллегии научно-теоретического журнала «Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова» Анатолий Митрофанович Гридчин. В его лице БГТУ им. В.Г. Шухова понёс тяжёлую и невозполнимую утрату.

Анатолий Митрофанович прошел долгий трудовой путь: работал инженером, прорабом, начальником дорожно-строительного управления, заместителем главы администрации Белгородской области, первым секретарём горкома КПСС, председателем Белгородского совета народных депутатов, в 2000 году стал ректором БГТУ им. В.Г. Шухова, а с 2010-го – президент университета. До последних дней все самые важные заседания, научные конференции, знаковые мероприятия в вузе проходили при личном участии Анатолия Митрофановича, поскольку «Технолог» всегда был неотъемлемой частью его жизни. Он лично был инициатором многих решений, которые, в итоге, определили лицо ведущего вуза страны.

Анатолий Митрофанович за годы своего служения вузу не только собрал отличную команду единомышленников, профессионалов, но

и воспитал достойную смену – тех, кто поддерживает принципы, заложенные им для шуховцев: высококлассное профессиональное образование, поддержка инженерной подготовки и индивидуального развития молодёжи, использование на производстве разработанных в вузе инноваций, сохранение общекультурных человеческих ценностей.

Внедрение практических разработок А.М. Гридчина, позволило получить существенный экономический эффект; успешная реализация программ развития дорожной сети Белгородской области была отмечена присуждением в 2005 году Премии им. А.Н. Косыгина

Многолетняя плодотворная инженерная, научная и педагогическая деятельность Анатолия Митрофановича была отмечена многочисленными наградами, среди которых можно выделить: ордена Трудового Красного Знамени, Дружбы народов; медали «Двадцать лет победы в Великой Отечественной войне 1941–1945 гг», «За доблестный труд, в ознаменование 100-летия со дня рождения В.И. Ленина»; медаль «За заслуги перед Отечеством» II степени; медаль им. М.В. Ломоносова «За заслуги и большой личный вклад в развитие отечественной науки и образования»; медаль «За заслуги перед Землей Белгородской» I степени; нагрудный знак «Почетный работник высшего профессионального образования РФ» и многие другие.

Особо хотелось бы отметить огромный вклад А.М. Гридчина в становление и развитие научно-теоретического журнала «Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова». Благодаря его усилиям и команды под его руководством Вестник вошел в Перечень журналов, рекомендованных ВАК РФ, 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.

До последнего дня Анатолий Митрофанович был активным членом редакционной коллегии Вестника.

Редакция «Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова» и члены редакционной коллегии глубоко скорбят в связи с кончиной Анатолия Митрофановича. Память о выдающемся учёном и организаторе навсегда сохранится в наших сердцах.

**Редакция НТЖ «Вестник БГТУ
им. В.Г. Шухова»**

СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

DOI: 10.34031/2071-7318-2023-8-5-9-18

Лукутцова Н.П., Карников Е.Г., Горностаева Е.Ю., Соболева Г.Н.Брянский государственный инженерно-технологический университет***E-mail: natluk58@mail.ru*

ОПТИМИЗАЦИЯ СОСТАВА ДОБАВКИ СТАБИЛИЗИРОВАННОГО ВЫСОКОДИСПЕРСНОГО ВОЛЛАСТОНИТА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОМПЬЮТЕРНОГО АЛГОРИТМА ПОИСКА ЭКСТРЕМУМОВ

Аннотация. В статье рассмотрена оптимизация содержания компонентов добавки стабилизированного высокодисперсного волластонита с использованием разработанных и запатентованных программ *Extr.sce* и *Interp.sce* на базе среды инженерных и научных вычислений *Scilab* с применением результатов, полученных методом ортогонального композиционного центрального планирования эксперимента. Программа *Extr.sce* представляет собой компьютерный код, направленный на решение оптимизационных задач посредством алгоритма поиска максимальных элементов массива интерполяционных данных с вычислением их координат. Программа *Interp.sce* предназначена для вычисления уточняющих координат искомым характеристикам, полученных по программе *Extr.sce*, что позволяет определить наилучшие сочетания компонентов и технологических параметров исследуемых моделей. Выполнен расчет оптимальной прочности мелкозернистого бетона через 28 суток естественного твердения в зависимости от состава модификатора на основе высокодисперсного волластонита и времени ультразвукового диспергирования с выводом визуальных моделей обработки данных в виде контурных и 3d-графиков интерполяционной поверхности. В результате моделирования установлено, что максимальная эффективность добавки достигается при содержании в ней волластонита 0,53 % и стабилизатора «Модификатор М» – 0,2 % при частоте 35 кГц и времени ультразвукового диспергирования 5 минут. Оптимизированный состав добавки стабилизированного высокодисперсного волластонита с использованием компьютерного алгоритма поиска экстремумов дает возможность получить мелкозернистый бетон с прочностью при изгибе 6,8 МПа и сжатии – 58,5 МПа.

Ключевые слова: оптимизация, моделирование, добавка стабилизированного высокодисперсного волластонита, мелкозернистый бетон, прочность.

Введение. Проектирование состава является одним из важнейших этапов технологии композиционного строительного материала, а моделирование этого процесса – первым этапом разработки информационно-управляющей системы управления его характеристиками.

Метод математического моделирования позволяет определить, как стратегию экспериментальных исследований, так и свойства композиционных материалов, и вместе с тем получить количественные зависимости для регулирования состава композита [1, 2, 10].

Решение многофакторных задач основано на современной теории планирования и моделирования практического и математического экспериментов. В данной работе рассмотрен метод ортогонального композиционного центрального планирования эксперимента с последующим экстремальным моделированием полученных данных.

Целью работы является оптимизация содержания компонентов добавки высокодисперсного волластонита с использованием запатентованных программ *Extr.sce* и *Interp.sce*, предназначенных для поиска экстремумов прочностных харак-

теристик мелкозернистого бетона (МЗБ), соответствующих оптимальному составу исследуемого модификатора.

Материалы и методы. В качестве минерального компонента для получения добавки использовался некондиционный волластонит со средним размером частиц 6,5 мкм, имеющий ограниченное функциональное применение в промышленности, выпускающей материалы и изделия с волластонитом размерами свыше 10 мкм.

Известно, что волластонит обладает рядом ценных свойств. Кристаллы волластонита позволяют микроармировать МЗБ [3], а также снижают усадку и повышают прочностные показатели композитов. Волластонит исключает расслоение бетонных смесей благодаря способности его кристаллов адсорбировать на своей поверхности частицы твердой фазы [4]. Специальные составы на основе волластонита обладают теплоизоляционными свойствами. Краски и пены, имеющие в своем составе волластонит, пожаробезопасны, легко наносятся на подготовленную поверхность и образуют прочное покрытие [5–7].

Основные характеристики, применяемого в данном исследовании волластонита, представлены в таблице 1.

Таблица 1

Характеристики волластонита

Наименование показателя	Фактическое значение
Химический состав	
CaO, %	45,0
MgO, не более, %	0,8
SiO ₂ , %	51,0
Fe ₂ O ₃ , %	0,3
Al ₂ O ₃ , не более, %	0,35
п.п.п., %	2,55
Технологические параметры	
Массовая доля влаги, %	0,3
Показатель концентрации водородных ионов в 10 % водной суспензии (рН)	10,0
Медианный диаметр частиц, мкм:	
– средний диаметр (D50)	6,5
– максимальный диаметр (D98)	65,3

Добавку получали методом ультразвукового диспергирования (УЗД) волластонита в активаторе ванного типа УЗВ-13/150-ТН-РЭЛТЕК при частоте 35 кГц, в водной среде стабилизаторов: анионного поверхностно-активного вещества нафталин-формальдегидного типа – суперпластификатора С-3 (ООО «РоссПолимер», РФ, г. Москва) и поверхностно-активного вещества на основе эфира поликарбоксилата – «Модификатор М».

Мелкозернистый бетон изготавливали из цемента ЦЕМ II/A-Ш 42,5Н (ОАО «Белорусская цементная компания», Республика Беларусь, Могилевская область, г. Костюковичи), кварцевого песка с модулем крупности 1,5 (ООО «Агро-стройинвест», РФ, г. Брянск) и воды (МУП «Брянский городской водоканал», г. Брянск).

Добавку вводили в бетонную смесь в количестве 10 % от массы цемента в виде водного раствора с заменой части воды затворения.

Соотношение компонентов бетонной смеси цемент : заполнитель составляло 1:3. Водоцементное отношение варьировалось в зависимости от содержания стабилизатора в добавке.

Основная часть. Методом математического планирования полного факторного эксперимента, установлено положительное влияние добавки высокодисперсного волластонита стабилизированного С-3 на прочностные характеристики мелкозернистого бетона [13-15].

На первом этапе при построении математической модели рассматривали функцию, объединяющую зависимости прочности МЗБ при изгибе и сжатии, с переменными факторами содержания в суспензии волластонита (X_1), С-3 (X_2) и времени УЗД (X_3), которые варьировались в следующих интервалах: X_1 – от 0 до 10 г, X_2 – от 0 до 5 г, X_3 – от 5 до 15 мин.

Расчет коэффициентов регрессии осуществлялся компьютерной программой Urofy, формирующей функции, связывающие изменение прочности мелкозернистого бетона при изгибе (Y_1) и сжатии (Y_2), через 28 суток естественного твердения, от факторов X_1 , X_2 и X_3 . Уравнения зависимости параметров оптимизации от переменных факторов описываются следующими полученными уравнениями регрессии

$$Y_1 = 6,03 - 0,17x_1 - 0,05x_2 - 0,1x_3 - 0,05x_1^2 + 0,13x_2^2 + 0,16x_3^2 + 0,51x_1x_2 + 0,01x_1x_3 - 0,09x_2x_3; \quad (1)$$

$$Y_2 = 47,71 + 1,49x_1 - 0,32x_2 + 0,75x_3 - 7,01x_1^2 - 6,38x_2^2 - 6,65x_3^2 + 3,36x_1x_2 + 0,06x_1x_3 - 2,36x_2x_3. \quad (2)$$

Из уравнений (1) и (2) следует, что наибольшее влияние на прочность при сжатии оказывают факторы: X_1 – количество волластонита и X_3 – время УЗД. При их увеличении прочность при сжатии возрастает.

Влияние переменных факторов на прочность МЗБ при изгибе и сжатии представлено в виде номограмм на рисунке 1.

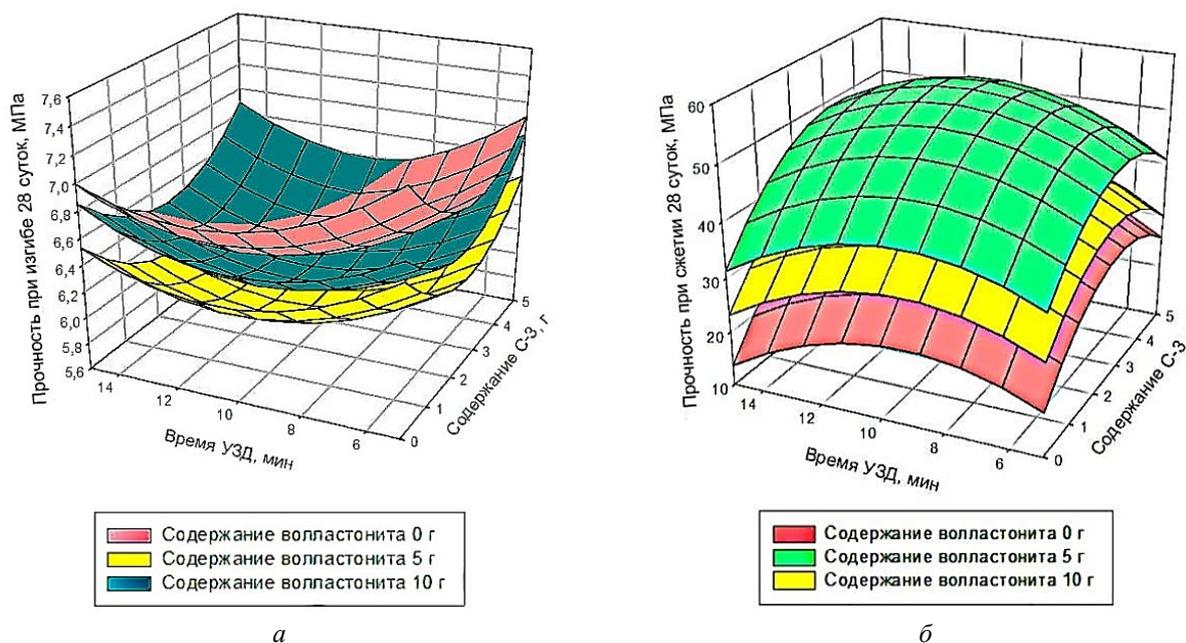


Рис. 1. Номограммы зависимости прочности МЗБ, модифицированного добавкой высокодисперсного волластонита, от содержания в ее составе С-3 и времени УЗД
 а) прочность при изгибе, б) прочность при сжатии

Как видно из полученных номограмм, зависимость прочности при сжатии от содержания в добавке С-3 в качестве стабилизатора носит экстремальный характер. Такая же зависимость наблюдается для времени ультразвукового диспергирования. С увеличением времени УЗД от 0 до 10 минут прочность при сжатии возрастает до максимальных значений, а при дальнейшем изменении от 10 до 15 минут снижается.

При этом повышение содержания С-3 от 0,25 до 0,5 % в составе вводимой в бетонную смесь добавки, при времени УЗД 10 минут, позволяет добиться максимальных показателей прочности МЗБ.

Установлено, что применение суспензии волластонита с концентрацией 0,5 %, прошедшего УЗД в активаторе ванного типа, в течение 10 мин, в присутствии стабилизатора водной суспензии С-3, в количестве 0,5 %, обеспечивает получение мелкозернистого бетона с прочностью при изгибе 6,3 МПа и при сжатии 43,6 МПа.

Аналогично рассмотрено влияние добавки высокодисперсного волластонита, стабилизированного «Модификатором М», на прочностные характеристики МЗБ.

Функции зависимостей прочности при изгибе (Y_3) и сжатии (Y_4), через 28 суток естественного твердения МЗБ, от влияющих факторов для «Модификатора М», описываются следующими полученными уравнениями регрессии

$$Y_3 = 5,82 - 0,07x_4 - 0,06x_5 - 0,11x_6 + 0,39x_4^2 + 0,42x_5^2 + 0,33x_6^2 + 0,09x_4x_5 + 0,09x_4x_6 - 0,01x_5x_6; \tag{3}$$

$$Y_4 = 55,43 + 3,47x_4 + 4,73x_5 + 0,04x_6 - 12,89x_4^2 - 9,65x_5^2 - 7,7x_6^2 - 1,15x_4x_5 + 0,18x_4x_6 + 2,08x_5x_6. \tag{4}$$

Из уравнений (3) и (4) следует, что на прочность при сжатии оказывают влияние следующие факторы: X_1 – количество волластонита, X_2 – количество «Модификатора М» и X_3 – время УЗД. При увеличении их значений прочность при сжатии возрастает.

В соответствии с номограммами зависимости прочности МЗБ с добавкой высокодисперсного волластонита от содержания в ее составе стабилизатора «Модификатора М» и времени

УЗД (рис. 2) следует, что для повышения прочности мелкозернистого бетона наиболее эффективным является способ его модификации путем введения добавки с концентрацией волластонита 0,5%, прошедшего УЗД в активаторе ванного типа в течение 10 мин, в присутствии «Модификатора М» в количестве 0,5 %. Разработанный состав обеспечивает получение МЗБ с прочностью при изгибе 6,6 МПа и при сжатии 57,8 МПа.

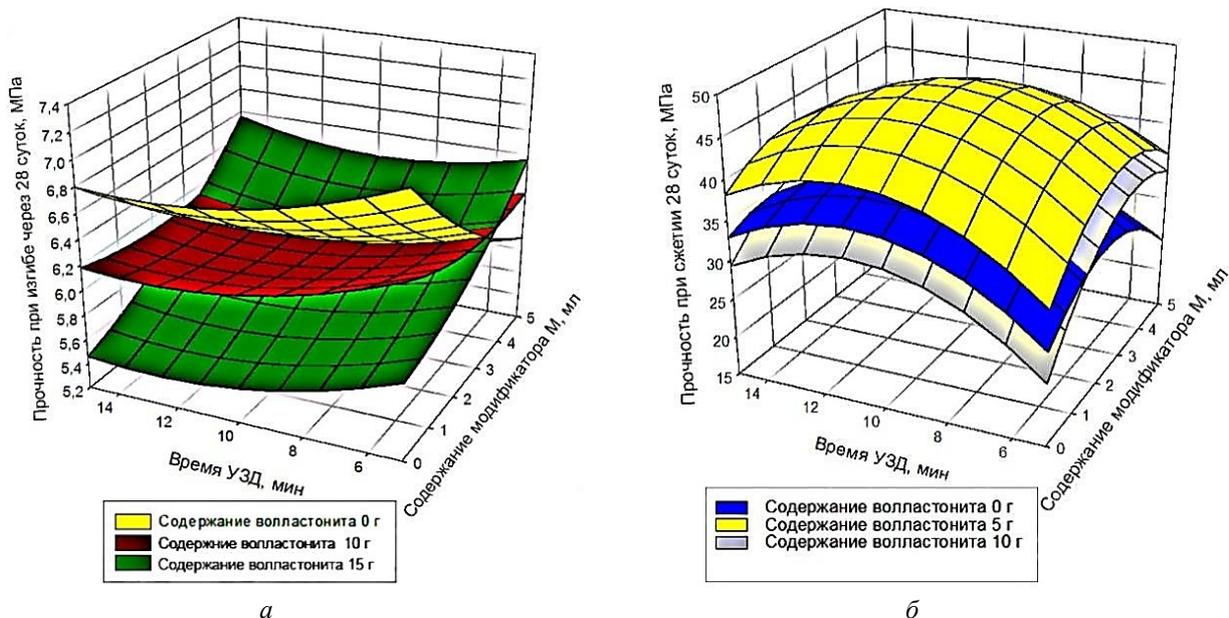


Рис. 2. Номограммы зависимости прочности МЗБ, модифицированного добавкой высокодисперсного волластонита, от содержания в ее составе стабилизатора «Модификатор М» и времени УЗД
 а) прочность при изгибе, б) прочность при сжатии

На втором этапе, на основе полученных экспериментальных данных, оптимизацию состава исследуемой добавки проводили спомощью запатентованной авторами [8] программы моделирования Extr.sce на базе среды инженерных и научных вычислений Scilab. Программа Extr.sce представляет собой компьютерный код, интегрированный в среду Scilab [11, 12], направленный на решение оптимизационных задач посредством алгоритма поиска максимальных элементов массива интерполяционных данных с получением их координат.

Ввод исходных данных для их обработки в программе Extr.sce, полученных на первом этапе оптимизации состава суспензии при формировании математических моделей взаимосвязи параметров оптимизации от переменных факторов, осуществляется посредством построения матриц зависимостей переменных, заданных функцией вида

$$z = f(X_1, X_2, X_3), \tag{5}$$

где z – искомая величина.

```

Командное окно Scilab 5.6.2
-->n=input ('Ввести размерность исходных векторов данных n=');
Ввести размерность исходных векторов данных n=3
-->//Вектор первого аргумента
-->disp('Ввести вектор-строку x=[...]')

Ввести вектор-строку x=[...]
-->x=input('x=');
x=
-->//Вектор второго аргумента
-->disp('Ввести вектор-строку y=[...]')

Ввести вектор-строку y=[...]
-->y=input('y=');
y=
-->//Матрица экспериментальных данных
-->disp('Ввести матрицу исходных данных z=[. . .;. . .]')

Ввести матрицу исходных дБ
      °нных z=[. . .;. . .]
z=
-->z=input('z=');
    
```

Рис. 3. Диалоговое окно ввода исходных данных программы Extr.sce

В результате обработки загруженных моделей экспериментальных данных в программе Extr.sce, определены экстремумы искомых характеристик мелкозернистого бетона Max_z и их координаты

max_x ; max_y , соответствующие содержанию стабилизатора суспензии С-3 (X) и времени УЗД (Y), представленные в таблице 2.

Таблица 2

Экстремумы искомых характеристик МЗБ, модифицированного добавкой высокодисперсного волластонита, стабилизированного С-3

Характеристика	Максимальное значение <i>Max_z</i>	Координаты (содержание)		
		<i>w</i> (волластонит), г	<i>max_x</i> (С-3), г	<i>max_y</i> (время УЗД), мин
Прочность при изгибе через 28 суток, МПа	6,3	0	0	9,3
	6,6	5	0	5
	6,5	10	2,7	8,9
Прочность при сжатии через 28 суток, МПа	40,2	0	5	5
	43,6	5	2,5	5
	43,7	10	5	5

Анализ данных в программе Extr.sce дает возможность сформировать модели зависимости в виде контурных графиков и 3d-графиков интерполяционной поверхности. Полученные графики содержат в себе расчетные элементы обработанного массива данных в форме экстремумов заданной функции. Установлено, что МЗБ,

модифицированный добавкой, содержащей 0,5% волластонита, прошедший УЗД в течение 5 минут, обладает улучшенными показателями прочности при изгибе, в то время как состав добавки: волластонит – 1% + С-3 – 0,27%, с тем же временем УЗД, увеличивает прочность при сжатии.

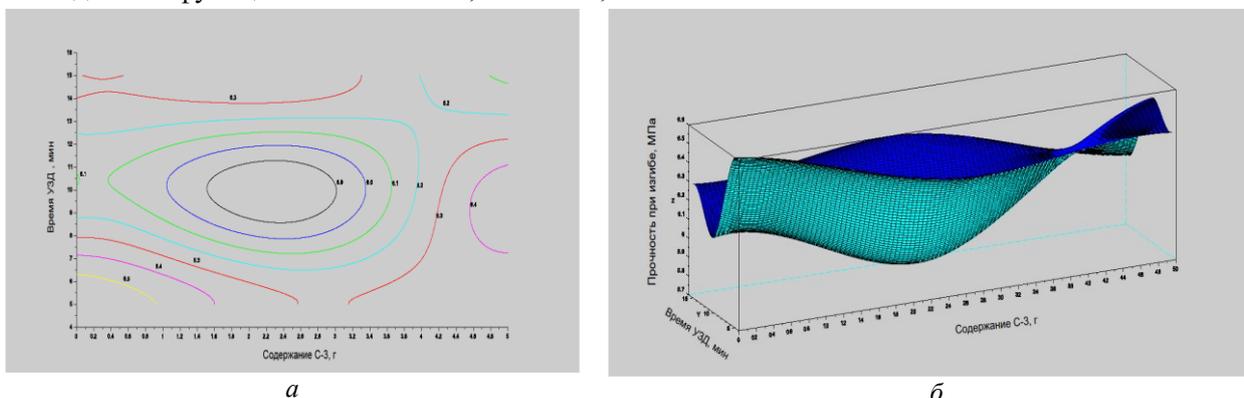


Рис. 4. Графики моделей зависимости прочности при изгибе мелкозернистого бетона, модифицированного добавкой высокодисперсного волластонита от содержания в ней стабилизатора С-3 через 28 суток твердения, при концентрации волластонита в суспензии $w = 0,5 \%$
а) контурный, б) 3d интерполяционная поверхность

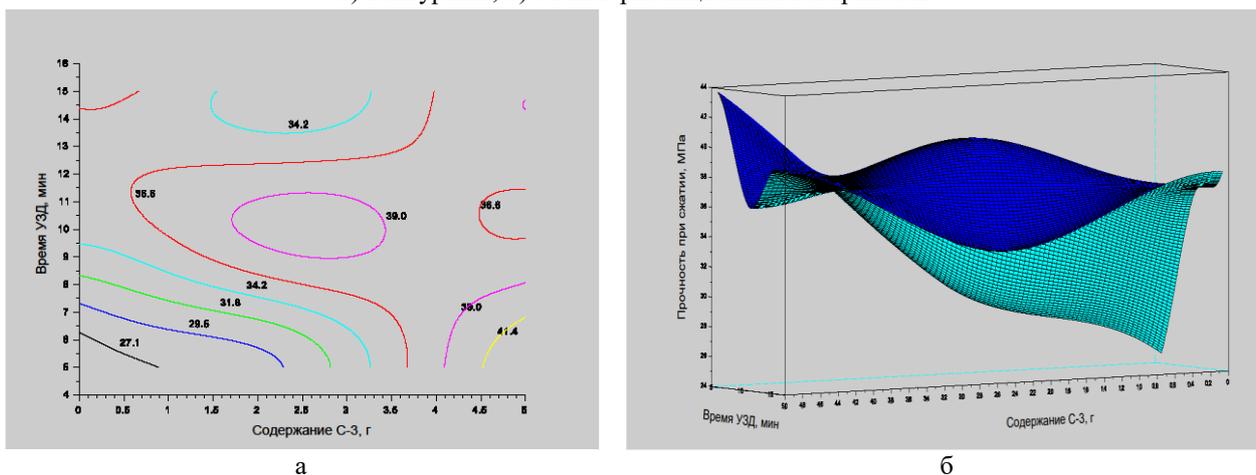


Рис. 5. Графики моделей зависимости прочности при сжатии мелкозернистого бетона, модифицированного добавкой высокодисперсного волластонита от содержания в ней стабилизатора С-3 через 28 суток твердения, при концентрации волластонита в суспензии $w = 1\%$
а) контурный, б) 3d интерполяционная поверхность

Модели обработки исходных данных представлены в виде контурных графиков и 3d-графиков интерполяционной поверхности на рисунках 4 и 5.

Аналогичным образом определены экстремальные точки искомых характеристик мелкозернистого бетона – прочности при сжатии и изгибе Max_z , а также их координаты max_x ;

max_y , соответствующие содержанию стабилизатора суспензии «Модификатор М» (X) и времени УЗД (Y).

Данные в таблице 3 демонстрируют выполненные оптимизационной задачи повышения прочности при сжатии мелкозернистого бетона с добавкой состава: волластонит – 0,5 % + «Модификатор М» –

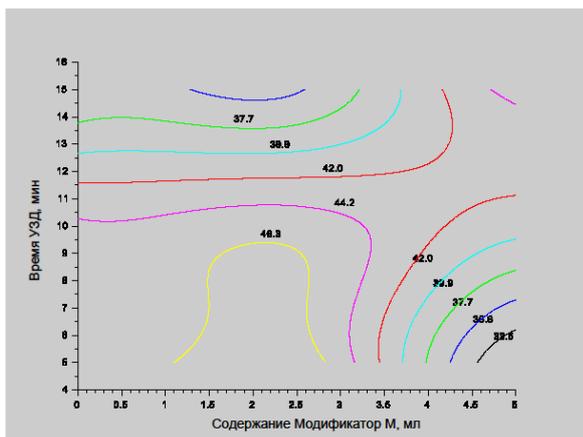
0,21 % и временем УЗД – 5 минут, а также прочности при изгибе, путем введения в бетонную смесь добавки волластонита концентрацией 1%, прошедшего УЗД в течение 15 минут. При этом прочность при сжатии увеличивается на 45 % в отличие от контрольного немодифицированного образца.

Модели обработки исходных данных в программе Extr.sce показаны на рисунках 6 и 7.

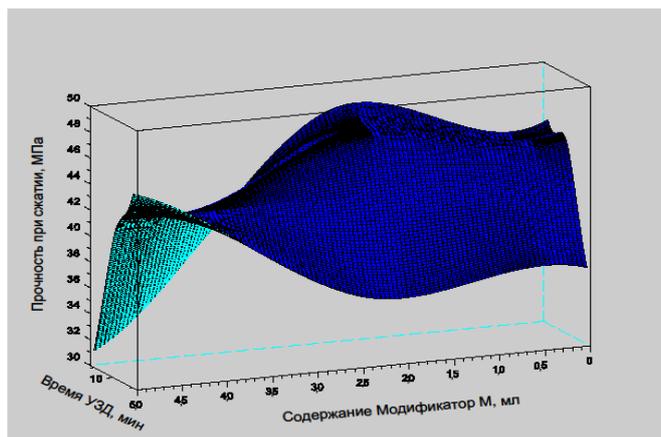
Таблица 3

Экстремумы искоемых характеристик МЗБ, модифицированного добавкой, стабилизированной «Модификатором М»

Характеристика	Максимальное значение Max_z	Координаты (содержание)		
		w (волластонит), г	max_x («Модификатор М»), мл	max_y (время УЗД), мин
Прочность при изгибе через 28 суток, МПа	6,3	0	0	5
	6,7	5	2,3	15
	6,9	10	0	15
Прочность при сжатии через 28 суток, МПа	36,5	0	2,8	9
	58,4	5	2,1	5
	40,0	10	2,8	5



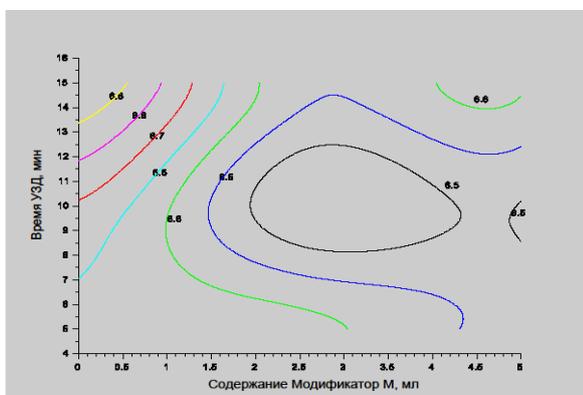
а



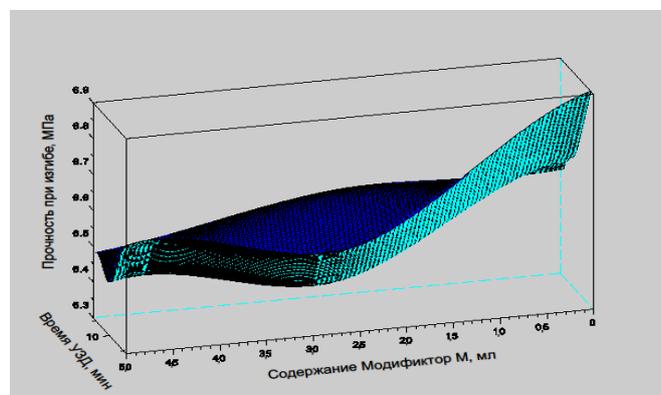
б

Рис. 6. Графики моделей зависимости прочности при сжатии мелкозернистого бетона модифицированного добавкой высокодисперсного волластонита от содержания в ней стабилизатора «Модификатор М» через 28 суток твердения, при концентрации волластонита в суспензии $w = 0,5 \%$

а) контурный, б) 3d интерполяционная поверхность



а



б

Рис. 7. Графики моделей зависимости прочности при изгибе мелкозернистого бетона, модифицированного добавкой высокодисперсного волластонита от содержания в ней стабилизатора «Модификатор М» через 28 суток твердения, при концентрации волластонита в суспензии $w = 1 \%$

а) контурный, б) 3d интерполяционная поверхность

Для уточнения результатов и сужения области поиска оптимального содержания компонентов добавки, а именно количества вводимого в ее

состав волластонита, использовалась программа Interp.sce [9].

Таблица 4

Результаты моделирования в программе Interp.sce

Характеристика	Максимальный элемент интерполяционного массива \max_u , прочностные показатели, МПа	Координата максимального элемента массива \max_x , содержание стабилизатора, г
Прочность при изгибе через 28 суток, МПа (стабилизатор С-3)	6,6	5,8
Прочность при сжатии через 28 суток, МПа (стабилизатор С-3)	44,1	7,7
Прочность при изгибе через 28 суток, МПа (стабилизатор «Модификатор М»)	6,9	10,0
Прочность при сжатии через 28 суток, МПа (стабилизатор «Модификатор М»)	58,5	5,3

Программа Interp.sce предназначена для поиска максимальных элементов с получением координат уточняющей модели.

Результатом загрузки в программу Interp.sce, оптимизированных программой Extr.sce моделей, является вычисление максимального параметра интерполяционного массива \max_u и его координаты \max_x , соответствующей уточненному содержанию волластонита (x) (табл. 4).

Модели обработки данных (рис. 8) показывают, что оптимальное содержание высокодис-

персного волластонита в составе добавки, стабилизированной С-3, составляет 0,57 %, для повышения прочности при изгибе до 6,6 МПа, и 0,76 % для повышения прочности при сжатии до 44,1 МПа. Наиболее эффективный результат достигается при использовании в качестве стабилизатора суспензии «Модификатор М», с содержанием волластонита 1%, что позволяет изменить прочность при изгибе до 6,9 МПа, в то время как содержание волластонита в количестве 0,53% способствует увеличению прочности при сжатии до 58,5 МПа.

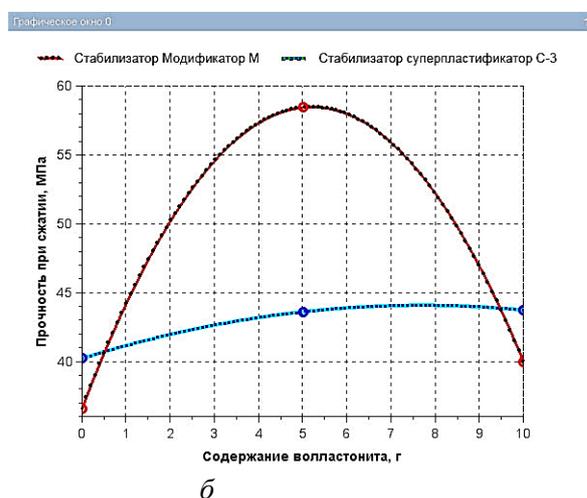
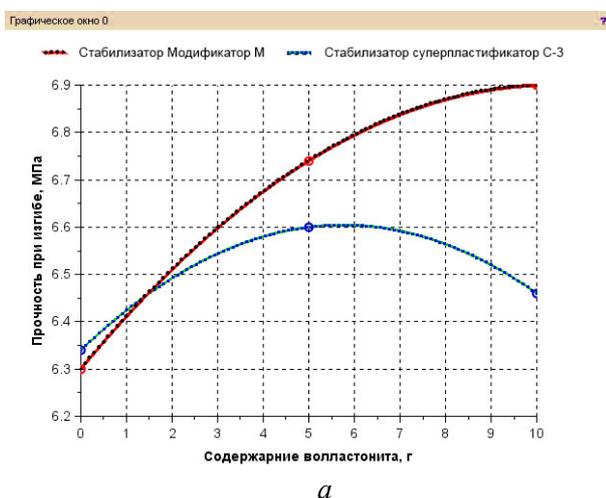


Рис. 8. Уточняющие модели экстремумов, соответствующих прочности МЗБ от содержания волластонита в составе добавки, полученные в результате применения программы Interp.sce
а) прочность при изгибе, б) прочность при сжатии

Применение аппарата математического моделирования и метода планирования эксперимента позволяет перейти от расчетно-экспериментального к математическому методу определения состава добавки стабилизированного высокодисперсного волластонита. Построенная модель является открытой и дает возможность корректировки компонентов модификатора в зависимости

от производственных и лабораторных условий, которые могут отличаться от заложенных в систему, как базовые.

Выводы

1. Выполнена оптимизация содержания компонентов добавки стабилизированного высокодисперсного волластонита с использованием разработанных и запатентованных программ

Extr.sce и Interp.sce на базе среды инженерных и научных вычислений Scilab с применением результатов, полученных методом ортогонального композиционного центрального планирования эксперимента.

2. Выполнен расчет оптимальной прочности мелкозернистого бетона через 28 суток естественного твердения в зависимости от состава модификатора на основе высокодисперсного волластонита и времени ультразвукового диспергирования с выводом визуальных моделей обработки данных в виде контурных и 3d-графиков интерполяционной поверхности.

3. В результате моделирования установлено, что максимальная эффективность добавки достигается при содержании в ней волластонита 0,53 % и стабилизатора «Модификатор М» – 0,2 % при частоте 35 кГц и времени ультразвукового диспергирования 5 минут. Оптимизированный состав добавки стабилизированного высокодисперсного волластонита с использованием компьютерного алгоритма поиска экстремумов дает возможность получить мелкозернистый бетон с прочностью при изгибе 6,8 МПа и сжатию – 58,5 МПа.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Цейтлин Н.А. Из опыта аналитического статистика. М.: Солар, 2007. 912 с.
2. Siebertz K., Bebbber D., Hochkirchen T. Statistische Versuchsplanung: Design of Experiments (DoE). Springer, 2010. 320 p.
3. Козин А.В., Федюк Р.С., Ильинский Ю.Ю., Ярусова С.Б., Гордиенко П.С., Мохаммад Али Мосабержпаных Влияние волластонита на механические свойства бетона // Строительные материалы и изделия. 2020. Т.3. №5. С. 34–42.
4. Чихрадзе Г.К. Изучение влияния усадки и адгезии ремонтных составов на долговечность // Инновации и инвестиции. 2020. №6. С. 254–257.
5. Гладун В.Д., Акатьева Л.В., Холькин А.И. Синтетические силикаты кальция. М.: Изд-во «ИРИСБУК», 2011. 232 с.
6. Григорян Г.О., Мурадян А.Б., Григорян К.Г. Волластонит. Получение и применение // Армянский хим. журнал. 1990. № 5. С. 296–315.
7. Чижиков С.Н. Микроармирующий наполнитель волластонит // Стройпрофиль. 2001. №10. [Электронный ресурс]. Систем. требования: AdobeAcrobatReader. URL: <http://stroyprofile.com/archive/208> (дата обращения 29.05.2022).
8. Свидетельство о гос. регистрации программы для ЭВМ 2018616850, Российская Федерация. Программа моделирования экспериментальных данных Extr.sce / Е.Г. Карпиков, В.С. Янченко, Н.П. Лукутцова, С.Н. Головин; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО «Брянский государственный инженерно-технологический университет». № 2018614205; заявл. 25.04 2018; опубл. 07.06.2018. 1 с.
9. Свидетельство о гос. регистрации программы для ЭВМ 2018616851, Российская Федерация. Программа моделирования экспериментальных данных Interp.sce: / Е.Г. Карпиков, В.С. Янченко, Н.П. Лукутцова, Д.А. Пехенько; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО «Брянский государственный инженерно-технологический университет». № 2018614206; заявл. 25.04 2018; опубл. 07.06.2018. 1 с.
10. Власов В.К. Закономерности оптимизации состава бетона с дисперсными минеральными добавками // Бетон и железобетон. 1993. №4. С. 10–12.
11. Янченко В.С. Основы работы в математической среде Scilab. Брянск: БГИТА. 2013. 124 с.
12. Карпиков Е.Г., Янченко В.С., Королева Е.Л., Семичев С.М., Новикова В.И., Патугин А.С. Экстремальное моделирование оптимального состава и содержания микронаполнителя в бетоне // Строительные материалы. 2015. № 11 (731). С. 9–12.
13. Lukuttsova N.P., Karpikov E.G., Golovin S.N. Highly-Dispersed Wollastonite-Based Additive and its Effect on Fine Concrete Strength // Solid State Phenomena. 2018. Vol. 284. Pp. 1005–1011
14. Karpikov E.G., Lukuttsova N.P., Bondarenko E.A., Klyonov V.V., Zajcev A.E. Effective Fine-Grained Concrete with High-Dispersed Additive Based on the Natural Mineral Wollastonite // FarEastCon - Materials and Construction: Materials International Scientific Conference «FarEastCon». 2018. Vol. 945. Pp. 85–90.
15. Lukuttsova N., Luginina I., Karpikov E., Pykin A., Ystinov A., Pinchukova I. High-performance fine concrete modified with nano-dispersion additive // International Journal of Applied Engineering Research (IJAER). 2014. Vol. 9. No 22. Pp. 15825–15833.

Информация об авторах

Лукутцова Наталья Петровна, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Производство строительных конструкций». E-mail: natluk58@mail.ru. Брянский государственный инженерно-технологический университет. Россия, 241037, Брянск, проспект Станке Димитрова, д.3.

Карпиков Евгений Геннадиевич, старший преподаватель кафедры «Производство строительных конструкций». E-mail: johnjk@mail.ru. Брянский государственный инженерно-технологический университет. Россия, 241037, Брянск, проспект Станке Димитрова, д.3.

Горностаева Елена Юрьевна, кандидат технических наук, доцент кафедры «Производство строительных конструкций». E-mail: egornostay@mail.ru. Брянский государственный инженерно-технологический университет. Россия, 241037, Брянск, проспект Станке Димитрова, д.3.

Соболева Галина Николаевна, кандидат технических наук, доцент кафедры «Графика и геодезия». E-mail: soboleva.g.n@mail.ru. Брянский государственный инженерно-технологический университет. Россия, 241037, Брянск, проспект Станке Димитрова, д.3.

Поступила 11.04.2023 г.

© Лукутцова Н.П., Карпиков Е.Г., Горностаева Е.Ю., Соболева Г.Н., 2023

**Lukutsova N.P., Karpikov E.G., Gornostaeva E.Yu., Soboleva G.N.*

Bryansk State University of Engineering and Technology

**E-mail: natluk58@mail.ru*

OPTIMIZATION OF THE COMPOSITION OF THE ADDITIVE OF STABILIZED HIGHLY DISPERSED WOLLASTONITE USING A COMPUTER ALGORITHM FOR FINDING EXTREMES

Abstract. *The article considers the optimization of the content of the components of the additive of stabilized highly dispersed wollastonite using a developed and patented computer algorithm for finding extreme coordinates of the dependencies of the mechanical characteristics of fine-grained concrete Extr.sce and Interp.sce based on the Scilab engineering and scientific computing environment. The developed programs allow determining the best combination of components and technological parameters for obtaining an additive to identify the optimal value of the desired indicator of the final characteristics of fine-grained concrete. The search for the maximum value of the strength indicators of fine-grained concrete is performed depending on the combination of the initial components of the modifier based on highly dispersed wollastonite, as well as the time of their ultrasonic dispersion with the output of visual data processing models in the form of contour and 3d graphs of the interpolation surface. As a result of the simulation, it is found that the additive shows the most effective result with a wollastonite content of 5 g/l, in which a modifier M with a concentration of 2.1 ml/l is used as a suspension stabilizer, while the ultrasonic dispersion time is 5 minutes. The developed additive of optimal composition contributes to the production of modified fine-grained concrete with a bending strength of 6.8 MPa and compression strength of 58.5 MPa.*

Keywords: *optimization, modeling, additive of stabilized highly dispersed wollastonite, fine-grained concrete, strength.*

REFERENCES

1. Tseitlin N.A. From the experience of analytical statistics [Iz opyta analiticheskogo statistika]. M.: Solar, 2007. 912 p. (rus)

2. Siebertz K., Bebbler D., Hochkirchen T. Statistische Versuchsplanung: Design of Experiments (DoE). Springer, 2010. 320 p.

3. Kozin A.V., Fedyuk R.S., Ilyinsky Yu.Yu., Yarusova S.B., Gordienko P.S., Mohammad Ali Mosaberpanah The influence of wollastonite on the mechanical properties of concrete [Vliyanie wollastonita na mekhanicheskie svoystva betona]. Building materials and products. 2020. Vol.3. No.5. Pp. 34–42. (rus)

4. Chikhradze G.K. Studying the effect of shrinkage and adhesion of repair compounds on du-

rability [Izuchenie vliyaniya usadki i adgezii remontnyh sostavov na dolgovechnost']. Innovations and investments. 2020. No. 6. Pp. 254–257. (rus)

5. Gladun V.D., Akatieva L.V., Kholkin A.I. Synthetic calcium silicates [Sinteticheskie silikaty kal'ciya]. Moscow: IRISBUK Publishing House, 2011. 232 p. (rus)

6. Grigoryan G.O., Muradyan A.B., Grigoryan K.G. Wollastonite. Obtaining and application [Wollastonit. Poluchenie i primenenie]. Armenian Chemical Journal. 1990. No. 5. Pp. 296–315. (rus)

7. Chizhikov S.N. Micro-reinforcing filler wollastonite [Mikroarmiruyushchij napolnitel' wollastonit]. Construction profile. 2001. No. 10. Systems. Requirements: AdobeAcrobatReader. URL: <http://stroyprofile.com/archive/208> (accessed 29.05.2022). (rus)

8. Certificate of state registration of the computer program 2018616850, Russian Federation. Experimental data modeling program Extr.sce / E.G. Karpikov, V.S. Yanchenko, N.P. Lukutsova, S.N. Golovin; applicant and patent holder of the Bryansk State University of Engineering and Technology. No. 2018614205; application 25.04 2018; publ. 07.06.2018. 1 p. (rus)

9. Certificate of state registration of the computer program 2018616851, Russian Federation. Experimental data modeling program Interp.sce. E.G. Karpikov, V.S. Yanchenko, N.P. Lukutsova, D.A. Pehenko; applicant and patent holder of the Bryansk State University of Engineering and Technology. No. 2018614206; application 25.04 2018; publ. 07.06.2018. 1 p. (rus)

10. Vlasov V.K. Regularities of optimization of the composition of concrete with dispersed mineral additives [Zakonomernosti optimizacii sostava betona s dispersnymi mineral'nymi dobavkami]. Concrete and reinforced concrete. 1993. No. 4. Pp. 10–12. (rus)

11. Yanchenko V.S. Basics of working in the mathematical environment of Scilab [Osnovy raboty v matematicheskoj srede Scilab]. Bryansk: BGITA. 2013. 124 p. (rus)

12. Karpikov E.G., Yanchenko V.S., Koroleva E.L., Semichev S.M., Novikova V.I., Patugin A.S. Extreme modeling of the optimal composition and content of a micro-filler in concrete [Ekstremal'noe modelirovanie optimal'nogo sostava i sodержaniya mikronapolnitelya v betone]. Building Materials. 2015. No. 11 (731). Pp. 9–12. (rus)

13. Lukutsova N.P., Karpikov E.G., Golovin S.N. Highly-Dispersed Wollastonite-Based Additive and its Effect on Fine Concrete Strength. Solid State Phenomena. 2018. Vol. 284. Pp. 1005–1011

14. Karpikov E.G., Lukutsova N.P., Bondarenko E.A., Klyonov V.V., Zajcev A.E. Effective Fine-Grained Concrete with High-Dispersed Additive Based on the Natural Mineral Wollastonite. FarEastCon - Materials and Construction: Materials International Scientific Conference «FarEastCon». 2018. Vol. 945. Pp. 85–90.

15. Lukutsova N., Luginina I., Karpikov E., Pykin A., Ystinov A., Pinchukova I. High-performance fine concrete modified with nano-dispersion additive. International Journal of Applied Engineering Research (IJAER). 2014. Vol. 9. No 22. Pp. 15825–15833.

Information about the authors

Lukutsova, Natalia P. Grand PhD. E-mail: natluk58@mail.ru. Bryansk State University of Engineering and Technology. Russia, 241037, Bryansk, Stanke Dimitrov Avenue, 3.

Karpikov, Evgeny G. senior lecturer. E-mail: johnjk@mail.ru. Bryansk State University of Engineering and Technology. Russia, 241037, Bryansk, Stanke Dimitrov Avenue, 3.

Gornostaeva, Elena Yu. PhD. E-mail: egornostay@mail.ru. Bryansk State University of Engineering and Technology. Russia, 241037, Bryansk, Stanke Dimitrov Avenue, 3.

Soboleva, Galina N. PhD. E-mail: soboleva.g.n@mail.ru. Bryansk State University of Engineering and Technology. Russia, 241037, Bryansk, Stanke Dimitrov Avenue, 3.

Received 11.04.2023

Для цитирования:

Лукутцова Н.П., Карпиков Е.Г., Горностаева Е.Ю., Соболева Г.Н. Оптимизация состава добавки стабилизированного высокодисперсного волластонита с использованием компьютерного алгоритма поиска экстремумов // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2023. № 5. С. 9–18. DOI: 10.34031/2071-7318-2023-8-5-9-18

For citation:

Lukutsova N.P., Karpikov E.G., Gornostaeva E.Yu., Soboleva G.N. Optimization of the composition of the additive of stabilized highly dispersed wollastonite using a computer algorithm for finding extremes. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2023. No. 5. Pp. 9–18. DOI: 10.34031/2071-7318-2023-8-5-9-18

DOI: 10.34031/2071-7318-2023-8-5-19-34

***Высоцкая М.А., Киндеев О.Н., Курлыкина А.В., Кабалин М.Д.**

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

*E-mail: roruri@rambler.ru

ДОБАВКА НА ОСНОВЕ ОРГАНОГЛИН – КАК ИНСТРУМЕНТ РЕГУЛИРОВАНИЯ РЕОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ БИТУМА

Аннотация. Битум представляет собой сложную, многокомпонентную коллоидную дисперсную систему, в основе которой лежит взаимодействие асфальтенов (фазы) и мальтенов (среды). При отсутствии внешнего воздействия такая система находится в относительно стабильном состоянии. Любое внешнее воздействие сдвигает равновесное состояние коллоида и инициирует агрегацию золь, сопровождающимся качественным изменением свойств. Таким образом, количественное изменение фазы коллоида влечёт качественное изменение его состояния. Одним из перспективных способов управления структурообразованием и показателями битума является применение реологических добавок. В работе представлены результаты по модифицированию дорожного битума добавкой «Viscogel» в концентрационном диапазоне 1–5 %. Определено влияние добавки на реологические характеристики битума. Установлено оптимальное количество добавки, положительно влияющее на свойства битума. Полученные данные подтверждаются результатами по определению краевого угла смачивания образцов битума с различной концентрацией добавки, подвергнутых процессу старения. Данные тестирования свидетельствуют о стабильности системы в течение 48 часов воздействия высоких температур. На основе имеющихся знаний о структуре и дисперсности битума предложена модель взаимодействия реологической добавки внутри системы асфальтены-мальтены.

Ключевые слова: битум, реология, вязкость, старение, краевой угол смачивания, реологические добавки.

Введение. Динамика развития дорожно-строительной отрасли, вызовы, стоящие перед ней и ответственность за возводимые транспортные объекты, диктуют необходимость изменения подходов к оценке качества и долговечности как битумных вяжущих, так и строительных композитов на их основе. Подобный подход определил необходимость и задал вектор исследований в части органических вяжущих, вывел на первое место значимость не механических (пенетрационная вязкость, температура размягчения), а реологических (динамическая, кинематическая вязкость, предельные напряжения сдвига) параметров битумных вяжущих, что с точки зрения их коллоидного строения справедливо и оправдано. Широкое применение реологических параметров позволяет оценить структурно-механические свойства систем, проследить динамику влияния различных добавок, что в свете необходимости развития инноваций в отрасли является необходимым и эффективным инструментом управления и регулирования не только битумных систем, но и композитов на их основе.

Битум, являясь производным строительным материалом нефти, представляет собой иерархически сложную нестабильную во времени многокомпонентную систему с широким диапазоном варьирования физических и реологических параметров [1]. По современным представлениям это сложная дисперсная система, слагаемая из парафиновых и нафтеновых углеводородов, циклических систем и ароматических углеводородов,

связанных алифатическими цепочками. Базируясь на растворимости ароматических и парафиновых углеводородов, принято выделять три доминирующих группы компонентов: масла, смолы и асфальтены. В этом коллоиде мальтеновая среда (масла+смолы) выступает диспергатором для асфальтенов, которые содержатся в битуме в количестве 10...40 % [2] и являются дисперсной фазой [3].

Для битумов, как и прочих дисперсных систем, ввиду высокоразвитой межфазной поверхности характерны определенные черты: высокая химическая активность и сорбционная способность фазы, избыток свободной энергии, а также, термодинамически и агрегативная неустойчивость [4]. При этом асфальтены являются ключевым структурным элементом и драйвером структурирования битумной системы, влияющим на реологические показатели, как нефти, так и битумных вяжущих, в случае битумов прослеживается также динамика прироста вязко-упругих свойств [5].

Подобные явления, как в нефтяных, так и битумных системах обусловлены склонностью асфальтеновых комплексов (АСК) к самосборке и формированию наноразмерных агрегатов за счет π-π взаимодействий между плоскими участками молекул [4, 6–7] или ароматическими кольцами [8].

Анализ публикаций [4, 9] демонстрирует, что независимо от используемых приемов исследования и моделирования нефтяных и битумных

дисперсных систем выработано устоявшееся мнение, что основными типами взаимодействий между АСК являются Ван-дер-Ваальсовы и кулоновские силы, для ряда химических структур АСК характерно образование водородных связей. Следующим важным утверждением является пачечная конфигурация агрегатов асфальтенов с параллельной ориентацией, то есть наблюдается формирование асфальтеновых фракталов или кластеров [10–11].

В соответствии с современным коллоидно-химическими представлениями [12–15] существует несколько теорий строения нефтяных битумных систем:

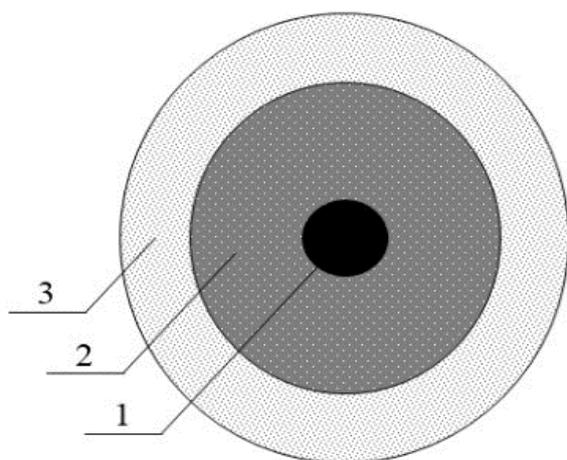


Рис. 1. Сложная структурная единица [16]

1 – ядро; 2 – сольватная оболочка;
3 – дисперсионная среда

Анализ знаний [14–21] о строении частиц, природе смол, масел и асфальтенов, позволяет предположить:

– асфальтены выступают в роли ядра агрегата, несущего определенный заряд системы, отличаются повышенной полярностью и способностью к растворению в ароматических и полярных растворителях, а также высокой адсорбционной способностью;

– смолы, адсорбируясь на поверхности асфальтенов, образуют слой противоионов и входят в диффузный слой среды системы, являющийся ингибитором флокуляции АСК. Смолистые компоненты НДС отличаются высокой ароматичностью, что определяет их роль растворителей или диспергаторов асфальтенов [21];

– масла являются дисперсионной средой, в которой происходит взаимодействие между частицами. Совместно с маслами слагают дисперсионную среду или мальтеновую часть.

На основе данных моделей строения частиц Угнер [21] предложил описание взаимодействия молекул в дисперсионной системе по принципу заряда и спина (рис 3).

– битум как нефтяная дисперсионная система (НДС) [16];

– битум как коллоидная система с дисперсионной фазой (асфальтенами) и дисперсионной средой (мальтенами) [17].

В рамках НДС [16, 18] конгломераты асфальтенов и мальтенов принято называть сложной структурной единицей (ССЕ), состоящей из ядра и сольватной оболочки (рис. 1).

В рамках коллоидной теории строения [17, 19–20], частицы битума называют мицеллой, состоящей из ядра, слоя противоионов, коллоидной частицы и диффузного слоя (рис. 2).

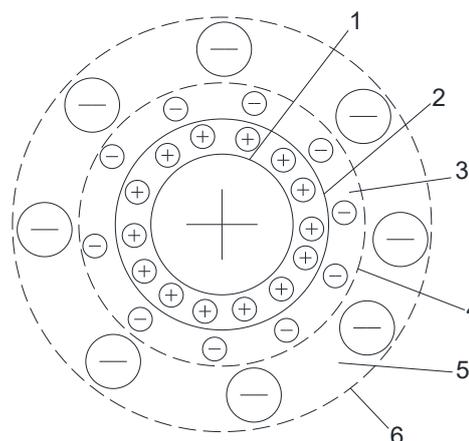


Рис. 2. Строение мицеллы [19]

1 – агрегат; 2 – ядро; 3 – слой противоионов;
4 – коллоидная частица; 5 – диффузный слой;
6 – мицелла

В соответствии с теорией [21] системы зарядового принципа способны передавать заряд на большое расстояние, а модель ассоциативной комбинации возможно построить, основываясь на величинах избыточного или недостающего заряда. Равномерное распределение мицелл в системе можно объяснить наличием одноименного заряда на внешних концах молекул, как показано на рисунке 2. Основываясь на магнитных свойствах, система приходит в равновесное положение.

Спиновая модель взаимодействия, при отсутствии внешнего возбудителя, действует по такому же принципу, как и зарядовая: молекула способна передавать обменное воздействие, распространяя его, таким образом, на всю систему. Сосредоточенность обменного воздействия в большом объеме приводит к кратности спин-поляризованных слоев, так же как зарядовая поляризация приводит к кратным электрическим слоям. В связи с тем, что хвосты спин-поляризованных молекул параллельны, возникает взаимное отталкивание, что делает такую систему довольно прочной и устойчивой [21].

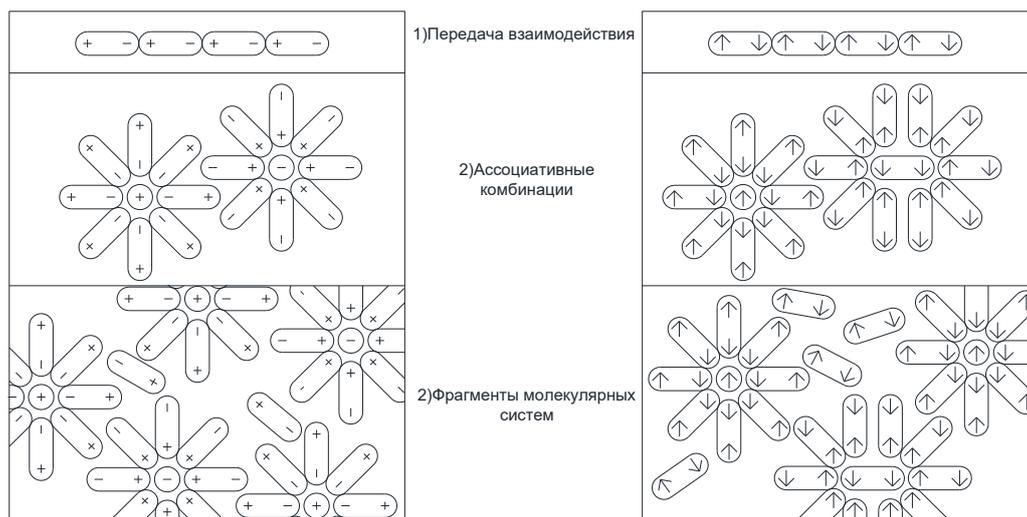


Рис. 3. Зарядовая и спиновая модели взаимодействия молекулярных систем [21]

Таким образом, можно предположить, что зарядовое взаимодействие оказывает влияние на все процессы, происходящие в НДС, однако, воздействие высоких температур или давления влияют на магнитные свойства системы, провоцируя смещение равновесия с изменением ее свойств. В зависимости от интенсивности воздействия внешних факторов можно наблюдать увеличение магнитных частиц в результате их агломерации или самосборки (роста числа и размеров агрегатов асфальтенов) [22].

Стоит отметить, что, имея разнящееся видение относительно строения нефтяных битумных

систем, ученое сообщество склоняется к мнению, об иерархическом характере строения нефтяных остатков и надмолекулярных структур в них [4, 23-27].

Таким образом, каждая последующая работа в области структурирования АСК или асфальтоногенеза [28], является продолжением и развитием направления исследований, начатых Йеном [29-30].

Выполненная систематизация знаний позволила И.Р. Кузееву [31] предложить следующую иерархию формирования надмолекулярной структуры АСК (рис. 4).

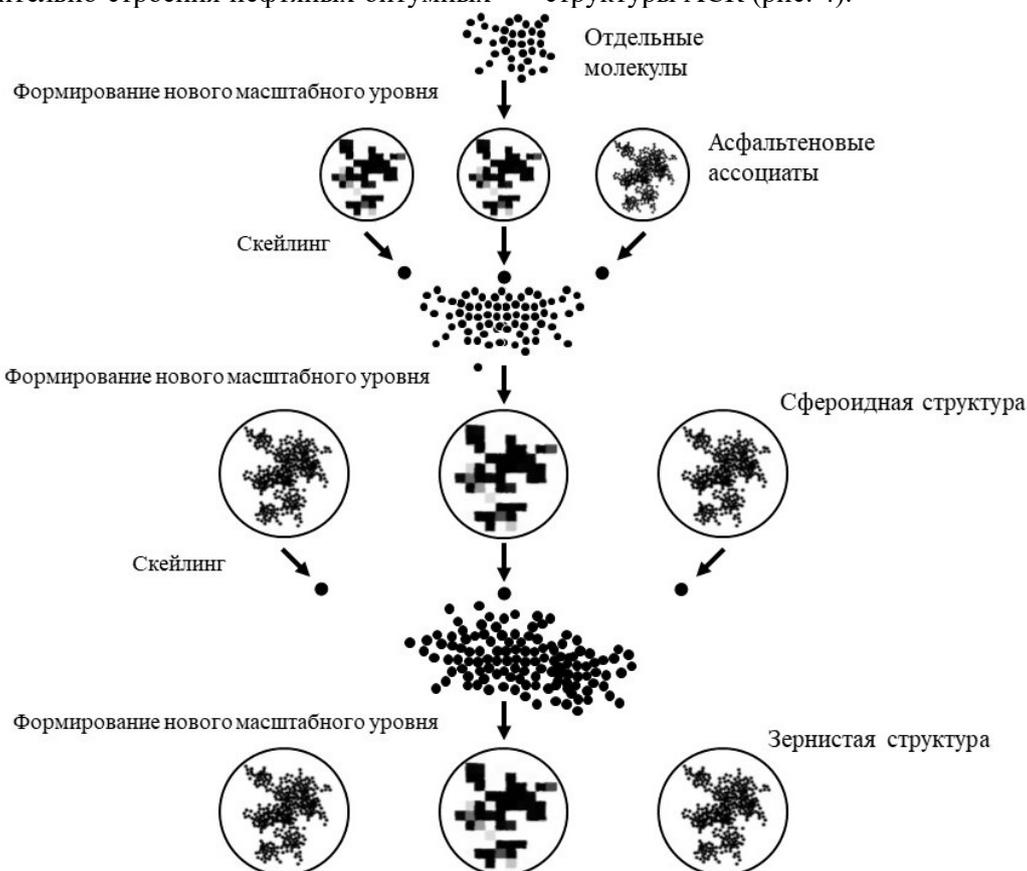


Рис. 4. Иерархическая модель стадий роста асфальтеновой дисперсной фазы [31]

В соответствии с предложенной моделью, первому уровню образований соответствуют первичные асфальтеновые ассоциаты с размерностью 7...10 нм, затем следуют сфероидные образования величиной 100...900 нм, которые в процессе самосборки трансформируются в зернистую структуру вещества размером $(1...5) \cdot 100^4$ нм, затем формируются скопления зерен величиной $(2...7) \cdot 100^5$ нм. Полученные данные нашли подтверждение в ряде многих работ и позволили разработать теорию о фрактальности парамагнитных образованиях дисперсной фазы [24]. В свою очередь, исследования авторов [32] подтвердили модель Йена и продемонстрировали наличие трех этапов самосборки АСК: число молекул асфальтенов или агрегационное число $g_z = 8...10$ – наноагрегация; $g_z = 14...16$ – кластеризация, флокуляция возникает при самосборке асфальтенов в агрегаты с $g_z \geq 25$.

Значимый вклад в понимание и определение молекул асфальтенов внесли работы [33–36], информирующие, что только асфальтены растворяются до образования в 2...3 молекулы и не агрегируют при использовании теста на растворимость в толуоле и бензоле.

Из проекции знаний, полученных о строении и фазовых превращениях в НДС на битумы нефтяные дорожные, следует, что в процессе технологических операций по доставке, отгрузке битумных вяжущих потребителю, а также на этапе переработки битумного вяжущего в строительную продукцию (мастики, эмульсии, асфальтобетонная смесь и др.) дисперсионная среда и асфальтены в битумах подвергаются химическим и физическим преобразованиям, происходят динамические процессы образования-разрушения кластеров, состоящих из макромолекул и их ассоциатов. Это обусловлено тем, что изменения в мальтеновой среде битума протекают более динамично, в результате чего масла и смолы деградируют, теряя свою ароматичность и растворяющую способность. Нарушение равновесия в системе создает благоприятные условия для самосборки (агрегации) асфальтенов и их седиментации, в результате случайных блужданий сначала формируется большое число мелких кластеров. Дальнейшее движение и агрегация частиц и кластеров приводит к образованию связанной пачечной системы кластеров из асфальтенов [10], что проецируется на показатели свойств битума и, в первую очередь, на его реологические параметры.

Стоит отметить, интересные процессы, выявленные коллективом авторов [37, 38], связанные с обратимостью структурирования асфальтенов и возвращению НДС в устойчивое коллоид-

ное состояние при нагревании в диапазоне температур 120...140 °С. Подобные переходы исследователи объясняют ослаблением взаимодействия между асфальтенами в кластерах и возникновением «дефектов» структуры, в результате чего возрастает «затухающая» растворяющая способность мальтеновой части, наблюдается временная пептизация АСК. Однако, необходимо понимать, что любые компонентные превращения, протекающие при термолизе битума, связанные с временной пептизацией АСК, деструкцией и образованием новых структур асфальтенов представляют собой последовательный процесс конденсации и агрегации с образованием после каждого термического цикла более высокомолекулярных соединений.

Процессам, протекающим в асфальтенах, выделенных из природного битума, при температуре 120 °С также посвящена работа [39], в которой отмечается, что асфальтены претерпевают термическую деструкцию за счет разрыва ковалентных связей с образованием газообразных, масляных и смолистых продуктов с увеличением ароматичности и снижением доли нафтенового и алифатического углерода за счет отщепления низкомолекулярных фрагментов и последующей рекомбинацией крупных радикалов с увеличением молекулярной массы. Описанные механизмы превращений в полной мере отражают и объясняют динамику процессов, протекающих в битумных системах. Специфика структуры битума и сфер его применения определяют ряд его ключевых особенностей перед другими НДС. Так, например, битум в течение фазы существования (от выпуска партии до укладки в составе асфальтобетонной смеси в покрытие и после) претерпевает циклические термические воздействия, нарушающие равновесие коллоидной системы. Интенсивность деструктивных процессов усугубляется воздействием внешних факторов. Самыми агрессивными из них являются, как отмечалось, высокие температуры и давление, инициирующие процесс самосборки АСК в битуме, необратимо изменяющие структуру, а, следовательно, способствующие его старению. Запущенный процесс старения битумного вяжущего, с точки зрения коллоидной химии, проявляется неравномерно, посредством изменения его дисперсной структуры, реологических, а, впоследствии, и физических характеристик.

Фундаментальными исследованиями [40] было доказано, что структурирование в ассоциаты асфальтенов НДС начинается при достижении определенной концентрации свободных радикалов. Следовательно, скорость образования и самосборки свободных радикалов определяет ин-

тенсивность протекания самоорганизации асфальтенов во флюкулы [40] или зернистую структуру [40] и деструкции битума, с точки зрения реологических и эксплуатационных параметров. Если рассматривать технологический процесс приготовления асфальтобетонной смеси на АБЗ, где битум распределяется на поверхности каменного материала в тонкой пленке, то негативное воздействие температуры и давления увеличивается за счет сегрегации компонентов битума в структуру минерального материала [41], как итог, вязущее в смеси, выходит с непрогнозируемыми свойствами [42].

Таким образом, можно предположить, что ингибируя процессы агрегации АСК и формируя буферную зону из мальтеновой части с подавлением интенсивности фазовых переходов можно замедлить интенсивность деструктивных процессов в битуме.

Воздействовать на структуру битума, с целью улучшения реологических характеристик, возможно несколькими способами: при помощи магнитного поля [43], обработки ультразвуком [44], введением реологических добавок [19, 45–47] или создавая физические барьеры агрегации асфальтенов [48, 49].

Известно [43, 50], что в процессе воздействия магнитного поля на коллоидную битумную систему наблюдается увеличение содержания насыщенных и ароматических соединений и уменьшение смол и асфальтенов. При этом, было установлено, что битумная система под воздействием только магнитного поля склонна к восстановлению полному или частичному. Применение ультразвуковой обработки битума влияет на температуру начала кристаллизации, замедляя фазовые переходы мальтеновой части в асфальтены

[44, 51–52]. Однако данные изменения не способны сохранять свою стабильность в течение длительного времени, а процесс релаксации системы составляет 2–7 суток [44].

Таким образом, имеющиеся исследовательские работы демонстрируют, что наиболее эффективным способом регулирования показателей свойств битума, в том числе реологических, является введение малого количества добавки. Подобные технологические подходы нацелены не только на улучшение показателей битума, но и асфальтобетонной смеси [53–54].

В последнее время в разных отраслях [55–59] набирает популярность использование добавки на основе органоглины. Наиболее широко такие добавки используются в лакокрасочной промышленности для повышения стойкости красок, доказана возможность повышения прочности бетона, модифицированного органоглиной. Однако воздействие органоглин на битумные системы практически не изучено. Очевидно, что перспективным и соответствующим передовому уровню техники является изучение влияния реологических добавок на битумную систему.

Целью работы является исследование влияние реологической добавки «Viscogel ED2» и механизма ее действия на реологические свойства битума марки БНД, а также его структурно-механические показатели.

Материалы и методы. Реологическая добавка «Viscogel ED2» - это мелкодисперсный порошок белого цвета. В соответствии с выполненными ранее исследованиями [60], общий химический анализ порошка показал значительное присутствие двух элементов: углерода и кислорода, а также меньшее количество различных примесей (табл. 1).

Таблица 1

Химический состав модифицирующей добавки

Химические элементы	C	O	Al	Mg	Si	Fe
Масса, %	33,3	34,52	7,59	1,36	20,13	1,50

Так же, в составе содержится незначительное количество таких элементов как: Na, P, S, Cl, K, Ca.

Исследование структуры порошка на растровом электронном микроскопе показало, что добавка состоит из мелкодисперсных зерен средним размером 20–40 мкм (рис. 5) в сухом состоянии.

Исследование влияния добавки на структуру битума производилось на основе измерения динамической вязкости, которая была выбрана основополагающим реологическим фактором. В случае, если добавка оказывает какое-то воздействие на дисперсную структуру битума, в первую

очередь это отразится на изменении вязкости образца [60–62].

В работе использовался битум нефтяной дорожной марки БНД 50/70, Московского НПЗ (табл. 2).

Показатели свойств битума определялись в соответствии со стандартными методиками: пенетрация при температуре тестирования 0 и 25 °С по ГОСТ 11501-78, температуры размягчения и хрупкости по ГОСТ 11506-73 и ГОСТ 11507-78 соответственно.

В подготовленные и разогретые до 140 °С пробы битума вводилась реологическая добавка в количестве 1–5 %, после чего система подвер-

галась перемешиванию посредством лабораторного смесителя «Silverson L5T» в течение

30–40 минут. Сразу после смешения пробы помещались в кюветы, для дальнейшего испытания на вискозиметре.

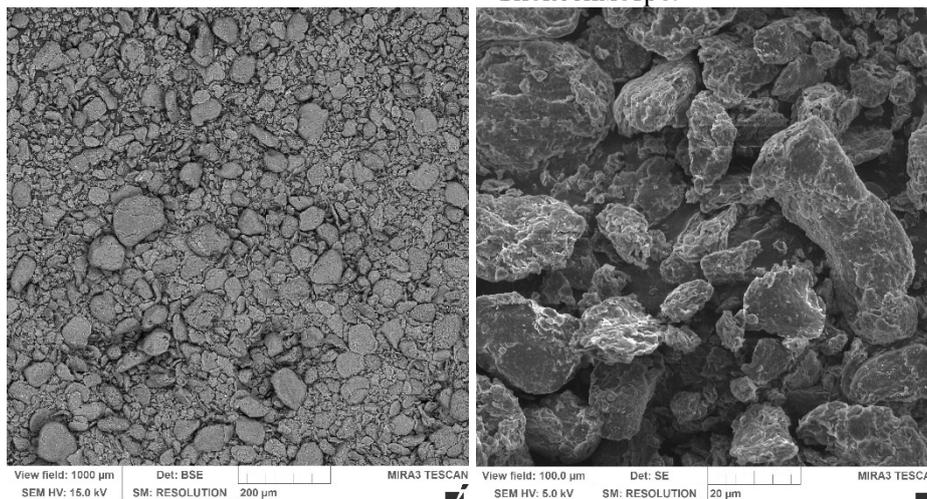


Рис. 5. Микрофотографии добавки «Viscogel ED2»

Таблица 2

Химический состав модифицирующей добавки

Глубина проникания иглы (пенетрация), мм ⁻¹		Температура, °С	
25 °С	0 °С	размягчения	хрупкости
55	25	53	-19

Измерение динамической вязкости производилось на ротационном вискозиметре Brookfield DV2T. Температура испытания составляла от 120 до 200 °С с шагом в 20 °С. Скорость вращения шпинделя подбиралась индивидуально для каждой температуры испытаний, исходя из инструкции к проведению испытаний «Brookfield DV2T. Operating Instructions. Manual No. M13-167».

Также определялся краевой угол смачивания, который является важной технологической характеристикой и косвенно характеризует адгезионные свойства битума и каменного материала [63, 64].

Для этого образцы битума модифицировались добавкой в количестве: 0,5 %, 1 %, 2,5 % от массы битума и перемешивались по тому же принципу, как при определении вязкости. Полученные пробы подвергались процессу старения в сушильном шкафу в течение: 24 и 48 часов при температуре 165 °С, с обеспечением контакта битума с воздушной средой. Осаждение капли осуществлялось на подготовленное предметное стекло при температуре битума 120 °С, так как при данной температуре наблюдаются наибольшие расхождения в вязкости образцов и, как следствие, более явно выраженные реологические свойства [60].

Основная часть. В основе товарной добавки с коммерческим названием «Viscogel ED2» лежит бентонитовая глина из группы смектитов,

состоящая главным образом из монтмориллонита. Механизм действия рассматриваемой добавки заключается в способности разбухать при поглощении органических молекул растворителей и обладает значительными катионообменными свойствами.

На сегодняшний день Viscogel, как и другие органоглины, в том числе Российского производства, нашел свое широкое применение в лакокрасочной промышленности, что обусловлено совокупностью его уникальных свойств: тиксотропная добавка проявляет легкость при диспергировании, предотвращает оседание пигментов в коллоидной системе, контролирует реологические параметры систем, отличается высокой диспергируемостью.

Основываясь на коллоидном строении битума и знаниях о природе взаимодействия составляющих среды и асфальтеновой фазы, можно предположить, что частицы реологической добавки, вступая во взаимодействие с мальтеновой средой, являющейся полярным органическим растворителем, набухают и притягиваются к наиболее полярным частицам битума – асфальтенам, создают устойчивую буферную зону, препятствующую процессам самосборки асфальтенов в различные по размерности структуры. Таким образом, происходит физическое отделение фазы (асфальтенов) и мальтеновой среды (рис. 6).

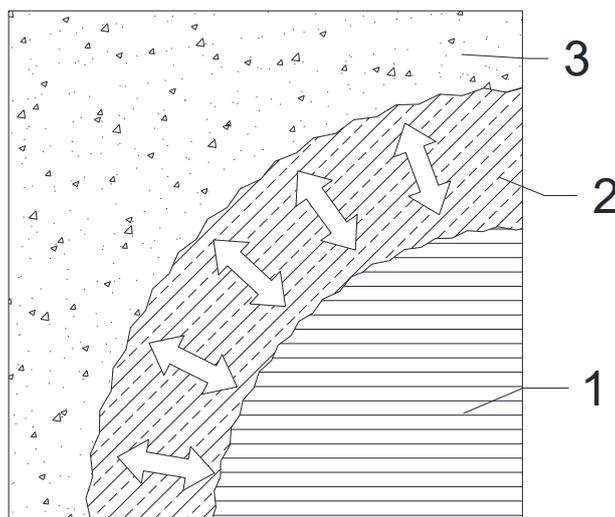


Рис. 6. Схема взаимодействия добавки в дисперсной структуре битума:
 1 – асфальтовая фаза, 2 – буферная зона, образованная добавкой в мальтеновой среде,
 3 – мальтеновая среда

Можно предположить, что такое взаимодействие будет препятствовать агрегации асфальтовых и фазовым переходам мальтенов в асфальтены, сохраняя систему стабильной в течение времени под воздействием внешних факторов,

замедляя процессы деструкции в структуре битумного вяжущего и делая такую систему менее склонной к процессам старения.

Результаты измерения динамической вязкости (рис. 7) показали, что увеличение показателя вязкости наблюдается в образцах с концентрацией добавки 2–5 %.

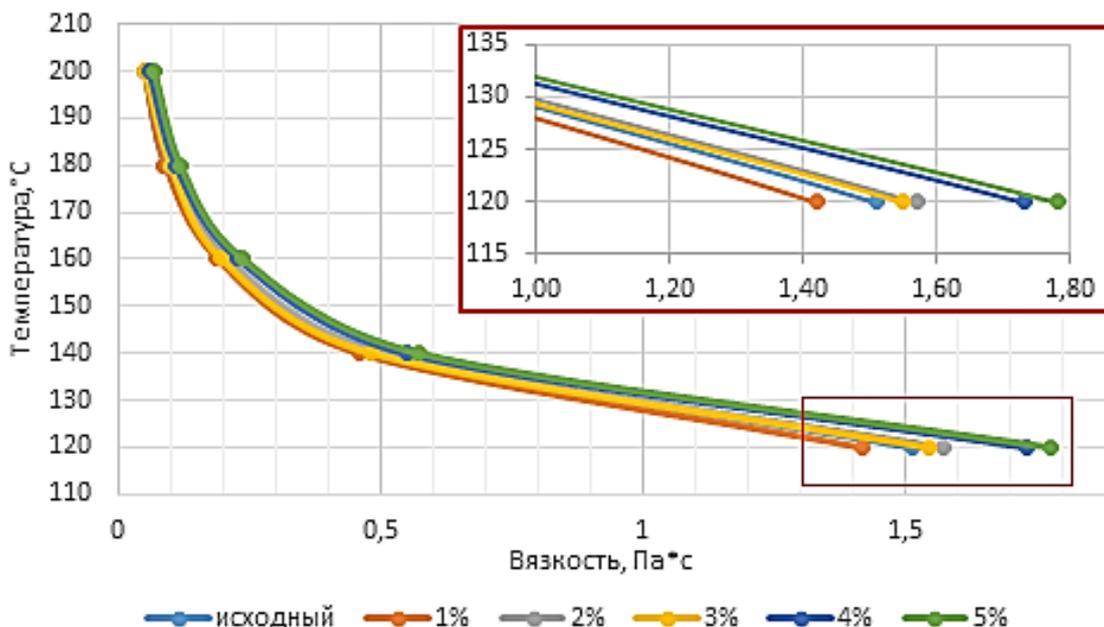


Рис. 7. Зависимость вязкости образца битума от концентрации реологической добавки

В образце с содержанием добавки 1 % кривая вязкости располагается ниже кривой исходного образца битума на протяжении всего цикла испытаний в диапазоне температур 120–200 °С. Данные результаты подтверждают предположения о воздействии добавки «Viscogel» на реологические свойства битума. Можно предположить, что уменьшение вязкости коллоида связано с влиянием добавки на структурные связи внутри системы. Кроме того, по результатам вязкости

можно предположить, что в дальнейшем битум, модифицированный 1 % добавки «Viscogel» будет обладать более устойчивыми реологическими свойствами.

Результаты определения краевого угла смачивания образцов битума подтверждают данные по вязкости о стабильности реологических свойств образца, модифицированного 1 % добавки «Viscogel» (табл. 3).

Таблица 3
**Краевой угол смачивания
 модифицированных образцов битума**

Время старения, ч	Концентрация модификатора, %			
	0	0,5	1,0	2,5
0	95,52	101,89	94,00	96,52
24	103,37	102,25	94,24	101,23
48	115,77	108,78	96,61	110,31

В соответствии с представленными данными видно, что в образце с содержанием 1 % модификатора изменение краевого угла смачивания через 24 часа испытания практически не произошло, а по прошествии 48 часов прирост показателя величины краевого угла смачивания значительно меньше данных, полученных для параллельных наполненных битумных систем.

В соответствии с исследованиями [65], краевой угол смачивания может свидетельствовать о качестве битумного вяжущего, применяемого в асфальтобетонной смеси (рис. 8).

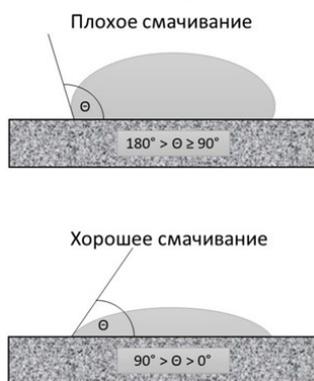


Рис. 8. Угол смачивания капли битума [34]

Смачивание описывает поведение жидкости, в нашем случае битумной системы, при контакте с поверхностью твердого вещества, когда поведение системы определяется ее поверхностным натяжением. Можно предположить, что в случае введения в битум реологической добавки в количестве 1 % формируются устойчивые когезионные связи, позволяющие сохранить каплю устойчивой под действием высоких температур в течение времени постановки эксперимента [60]. Очевидно, что за счет увеличения когезии внутри исходного битума и вяжущих, модифицированных не оптимальным содержанием добавки, наблюдается ухудшение смачивания поверхности и увеличение жесткости системы ввиду нарушения равновесия в коллоидной системе, проявляющейся в виде истощения или деградации мальтевой среды. Основной характеристикой состояния в этом случае, очевидно, выступает механическая связанность участвующих фаз, вызванная упрочнением молекулярного взаимодействия в пограничном слое. Согласно теории адсорбции и смачивания, сохранение угла смачивания вяжущего, в процессе термостатирования, модифицированного 1 % добавки, сохраняет термодинамическое равновесие в течение всего процесса. В случае, если пограничный слой битумного коллоида термодинамически не стабилен, капля изменяется.

Вводя коэффициент «Δ», обозначающий соотношение показателей образцов битума до и после старения получим следующие данные (рис. 9).

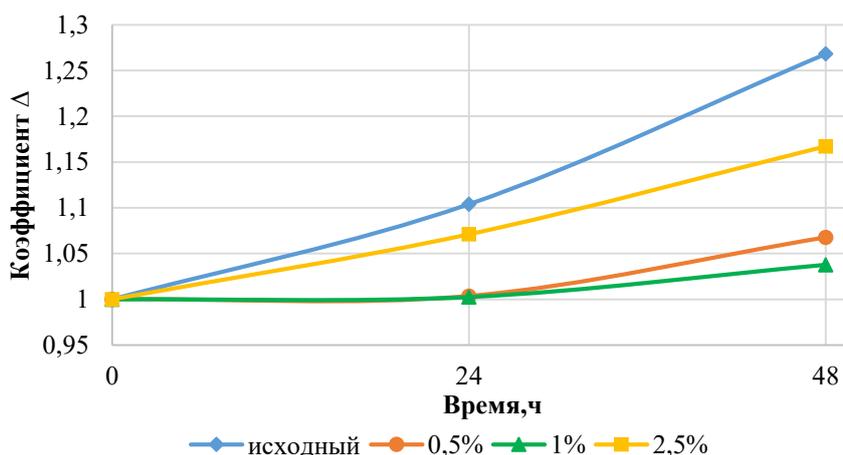


Рис. 9. Динамика изменения вязкости образцов битума в процессе старения

Из графика видно, что образец, модифицированный 1 % реологической добавки, показывает наименьшее отклонение от исходных показателей битумного коллоида в начальный момент эксперимента. Максимальный прирост реологических характеристик характерен для эталонного

битума без модификации реологической добавкой.

Выводы. Предложена схема взаимодействия реологической добавки с дисперсной коллоидной структурой битума.

В результате определения вязкости и краевого угла смачивания установлено рациональное содержание добавки, позволяющее управлять реологическими и технологическими показателями битума. Можно сделать вывод, что введение вообще реологических добавок и, в частности, 1 % добавки «Viscogel» наилучшим образом влияет на показатели битума, уменьшая вязкость, но при этом сохраняя когезионные свойства битума.

На примере добавки «Viscogel ED2» доказана эффективность реологических добавок как инструмента, позволяющего сохранять стабильность коллоидной системы в процессе термолиза. Можно предположить, что применение подобных модификаторов позволяет формировать буферную зону на границе раздела «асфальтеновая фаза – дисперсионная среда (мальтеновая часть)», предохраняя мальтеновую часть от преждевременной деградации, тем самым затормаживая процессы самосборки асфальтенов. В общем виде, процесс модифицирования заключается в ингибировании битума от пагубного воздействия процессов старения, сохранении равновесия в системе «асфальтены – мальтены» и стабилизации свойств вяжущего.

Результаты исследования свидетельствуют о необходимости дальнейшей проработки воздействия реологической добавки не только на битум, но и на свойства асфальтобетонной смеси.

Благодарность. Работа выполнена с использованием оборудования на базе Центра высоких технологий БГТУ им. В.Г. Шухова.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Фазылзянова Г.Р., Охотникова Е.С., Юсупова Т.Н., Ганеева Ю.М. Влияние структурно-группового состава асфальтенов на технологические свойства битумов // Вестник Технологического университета. 2021. Т. 24. № 2. С. 70–73.
2. Сюняев З.И., Сафиева Р.З., Сюняев Р.З. Нефтяные дисперсные системы. Москва: Химия, 1990. 224 с.
3. Савицкая Т.А., Котиков Д.А. Пособие для самостоятельной работы над лекционным курсом Коллоидная химия: вопросы, ответы и упражнения. Пособие для студентов химического факультета. Минск: БГУ, 2009. 140 с.
4. Ткачев С.М. Иерархическая структура строения нефтяных остатков и битумов // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия С, Фундаментальные науки. 2006. № 4. С. 150–155.
5. Фролов И.Н., Юсупова Т.Н., Зиганшин М.А., Охотникова Е.С., Фирсин А.А. Релаксационные и фазовые переходы при формировании структуры нефтяных битумов по данным модулированной ДСК // Вестник Казанского технологического университета. 2016. Т. 19, № 5. С. 67–72.
6. Mullins O.C. The Asphaltenes // Annu. Rev. Anal. Chem. 2011. Vol. 4. Pp. 393–418. DOI:10.1146/annurev-anchem-061010-113849
7. Fávero C.V.B., Maqbool T., Hoepfner M., Haji-Akbari N., Fogler H.S. Revisiting the flocculation kinetics of destabilized asphaltenes // Adv. Coll. Interf. Sci. 2017. Vol. 244. Pp. 267–280. DOI: 10.1016/j.cis.2016.06.013
8. Wang H., Xu H., Jia W., Liu J., Ren S. Revealing the Intermolecular Interactions of Asphaltene Dimers by Quantum Chemical Calculations // Energy&Fuels. 2017. Vol. 31. № 3. Pp. 2488–2495. DOI:10.1021/acs.energyfuels.6b02738
9. Люлин С.В., Глова А.В., Фалькович С.Г., Иванов В.А., Назарычев В.М., Люлин А.В., Ларин С.В., Антонов С.В., Ganap P., Kenny J.M. Компьютерное моделирование асфальтенов (обзор) // Нефтехимия. 2018. Т. 58, № 6. С. 633–656. DOI:10.1134/S002824211806014X
10. Мухаметзянов И.З. Идентификация структуры при компьютерном имитационном моделировании кластеров в нефтяных дисперсных системах // Кибернетика и программирование. 2016. № 3. С. 66–75. DOI: 10.7256/2306-4196.2016.3.19244
11. Мухаметзянов И.З., Кузеев И.Р. Фрактальная структура парамагнитных агрегатов нефтяных пеков // Коллоидный журнал 1991. Т. 53. № 4. С. 762–766.
12. Долوماتов М.Ю., Шуткова С.А., Дезорцев С.В. Исследование структуры наночастиц нефтяных асфальтенов // Башкирский химический журнал. 2011. № 3. С. 18–21.
13. Рыскулова Г.Р., Ширяева Р.Н., Серебренников Д.В. Исследование состава асфальтенов высоковязких нефтей методом ИК-спектроскопии // Вестник Башкирск. ун-та. 2016. № 4. С. 928-929.
14. Долوماتов М.Ю., Шуткова С.А., Дезорцев С.В. Исследование характеристик электронной структуры нефтяных смол и асфальтенов // Башкирский химический журнал. 2010. Т. 17, № 3. С. 211–218.
15. Шуткова С. А., Долوماتов М. Ю., Бахтин Р. З., Телин А. Г., Шуляковская Д. О., Харисов Б. Р., Дезорцев С. В. Исследование надмолекулярной структуры наночастиц нефтяных асфальтенов // Башкирский химический журнал. 2012. № 4. С. 220–225.
16. Келбалиев Г.И., Расулов С.Р., Тагиев Д.Б., Мустафаева Г.Р. Механика и реология нефтяных дисперсных систем: монография. Москва: Маска, 2017. 462 с.

17. Баранов В.Я., Фролов В.И. Электрокинетические явления. Учебное пособие. М.: ФГУП «Нефть и газ», РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина, 2007. 54 с.
18. Туманян Б. П. Научные и прикладные аспекты теории нефтяных дисперсных систем. М.: ООО «ТУМА ГРУПП»; Изд-во «Техника», 2000. 336 с.
19. Нейман Р.Э., Вережников В.Н., Кирдеева А.П.; Нейман Р.Э., Вережников В.Н., Кирдеева А.П. Практикум по коллоидной химии (Коллоидная химия латексов и поверхностно-активных веществ): Для химико-технологических специальностей вузов. М.: Издательство "Высшая Школа", 1972. 176 с.
20. Лефедова О.В., Немцева М.П., Вашурин А.С. Основные понятия и определения дисциплин «Физическая химия» и «Коллоидная химия»: учеб. Пособие. Иваново: Иван. гос. хим.-технол. ун-т, 2017. 109 с.
21. Унгер Ф.Г. Наносистемы, дисперсные системы, квантовая механика, спиновая химия. Томск: ТМЛ-Пресс, 2010. 259 с.
22. Лесин В.И., Кокшаров Ю.А., Хомутов Г.Б. Магнитные наночастицы в нефти // Нефтехимия. 2010. Т. 50, № 2. С. 114–117.
23. Yen T.F. Structures and dynamics of asphaltene. New York.: Plenum Press, 1998. 450 p.
24. Мухаметзянов И.З. Структурирование в жидкой фазе и фазовые переходы при термоллизе нефтяных остатков: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. Уфа: УНИ, 1990.
25. Куликов Д.В., Мекалова Н.В., Закирничная М.М. Физическая природа разрушения: Учеб. пособие для вузов / Под общ. ред. И.Р. Кузеева. Уфа.: УГНТУ, 1999. 396 с.
26. Суховило Н.П., Ткачев С.М., Ощепкова Н.В. Изучение надмолекулярной структуры дорожных битумов // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия С. Фундаментальные науки. 2004. № 4. С. 62–68.
27. Кузеев И.Р., Абызгильдин Ю.М., Мухаметзянов И.З. Фазовые переходы в нефтяных системах при термоллизе с образованием твердого углеродистого вещества. Уфа: УГНТУ, 1990. 118 с.
28. Лукашевич В.Н., Лукашевич О.Д., Мошкин Р.И. Влияние технологии производства на асфальтогенез в дисперсно-армированных битумо-минеральных композициях // Вестник ТГАСУ. 2022. Т. 24. № 5. С. 178–188. DOI: 10.31675/1607-1859-2022-24-5-178-188
29. Галимова Г.А., Юсупова Т.Н., Ибрагимова Д.А., Якупов И.Р. Состав, свойства, структура и фракции асфальтенов нефтяных дисперсных систем // Вестник Казанского технологического университета. 2015. № 20. С. 60–64.
30. Сафиева Р.З. Химия нефти и газа. Нефтяные дисперсные системы: состав и свойства (часть 1): Учебное пособие. М.: РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина, 2004. 112 с.
31. Кузеев И.Р., Самигуллин Г.Х., Куликов Д.В., Закирничная М.М., Мекалова Н.В. Сложные системы в природе и технике. Уфа: УГНТУ, 1997. 227 с.
32. Sedghi M., Goual L., Welch W., Kubelka J. Effect of asphaltene structure on association and aggregation using molecular dynamics // J. Phys. Chem. B. 2013. Vol. 117, № 18. Pp. 5765–76. DOI:10.1021/jp401584u
33. Goual L., Sedghi M., Wang X., Zhu Z. Asphaltene aggregation and impact of alkylphenols // Langmuir. 2014. № 30 (19). Pp. 5394–403. DOI:10.1021/la500615k
34. Dunn N.J.H., Gutama B., Noid W.G. Simple Simulation Model for Exploring the Effects of Solvent and Structure on Asphaltene Aggregation // J. Phys. Chem. B. 2019. № 123 (28). Pp. 6111–6122. DOI: 10.1021/acs.jpcc.9b04275
35. Sjöblom J., Simon S., Xu Z. Model molecules mimicking asphaltene // Adv Colloid Interface Sci. 2015. Vol. 218. Pp. 1–16. DOI:10.1016/j.cis.2015.01.002
36. Torres A., Amaya Suárez J., Remesal E.R., Márquez A.M., Fernández Sanz J., Rincón Cañibano C. Adsorption of prototypical asphaltene on silica: first-principles DFT simulations including dispersion corrections // J. Phys. Chem. B. 2018. Vol. 122, № 2. Pp. 618–624. DOI:10.1021/ACS.JPCB.7B05188
37. Ганеева Ю.М., Юсупова Т.Н., Романов Г.В. Структурная организация асфальтенов // Доклады Академии наук. 2009. Т. 426, № 5. С. 629–631.
38. Шигабутдинов А.К., Пресняков В.В., Ананд В., Новиков М.А. Физико-химические и технологические характеристики остатка комбинированного гидрокрекинга гудрона, получаемого при промышленной эксплуатации установки VCC на КППТО АО «ТАИФ-НК» // Вестник технологического университета. 2022. Т. 25, № 7. С. 55–59. DOI:10.55421/1998-7072_2022_25_7_55
39. Корнеев Д.С., Певнева Г.С., Головкин А.К. Термические превращения асфальтенов тяжелых нефтей при температуре 120 °С // Журнал СФУ. Химия. 2019. № 1. С. 101–117. DOI: 10.17516/1998-2836-0110
40. Кузеев И.Р., Куликов Д.В., Хайбулин А.А. Структурная организация нефтяных пеков // Нефть и газ. 1997. № 4. С. 93–101.
41. Рыбачук Н.А. Старение битумного вяжущего // Вестник ИргТУ. 2015. № 2(97). С. 120–125.

42. Скрипкин А.Д., Старков Г.Б., Колесник Д.А. Оценка старения битума в тонких пленках с применением анализатора тонкой хроматографии «Iatroscan Mk-5» // Вестник ХНАДУ. 2008. № 40. С. 32–35.
43. Мусина Н.С., Марютина Т.А. Применение магнитной обработки для изменения состава и физико-химических свойств нефти и нефтепродуктов // Журнал аналитической химии. 2016. Т. 71, № 1. С. 29–36. DOI: 10.7868/S0044450216010096
44. Ануфриев Р.В., Волкова Г.И. Влияние ультразвука на структурно-механические свойства нефтей и процесс осадкообразования // Известия ТПУ. 2016. Т. 327, № 10. С. 50–58.
45. Беляев К.В., Чулкова И.Л. Модификация битума техническим углеродом // Вестник СибаДИ. 2019. Том. 16, № 4 (68). С. 472–484.
46. Ильин С.О., Аринина М.П., Мамулат Ю.С., Малкин А.Я., Куличихин В.Г. Реологические свойства дорожных битумов, модифицированных полимерными и наноразмерными твердыми добавками // Коллоидный журнал. 2014. Т. 76, № 4. С. 461–471. DOI: 10.7868/S0023291214040053
47. Galeev R., Abdrakhmanova L., Nizamov R. Nanomodified organic-inorganic polymeric binders for polymer building materials // Solid State Phenomena. 2018. Vol. 276. Pp. 223–228. DOI: 10.4028/www.scientific.net/SSP.276.223
48. Шеховцова С.Ю., Высоцкая М.А. Влияние углеродных нанотрубок на свойства ПБВ и асфальтобетона // Вестник МГСУ. 2015. № 11. С. 110–119.
49. Бояр С.В., Копытов М.А. Структурно-групповые характеристики смол и асфальтенов, выделенных из продуктов термоллиза смеси нефтяного остатка и подсолнечного масла // Башкирский химический журнал. 2021. Т. 28, № 3. С. 58–64. DOI:10.17122/bcj-2021-3-58-64
50. Лоскутова Ю.В., Юдина Н.В. Влияние магнитного поля на структурно-реологические свойства нефтей // Известия ТПУ. 2006. № 4. С. 104–109.
51. Муллакаев М.С., Абрамов В.О., Волкова Г.И., Прозорова И.В., Юдина Н.В. Исследование влияния ультразвукового воздействия и химических реагентов на реологические свойства вязких нефтей // Оборудование и технологии для нефтегазового комплекса. 2010. № 5. С. 31–34.
52. Волкова Г.И., Ануфриев Р.В., Юдина Н.В. Влияние ультразвуковой обработки на состав и свойства парафинистой высокосмолистой нефти // Нефтехимия. 2016. Т. 56, № 5. С. 454–460. DOI 10.7868/S0028242116050208
53. Шестаков Н.И., Урханова Л.А., Буянтуев С.Л., Семенов А.П., Смирнягина Н.Н. Асфальтобетон с использованием углеродных наномодификаторов // Вестник БГТУ имени В. Г. Шухова. 2015. № 6. С. 131–139.
54. Иноземцев С.С., Королев Е.В. Разработка наномодификаторов и исследование их влияния на свойства битумных вяжущих веществ // Вестник МГСУ. 2013. № 10. С. 131–139.
55. Бегиева М.Б., Соблирова А.А., Бляшев А.В., Амшокова Д.Б., Хараев А.М. Органоглина модифицированная N-диаллиламиноизоопентановой кислотой и исследование ее структуры // Технические науки – от теории к практике. 2016. №5-2 (53). С. 18–24.
56. Логанина В. И., Петухова Н. А. Повышение стойкости полистирольных красок при введении в рецептуру органоминеральной добавки // ВЕЖПТ. 2013. №6 (63). С. 21–26.
57. Логанина В.И., Акжигитова Э.Р., Фадеева Г.Д. Сухие строительные смеси с применением местных материалов Пензенского региона // Инженерно-строительный журнал. 2012. №8. С. 37–41.
58. Bulanov P.E. Mavliev L.F., Vdovin E.A., Yagund E.M. The interaction between the kaolinite or bentonite clay and plasticizing surface-Active agents // Mag. Civ. Eng. 2017. Vol. 75. №. 7. Pp. 171–179. DOI: 10.18720/MCE.75.17
59. Переломов Л.В., Атрощенко Ю.М., Минкина Т.М. Переломова И.В., Бауэр Т.В., Пинский Д.Л. Органоглины – новый класс перспективных сорбентов для ремедиации химически загрязненных объектов окружающей среды // Агрохимия. 2021. № 8. С. 82–96. DOI:10.31857/S0002188121080111
60. Киндеев О.Н., Лашин М.В., Курлыкина А.В. Исследование влияния реологической добавки «Viscogel» на краевой угол смачивания битума // Международная научно-техническая конференция молодых ученых БГТУ им. В.Г. Шухова, посвященная 300-летию Российской академии наук : Сборник докладов Национальной конференции с международным участием, Белгород, 18–20 мая 2022 года. Том Часть 9. Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2022. С. 113–118.
61. Helal E., Sherif E., Alaa. G., Saaid Z. Evaluation of asphalt enhanced with locally made nanomaterials // Nanotechnologies in Construction. 2016. Vol. 8. № 4. DOI: 10.15828/2075-8545-2016-8-4-42-67
62. Sarsam S. Improving Asphalt Cement Properties by Digestion with Nano Materials // Research and Application of Material Journal, (RAM). 2013. Vol. 1, № 6. Pp. 61–64. DOI:10.12966/ram.09.01.2013

63. Архипов В.А., Палеев Д.Ю., Патраков Ю.Ф., Усанина А.С. Определение краевого угла смачивания угольной поверхности // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. 2011. № 5. С. 22–27.

64. Абдуллин А.И., Емельянычева Е.А., Дяров И.Н. Оценка адгезии битума к минеральному

материалу в асфальтобетоне на основе его смачивающих свойств // Вестник Казанского технологического университета. 2009. № 4. С. 256–259.

65. Хученройтер Ю., Вернер Т. Асфальт в дорожном строительстве. М.: ИД «АБВ-пресс», 2013. 450 с.

Информация об авторах

Высоцкая Марина Алексеевна, кандидат технических наук, доцент кафедры автомобильных и железных дорог. E-mail: roguri@rambler.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Киндеев Олег Николаевич, аспирант кафедры автомобильных и железных дорог. E-mail: kindeev.o@yandex.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

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

Кабалин Максим Дмитриевич, магистрант кафедры автомобильных и железных дорог. E-mail: Maksipit13@gmail.com. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Поступила 09.02.2023 г.

© Высоцкая М.А., Киндеев О.Н., Курлыкина А.В., Кабалин М.Д., 2023

**Vysotskaya M.A., Kindeev O.N., Kurlykina A.V., Kabalin M.D.*

Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov

**E-mail: roguri@rambler.ru*

ORGANOCLAY BASED ADDITIVE AS A TOOL FOR CONTROL OF RHEOLOGICAL PROPERTIES OF BITUMEN

Abstract. Bitumen is a complex, multicomponent colloidal dispersed system based on the interaction of asphaltenes (phases) and maltenes (medium). In the absence of external influence, the system is relatively stable. Any external action shifts the equilibrium state of the colloid and initiates Ysol aggregation, accompanied by a qualitative change in properties. Thus, a quantitative change in the phase of a colloid implies a qualitative change in its state. One of the promising ways to control the structure formation and indicators of bitumen is the use of rheological additives. The paper presents the results on the modification of road bitumen with the additive "Viscogel" in the concentration range of 1-5%. The influence of the additive on the rheological characteristics of bitumen is determined. The optimal amount of the additive, which has a positive effect on the properties of bitumen, has been established. The data obtained are confirmed by the results of determining the contact angle of wetting of bitumen samples with different concentrations of the additive subjected to the aging process. Test data show system stability over 48 hours of exposure to high temperatures. Based on the existing knowledge about the structure and dispersion of bitumen, a model for the interaction of a rheological additive within the asphaltene-maltenes system is proposed.

Keywords: bitumen, rheology, viscosity, aging, contact angle, rheological additives.

REFERENCES

1. Fazylzyanova G.R., Okhotnikova E.S., Yusupova T.N., Ganeeva Yu.M. Influence of the structural-group composition of asphaltenes on the technological properties of bitumens [Vliyaniye strukturno-gruppovogo sostava asfal'tenov na tekhnologicheskie svoystva bitumov]. Bulletin of the Technological University. 2021. Vol. 24, No. 2. Pp. 70–73. (rus)

2. Sunyaev Z.I., Safieva R.Z., Sunyaev R.Z. Oil dispersed systems [Neftyanye dispersnyye sistemy]. Moscow: Chemistry, 1990. 224 p. (rus)

3. Savitskaya T.A., Kotikov D.A. A manual for independent work on the lecture course Colloid Chemistry: Questions, Answers and Exercises [Posobie dlya samostoyatel'noj raboty nad lekcionnym kursom Kolloidnaya himiya: voprosy, otvety i uprazhneniya]. Manual for students of the

Faculty of Chemistry. Minsk: BGU, 2009. 140 p. (rus)

4. Tkachev S.M. Hierarchical structure of the structure of oil residues and bitumens [Ier-arhicheskaya struktura stroeniya neftyanyh ostatkov i bitumov]. Bulletin of the Polotsk State University. Series C, Basic Sciences. 2006. No. 4. Pp. 150–155. (rus)

5. Frolov I.N., Yusupova T.N., Ziganshin M.A., Okhotnikova E.S., Firsin A.A. Relaxation and phase transitions during the formation of the structure of oil bitumen according to modulated DSC data [Relaksacionnye i fazovye perekhody pri formirovaniy struktury neftyanyh bitumov po dannym modulirovannoy DSK]. Bulletin of the Kazan Technological University. 2016. Vol. 19, No. 5. Pp. 67–72. (rus)

6. Mullins O.C. The Asphaltenes. Annu. Rev. Anal. Chem. 2011. Vol. 4. Pp. 393–418. DOI: 10.1146/annurev-anchem-061010-113849

7. Fávero C.V.B., Maqbool T., Hoepfner M., Haji-Akbari N., Fogler H.S. Revisiting the flocculation kinetics of destabilized asphaltenes. Adv. Coll. Interf. Sci. 2017. Vol. 244. Pp. 267–280. DOI:10.1016/j.cis.2016.06.013

8. Wang H., Xu H., Jia W., Liu J., Ren S. Revealing the Intermolecular Interactions of Asphaltene Dimers by Quantum Chemical Calculations. Energy&Fuels. 2017. Vol. 31, No. 3. Pp. 2488–2495. DOI: 10.1021/acs.energyfuels.6b02738

9. Lyulin S.V., Glova A.V., Falkovich S.G., Ivanov V.A., Nazarychev V.M., Lyulin A.V., Larin S.V., Antonov S.V., Ganan P., Kenny J.M. Computer modeling of asphaltenes (review) [Komp'yuternoe modelirovanie asfal'tenov (obzor)]. Petrochemistry. 2018. Vol. 58, No. 6. Pp. 633–656. DOI: 10.1134/S002824211806014X (rus)

10. Mukhametzyanov I.Z. Structure identification in computer simulation modeling of clusters in oil dispersed systems [Identifikaciya struktury pri komp'yuternom imitacionnom modelirovanii klasterov v neftyanyh dispersnyh sistemah]. Cybernetics and Programming. 2016. No. 3. Pp. 66–75. DOI:10.7256/2306-4196.2016.3.19244 (rus)

11. Mukhametzyanov I.Z., Kuzeev I.R. Fractal structure of paramagnetic aggregates of petroleum pitches [Fraktal'naya struktura paramagnitnyh agregatov neftyanyh pekov]. Colloid. magazine 1991. Vol. 53, No. 4. Pp. 762–766. (rus)

12. Dolomatov M.Yu., Shutkova S.A., Dezortsev S.V. Study of the structure of petroleum asphaltene nanoparticles [Issledovanie struktury nanochastich neftyanyh asfal'tenov]. Bash. chem. well. 2011. No. 3. Pp. 18–21. (rus)

13. Ryskulova G.R., Shiryaeva R.N., Serebrennikov D.V. Investigation of the composition of asphaltenes in high-viscosity oils by IR spectroscopy

[Issledovanie sostava asfal'tenov vysokovyazkih neftej metodom IK-spektroskopii]. Bulletin of Bashkirk. university 2016. No. 4. Pp. 928–929. (rus)

14. Dolomatov M.Yu., Shutkova S.A., Dezortsev S.V. Investigation of the characteristics of the electronic structure of petroleum resins and asphaltenes [Issledovanie harakteristik elektronnoy struktury neftyanyh smol i asfal'tenov]. Bash. chem. well. 2010. Vol.17, No. 3. Pp. 211–218. (rus)

15. Shutkova S.A., Dolomatov M.Yu., Bakh-tizin R.Z., Telin A.G., Shulyakovskaya D.O., Khari-sov B.R., Dezortsev S.V. Study of the supramolecular structure of petroleum asphaltene nanoparticles [Issledovanie nadmolekulyarnoy struktury nanochastich neftyanyh asfal'tenov]. Bash. chem. well. 2012. No. 4. Pp. 220–225. (rus)

16. Kelbaliev G.I., Rasulov S.R., Tagiev D.B., Mustafayeva G.R. Mechanics and rheology of petroleum dispersed systems [Mekhanika i reologiya neftyanyh dispersnyh sistem]: monograph. Moscow: Maska, 2017. 462 p. (rus)

17. Baranov V.Ya., Frolov V.I. Electrokinetic phenomena [Elektrokineticheskie yavleniya]. Tutorial. M.: Federal State Unitary Enterprise "Oil and Gas", Russian State University of Oil and Gas. THEM. Gubkina, 2007. 54 p. (rus)

18. Tumanyan B.P. Scientific and applied aspects of the theory of petroleum dispersed systems [Nauchnye i prikladnye aspekty teorii neftyanyh dispersnyh sistem]. - M.: TUMA GROUP LLC; Publishing House "Tekhnika", 2000. 336 p. (rus)

19. Neiman R.E., Verezhnikov V.N., Kirdeeva A.P.; Neiman R.E., Verezhnikov V.N., Kirdeeva A.P. Workshop on colloidal chemistry (Colloid chemistry of latexes and surfactants) [Praktikum po kolloidnoj himii (Kolloidnaya himiya lateksov i poverhnostno-aktivnyh veshchestv)]: For chemical and technological specialties of universities. Moscow: Higher School Publishing House, 1972. 176 p. (rus)

20. Lefedova O.V., Nemtseva M.P., Vashurin A.S. Basic concepts and definitions of the disciplines "Physical Chemistry" and "Colloid Chemistry" [Osnovnye ponyatiya i opredeleniya disciplin «Fizicheskaya himiya» i «Kolloidnaya himiya»]: textbook. Benefit. Ivanovo: Ivan. state chemical-technological un-t, 2017. 109 p. (rus)

21. Unger F.G. Nanosystems, disperse systems, quantum mechanics, spin chemistry [Nanosistemy, dispersnye sistemy, kvantovaya mekhanika, spinovaya himiya]. Tomsk: TML-Press, 2010. 259 p. (rus)

22. Lesin V.I., Koksharov Yu.A., Khomutov G.B. Magnetic nanoparticles in oil. Petrochemistry [Magnitnye nanochasticy v nefti. Neftekhimiya]. 2010. Vol. 50, No. 2. Pp. 114–117. (rus)

23. Yen T.F. Structures and dynamics of asphaltenes. New York.: Plenum Press, 1998. 450 p.

24. Mukhametzyanov I.Z. Structuring in the liquid phase and phase transitions during the thermolysis of oil residues [Strukturirovanie v zhidkoj faze i fazovye perekhody pri termolize neftyanyh ostatkov]: Abstract of the thesis. dis. ... cand. tech. Sciences. Ufa: UNI, 1990. (rus)
25. Kulikov D.V., Mekalova N.V., Zakirnichnaya M.M. The physical nature of destruction [Fizicheskaya priroda razrusheniya]: Textbook, manual for universities. Ed. ed. I.R. Kuzeev. Ufa.: UGNTU, 1999. 396 p. (rus)
26. Sukhovilo N.P., Tkachev S.M., Oshchepkova N.V. Study of the supramolecular structure of road bitumen [Izuchenie nadmolekulyarnoy struktury dorozhnyh bitumov]. Bulletin of the Polotsk State University. university Ser. C. Fundamental sciences. 2004. No. 4. Pp. 62–68. (rus)
27. Kuzeev I.R., Abyzgil'din Yu.M., Mukhametzyanov I.Z. Phase transitions in petroleum systems during thermolysis with the formation of a solid carbonaceous substance [Fazovye perekhody v neftyanyh sistemah pri termolize s obrazovaniem tverdogo uglerodistogo veshchestva]. Ufa: UGNTU, 1990. 118 p. (rus)
28. Lukashovich V.N., Lukashovich O.D., Moshkin R.I. Influence of production technology on asphaltogenesis in dispersed-reinforced bitumen-mineral compositions [Vliyaniye tekhnologii proizvodstva na asfal'togenez v dispersno-armirovannyh bitumomineral'nyh kompozitsiyah]. Bulletin of TGASU. 2022. Vol. 24. No. 5. Pp. 178–188. DOI: 10.31675/1607-1859-2022-24-5-178-188 (rus)
29. Galimova G.A., Yusupova T.N., Ibragimova D.A., Yakupov I.R. Composition, properties, structure and fractions of asphaltenes in petroleum dispersed systems [Sostav, svoystva, struktura i frakcii asfal'tenov neftyanyh dispersnyh sistem]. Bulletin of the Kazan Technological University. 2015. No. 20. Pp. 60–64. (rus)
30. Safieva R.Z. Chemistry of oil and gas. Petroleum dispersed systems: composition and properties [Himiya nefi i gaza. Neftyanye dispersnye sistemy: sostav i svoystva] (part 1): Textbook. M.: Russian State University of Oil and Gas. THEM. Gubkina, 2004. 112 p. (rus)
31. Kuzeev I.R., Samigullin G.Kh., Kulikov D.V., Zakirnichnaya M.M., Mekalova N.V. Complex systems in nature and technology [Slozhnye sistemy v prirode i tekhnike]. Ufa: UGNTU, 1997. 227 p. (rus)
32. Sedghi M., Goual L., Welch W., Kubelka J. Effect of asphaltene structure on association and aggregation using molecular dynamics. J. Phys. Chem. B. 2013. Vol. 117, No. 18. Pp. 5765–5776. DOI:10.1021/jp401584u
33. Goual L., Sedghi M., Wang X., Zhu Z. Asphaltene aggregation and impact of alkylphenols. Langmuir. 2014. No. 30 (19). Pp. 5394–403. DOI:10.1021/la500615k
34. Dunn N.J.H., Gutama B., Noid W.G. Simple Simulation Model for Exploring the Effects of Solvent and Structure on Asphaltene Aggregation. J. Phys. Chem. B. 2019. No. 123 (28). Pp. 6111–6122. DOI:10.1021/acs.jpcc.9b04275
35. Sjöblom J., Simon S., Xu Z. Model molecules mimicking asphaltenes. Adv Colloid Interface Sci. 2015. Vol. 218. Pp. 1–16. DOI:10.1016/j.cis.2015.01.002
36. Torres A., Amaya Suárez J., Remesal E.R., Márquez A.M., Fernández Sanz J., Rincón Cañibano C. Adsorption of prototypical asphaltenes on silica: first-principles DFT simulations including dispersion corrections. J. Phys. Chem. B. 2018. Vol. 122, No. 2. Pp. 618–624. DOI: 10.1021/ACS.JPCB.7B05188
37. Ganeeva Yu.M., Yusupova T.N., Romanov G.V. Structural organization of asphaltenes [Strukturnaya organizatsiya asfal'tenov]. Reports of the Academy of Sciences. 2009. Vol. 426, No. 5. Pp. 629–631. (rus)
38. Shigabutdinov A.K., Presnyakov V.V., Anand V., Novikov M.A. Physico-chemical and technological characteristics of the residue of the combined hydrocracking of tar obtained during the commercial operation of the VCC unit at the KGPTO of TAIK-NK JSC [Fiziko-himicheskie i tekhnologicheskie harakteristiki ostatka kombinirovannogo gidrokrekinga gudrona, poluchaemogo pri promyshlennoj ekspluatatsii ustanovki VCC na KGPTO AO «TAIK-NK»]. Bulletin of the Technological University. 2022. Vol. 25, No. 7. Pp. 55–59. DOI:10.55421/1998-7072_2022_25_7_55 (rus)
39. Korneev D.S., Pevneva G.S., Golovko A.K. Thermal transformations of asphaltenes in heavy oils at a temperature of 120 °C [Termicheskie prevrashcheniya asfal'tenov tyazhelyh neftej pri temperature 120 °C]. Journal of Siberian Federal University. Chemistry. 2019. No. 1. Pp. 101–117. DOI:10.17516/1998-2836-0110 (rus)
40. Kuzeev I.R., Kulikov D.V., Khaibulin A.A. Structural organization of oil pitches [Strukturnaya organizatsiya neftyanyh pekov]. Oil and gas. 1997. No. 4. Pp. 93–101. (rus)
41. Rybachuk N.A. Bituminous binder aging [Starenie bitumnogo vyazhushchego]. Bulletin of ISTU. 2015. No. 2 (97). Pp. 120–125. (rus)
42. Skripkin A.D., Starkov G.B., Kolesnik D.A. Evaluation of bitumen aging in thin films using the thin chromatography analyzer "Iatroscan Mk-5" [Ocenka stareniya bituma v tonkih plenках s primeneniem analizatora tonkoj hromatografii «Iatroscan Mk-5»]. Bulletin of KhNADU. 2008. No. 40. Pp. 32–35. (rus)

43. Musina N.S., Maryutina T.A. Application of magnetic treatment to change the composition and physical and chemical properties of oil and oil products [Primeneniye magnitnoy obrabotki dlya izmeneniya sostava i fiziko-himicheskikh svoystv nefiti i nefteproduktov]. *Journal of Analytical Chemistry*. 2016. Vol. 71, No. 1. Pp. 29–36. DOI:10.7868/S0044450216010096 (rus)
44. Anufriev R.V., Volkova G.I. Influence of ultrasound on the structural and mechanical properties of oils and the process of sedimentation [Vliyanie ul'trazvuka na strukturno-mekhanicheskie svoystva neftej i process osadkoobrazovaniya]. *Izvestiya TPU*. 2016. Vol. 327, No. 10. Pp. 50–58. (rus)
45. Belyaev K.V., Chulkova I.L. Modification of bitumen with carbon black [Modifikatsiya bituma tekhnicheskim uglerodom]. *Bulletin of SibADI*. 2019. Vol. 16, No. 4 (68). Pp. 472–484. (rus)
46. Ilyin S.O., Arinina M.P., Mamulat Yu.S., Malkin A.Ya., Kulichikhin V.G. Rheological properties of road bitumens modified with polymeric and nanosized solid additives [Reologicheskie svoystva dorozhnykh bitumov, modifitsirovannykh polimernymi i nanorazmernymi tverdymi dobavkami]. *Colloid journal*. 2014. Vol. 76, No. 4. Pp. 461–471. DOI: 10.7868/S0023291214040053 (rus)
47. Galeev R., Abdrakhmanova L., Nizamov R. Nanomodified organic-inorganic polymeric binders for polymer building materials. *Solid State Phenomena*. 2018 Vol. 276. Pp. 223–228 DOI: 10.4028/www.scientific.net/SSP.276.223
48. Shekhovtsova S.Yu., Vysotskaya M.A. Influence of carbon nanotubes on the properties of PMB and asphalt concrete [Vliyanie uglerodnykh nanotrubok na svoystva PBV i asfal'tobetona]. *Vestnik MGSU*. 2015. No. 11. Pp. 110–119. (rus)
49. Boyar S.V., Kopytov M.A. Structural and group characteristics of resins and asphaltenes isolated from thermolysis products of a mixture of petroleum residue and sunflower oil [Strukturno-gruppovyye harakteristiki smol i asfal'tenov, vydelenykh iz produktov termoliza smesi neftyanogo ostatka i podsolnechnogo masla]. *Bashkir Chemical Journal*. 2021. Vol. 28, No. 3. Pp. 58–64. DOI:10.17122/bcj-2021-3-58-64 (rus)
50. Loskutova Yu.V., Yudina N.V. Influence of the magnetic field on the structural and rheological properties of oils [Vliyanie magnitnogo polya na strukturno-reologicheskie svoystva neftej]. *Izvestiya TPU*. 2006. No. 4. Pp. 104–109. (rus)
51. Mullakaev M.S., Abramov V.O., Volkova G.I., Prozorova I.V., Yudina N.V. Investigation of the influence of ultrasonic exposure and chemical reagents on the rheological properties of viscous oils [Issledovanie vliyaniya ul'trazvukovogo vozdeystviya i himicheskikh reagentov na reologicheskie svoystva vyazkikh neftej]. *Equipment and technologies for the oil and gas complex*. 2010. No. 5. Pp. 31–34. (rus)
52. Volkova G.I., Anufriev R.V., Yudina N.V. Influence of ultrasonic treatment on the composition and properties of paraffinic highly resinous oil [Vliyanie ul'trazvukovoy obrabotki na sostav i svoystva parafinistoy vysokosmolistoy nefiti]. *Petrochemistry*. 2016. Vol. 56, No. 5. Pp. 454–460. DOI:10.7868/S0028242116050208 (rus)
53. Shestakov N.I., Urkhanova L.A., Buyantuev S.L., Semenov A.P., Smirnyagina N.N. Asphalt concrete using carbon nanomodifiers [Asfal'tobeton s ispol'zovaniem uglerodnykh nanomodifikatorov]. *Bulletin of BSTU named after V. G. Shukhov*. 2015. No. 6. Pp. 131–139. (rus)
54. Inozemtsev S.S., Korolev E.V. Development of nanomodifiers and study of their influence on the properties of bituminous binders [Razrabotka nanomodifikatorov i issledovanie ih vliyaniya na svoystva bitumnykh vyazhushchih veshchestv]. *Vestnik MGSU*. 2013. No. 10. Pp. 131–139. (rus)
55. Begieva M.B., Soblirova A.A., Blashev A.V., Amshokova D.B., Kharaev A.M. Organoclay Modified with n,N-diallylaminoisopentanoic acid and study of its structure [Organoglina modifitsirovannaya n,N-diallilaminoizopentanovoy kislotoj i issledovanie ee struktury]. *Technical sciences – from theory to practice*. 2016. No. 5-2 (53). Pp. 18–24. (rus)
56. Loganina V. I., Petukhova N. A. Improving the durability of polystyrene paints when an organomineral additive is introduced into the formulation [Povyshenie stojkosti polistirolnykh krasok pri vvedenii v recepturu organomineral'noj dobavki]. *VEZHPT* 2013. No. 6 (63). Pp. 21–26. (rus)
57. Loganina V.I., Akzhigitova E.R., Fadeeva G.D. Dry building mixes using local materials of the Penza region [Suhie stroitel'nye smesi s primeneniem mestnykh materialov Penzenskogo regiona]. *Engineering and Construction Journal*. 2012. No. 8. Pp. 37–41. (rus)
58. Bulanov P.E. Mavliev L.F., Vdovin E.A., Yagund E.M. The interaction between the kaolinite or bentonite clay and plasticizing surface-Active agents. *Mag. Civ. Eng.* 2017 Vol. 75. No. 7. Pp. 171–179. DOI:10.18720/MCE.75.17
59. Perelomov L.V., Atroshchenko Yu.M., Minkina T.M. Perelomova I.V., Bauer T.V., Pinsky D.L. Organoclays are a new class of promising sorbents for the remediation of chemically polluted environmental objects [Organogliny – novyy klass perspektivnykh sorbentov dlya remediacii himicheskii zagryaznennykh ob'ektov okruzhayushchej sredy]. *Agrochemistry*. 2021. No. 8. Pp. 82–96. DOI: 10.31857/S0002188121080111 (rus)

60. Kindeev O.N., Lashin M.V., Kurlykina A.V. Study of the influence of the rheological additive "Viscogel" on the wetting angle of bitumen [Issledovanie vliyaniya reologicheskoy dobavki «Viscogel» na kraevoy ugol smachivaniya bituma]. International scientific and technical conference of young scientists of BSTU. V.G. Shukhov dedicated to the 300th anniversary of the Russian Academy of Sciences: Collection of reports of the National Conference with international participation, Belgorod, May 18–20, 2022. Volume Part 9. Belgorod: Belgorod State Technological University. V.G. Shukhova, 2022, Pp. 113–118. (rus)

61. Helal E., Sherif E., Alaa. G., Saaid Z. Evaluation of asphalt enhanced with locally made nanomaterials. *Nanotechnologies in Construction*. 2016. Vol. 8. No. 4. DOI:dx.doi.org/10.15828/2075-8545-2016-8-4-42-67

62. Sarsam S. Improving Asphalt Cement Properties by Digestion with Nano Materials. *Research*

and Application of Material Journal, (RAM), 2013. Vol. 1(6). Pp. 61–64. DOI:10.12966/ram.09.01.2013

63. Arkhipov V.A., Paleev D.Yu., Patrakov Yu.F., Usanina A.S. Determination of the contact angle of wetting of a coal surface [Opredelenie kraevogo ugla smachivaniya ugol'noj poverhnosti]. *Physico-technical problems of mineral development*. 2011. No. 5. Pp. 22–27. (rus)

64. Abdullin A. I., Emelyanycheva E. A., Diyarov I. N. Evaluation of bitumen adhesion to mineral material in asphalt concrete based on its wetting properties [Ocenka adgezii bituma k mineral'nomu materialu v asfal'tobetone na osnove ego smachivayushchih svojstv]. *Bulletin of the Kazan Technological University*. 2009. No. 4. Pp. 256–259. (rus)

65. Huchenreuter Yu., Werner T. Asphalt in road construction [Asfal't v dorozhnom stroitel'stve]. M.: Publishing house "ABV-press", 2013. 450 p. (rus)

Information about the authors

Vysotskaya, Marina A. PhD, Assistant professor. E-mail: roruri@rambler.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Kindeev, Oleg N. Postgraduate student. E-mail: kindeev.o@yandex.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

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

Kabalin, Maxim D. PhD. E-mail: Maksipit13@gmail.com. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Received 09.02.2023

Для цитирования:

Высоцкая М.А., Киндеев О.Н., Курлыкина А.В., Кабалин М.Д. Добавка на основе органоглин – как инструмент регулирования реологических свойств битума // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2023. № 5. С. 19–34. DOI: 10.34031/2071-7318-2023-8-5-19-34

For citation:

Vysotskaya M.A., Kindeev O.N., Kurlykina A.V., Kabalin M.D. Organoclay based additive as a tool for control of rheological properties of bitumen. *Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov*. 2023. No. 5. Pp. 19–34. DOI: 10.34031/2071-7318-2023-8-5-19-34

DOI: 10.34031/2071-7318-2023-8-5-35-41

Серых И.Р., Чернышева Е.В.Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова***E-mail: inna_ad@mail.ru*

ПРОМЫШЛЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ПРИ ТЕХНИЧЕСКОМ ПЕРЕВООРУЖЕНИИ ОПАСНОГО ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ОБЪЕКТА НА ПРИМЕРЕ ЛИТЕЙНОГО ЦЕХА

Аннотация. Когда поднимается вопрос о техническом перевооружении опасного производственного объекта, в первую очередь нужно понимать, что его следует осуществлять с учетом Федерального закона о промышленной безопасности. Современные предприятия зачастую оснащены большим количеством опасного оборудования, которое предполагает наличие опасных технологических процессов. Другие предприятия могут использовать в своем производстве опасные вещества. К сожалению, подобные производственные объекты могут представлять опасность не только для своих сотрудников, но и для всей окружающей среды, а значит и для населения, проживающего в опасной зоне. И чем больше развивается наша промышленность, тем актуальнее становится вопрос об анализе подобных угроз. Наибольшую опасность в данном случае представляют крупные технологические предприятия, поскольку, чем сложнее внутренние производственные процессы, тем выше вероятность катастрофы или аварии.

В материалах статьи представлены результаты экспертизы промышленной безопасности АО «Союзгидравлика» при техническом перевооружении объекта. В связи с производственной необходимостью предприятие проводит техническое перевооружение, в рамках которого устанавливается литейная машина LK IMPRESS-III весом 26 тонн. В процессе проведения экспертизы с помощью программного комплекса LIRA был разработан фундамент под новое оборудование, даны рекомендации по его установке и условиям эксплуатации.

Ключевые слова: техническое перевооружение, экспертиза промышленной безопасности, литейное оборудование.

Введение. Согласно [1] к опасным производственным объектам относятся объекты, на которых получают, транспортируют, используются расплавы черных и цветных металлов, сплавы на основе этих расплавов с применением оборудования, рассчитанного на максимальное количество расплава пятьсот килограмм и более. Подобные производственные объекты могут представлять опасность не только для своих сотрудников, но и для окружающей среды, а значит и для населения, проживающего вблизи опасной зоны. Это связано с высоким риском аварий с серьезными последствиями при их эксплуатации. А значит, сохранение благоприятных условий жизнедеятельности человека, его здоровья, обеспеченность ресурсами, защита окружающей среды напрямую зависят от состояния промышленной безопасности.

В настоящее время в государственном реестре России зарегистрировано более ста семидесяти четырех тысяч опасных производственных предприятий. Около 80 % из них, согласно статистическим данным, эксплуатируется с использованием устаревшего оборудования, требующего замены. Это приводит не только к снижению производительности и конкурентоспособности их продукции на мировом рынке, но и провоцирует низкую безопасность производства, высокий

уровень аварийности предприятия. Именно поэтому нужно как можно раньше внедрять на опасных производственных объектах новые и безопасные технологии, которые будут отвечать современным требованиям, обновлять материально-техническую базу предприятия. Все это, несомненно, приведет к резкому сокращению количества аварий и случаев травматизма на данных объектах.

Любое промышленное предприятие представляет собой сложный технологический процесс, включающий в себя тяжелое технологическое оборудование [2–4]. Чем сложнее технологический процесс, тем больше риск возникновения аварийных ситуаций и катастроф [5], поэтому совершенствование систем промышленной безопасности и контроля за критически важными параметрами работы объектов является главным фактором предотвращения аварийных ситуаций на опасных производственных объектах [6, 7].

Если говорить о развитии промышленности в целом, то оно невозможно без развития и совершенствования производственной базы, благодаря внедрению новых мощностей.

Сам термин «техническое перевооружение» опасного производственного объекта подразумевает: 1) внедрение новых технологий, которые

изменяет технологический процесс всего производства; 2) модернизацию или даже замену используемых технических устройств; 3) автоматизирование всего производственного объекта или его части. Техническое перевооружение может повлечь за собой частичную реконструкцию действующих производственных помещений, если этого требует установка нового оборудования.

Когда поднимается вопрос о техническом перевооружении опасного производственного объекта, в первую очередь нужно понимать, что его следует осуществлять с учетом Федерального закона о промышленной безопасности. При этом сама документация в обязательном порядке должна пройти подобную экспертизу. Если в процессе технического перевооружения объекта строительства происходит отклонение от проектной документации, то все изменения также подлежат экспертизе промышленной безопасности [8-10]. Кроме того, не следует забывать о том, что весь процесс технического перевооружения должна контролировать (осуществлять авторский надзор) организация, разработавшая соответствующую документацию. При непосредственном вводе опасного производственного объекта в эксплуатацию проверяется готовность организации к обслуживанию данного предприятия и способность персонала к своевременной локализации и ликвидации последствий возможной аварии [11, 12].

В материалах статьи представлены результаты экспертизы промышленной безопасности АО «Союзгидравлика» при техническом перевооружении объекта. АО «Союзгидравлика» – это экономически устойчивое, динамично развивающееся, специализированное предприятие с замкнутым технологическим циклом: от литейного производства до сборки и испытания готовой продукции. С 2016 года предприятие активно проводило программу импортозамещения. В этот период было закуплено высокопроизводительное технологическое оборудование по отливке из алюминия корпусов насосов, а также компенсаторов, втулок и крышек к ним. Такая программа позволила снизить импортную зависимость по комплектации изделия.

В целях преодоления критической зависимости от зарубежных технологий и промышленной продукции, Правительством РФ было принято Постановление [13], согласно которому заводы-производители дорожно-строительной, специальной и сельскохозяйственной мобильной техники, применяемые в своем производстве шестеренные насосы (рынок комплектации), обязаны были выполнить следующее требование: «... с 1 января 2020 г. соблюдение процентной доли стоимости использованных при производстве товара

иностранных деталей, узлов и комплектующих – не более 15 % цены общего количества деталей, узлов и комплектующих, необходимых для производства товара».

Стало очевидно, что, если не принять срочных мер по импортозамещению шестеренных насосов, реализация Постановления приведет к дефициту данной продукции отечественного производства, тем самым заблокирует работу машиностроительных предприятий.

Надо отметить, что машиностроение всегда было подвержено колебаниям экономической конъюнктуры в значительно большей степени, чем другие отрасли экономики. Оно сильно зависит от инвестиционной активности компаний, покупающих машины и оборудование. Такая односторонняя зависимость постоянно подвергает машиностроение циклическим изменениям спроса. В результате данная отрасль промышленности оказывается в центре процесса чередования кризисов и экономических подъемов. В нашей стране машиностроение стало лидировать в развитии и использовании высоких технологий среди других отраслей промышленности только, начиная с семидесятых годов прошлого века. Производя машины, оборудование и комплектующие для них, эта отрасль имеет также тесные связи со сферой услуг, особенно с такими ее сегментами, как монтаж обрабатывающих систем, ремонт и техническое обслуживание, и даже финансовые операции. Все это вносит вклад не только в повышение производительности, но и в сокращение издержек производства.

Чтобы поднять машиностроительную отрасль, в 2017 году Правительство РФ утвердило Стратегию развития машиностроения на период до 2030 года по основным отраслевым направлениям: тяжелое машиностроение, транспортное машиностроение и сельскохозяйственное машиностроение.

Разработанные Минпромторгом РФ документы содержат ключевые текущие и перспективные параметры, согласно которым к 2030 году доля продукции российского машиностроения должна составить 70 % внутреннего рынка. К 2025 году запланировано сокращение доли импорта до 35 %, а доля экспорта в выпуске продукции вырастет с текущих 7 % до 12 %.

В связи со сложившейся сложной политической ситуацией, а также с введением запрета на ввоз в Российскую Федерацию ряда товаров, АО «Союзгидравлика» сочли нужным увеличить номенклатуру выпускаемой продукции и тем самым снизить импортную зависимость на комплектующие изделия, которые в основном поступали с Украины. Однако, возможности существу-

ющего на АО «Союзгидравлика» литейного оборудования ограничены техническими характеристиками, и не позволяют изготавливать отливки крышек насосов в необходимом объеме и требуемого качества. Для этого недостаточно усилия прессования существующей машины А711А8, поэтому стало невозможным выполнять всю геометрическую конфигурацию отливки, а кокильный метод литья этих деталей не обеспечивал требования по герметичности отливок. Увеличение номенклатуры и программы выпуска насосов согласно проекту, а также увеличение требований к качеству изделий требовало применения современных методов и оборудования в производстве литых деталей для насосов.

В связи с этим в 2019 году, в целях расширения программы импортозамещения комплектующих и осуществления 100 % локализации производства, было принято решение о покупке дополнительного высокотехнологичного оборудования. Реализация данного инвестиционного проекта должна будет позволить предприятию осуществить импортозамещение комплектующих, в среднем, на уровне 90 %, тем самым обеспечить выполнение поставленных Правительством задач по локализации отечественного производства.

Методика проведения обследования. Экспертиза промышленной безопасности при техническом перевооружении опасного производственного объекта осуществлялась по следующей программе. Во-первых, был проведен анализ проектной, исполнительной и эксплуатационной документации. Затем последовало натурное об-

следование будущего места установки нового литейного оборудования [14–16]. Параллельно с этим были проведены геологические изыскания состава грунта в месте предполагаемой установки оборудования. Затем последовало инструментальное обследование конструкций площадки (определение прочности и состояния материалов неразрушающими методами контроля, отбор образцов и проведения лабораторных испытаний). После получения всех исходных данных были произведены расчеты фундамента. Заключительный этап обследования – оформление отчета по результатам проведения промышленной экспертизы, разработка рекомендаций по установке и условиям эксплуатации нового оборудования [17].

Основная часть. Опасный производственный объект расположен в Белгородской области и имеет класс опасности III. Основным видом деятельности объекта является расплавление слитков алюминиевого сплава для изготовления корпусных деталей насосов.

Как уже отмечалось ранее, в связи с производственной необходимостью предприятие проводит техническое перевооружение, в рамках которого устанавливаются литейная машина LK IMPRESS-III весом 26 тонн (рис. 1). Применение современного роботизированного литейного комплекса на основе литейной машины с холодной камерой прессования LKDCC630CE серии IMPRESS-III с усилием запирания 630 т и максимальной порцией заливаемого металла 7,2 кг, позволит расширить номенклатуру и увеличить количество выпускаемой продукции, а также значительно увеличить качество литых деталей.



Рис. 1. Внешний вид литейной машины в комплекте с дополнительным оборудованием

Из ключевых особенностей данного комплекса следует отметить высокую скорость

впрыска жидкого металла до 8 м/с, что обеспечивает отсутствие раковин и высокие герметиче-

ские свойства получаемых отливок; высокое давление в гидросистеме до 14 МПа, что обеспечивает высокую производительность и сокращает время цикла литья; применение энергосберегающей гидросистемы и механизма прессования; наличие гибкой системы управления, максимально ориентированной на автоматизацию и роботизацию процессов работы комплекса с возможностью управления периферийным оборудованием в автоматическом режиме.

В состав литейного комплекса включены: плавильная и раздаточная тигельные печи для плавки алюминиевых сплавов; машина литья под давлением; робот-заливщик; манипулятор-смазчик пресс-форм; робот-съемщик; пресс-обрубок; вспомогательные технологические механизмы и оборудование для обеспечения безопасности работы.

Для проведения экспертизы промышленной безопасности был произведен поверочный расчет несущей способности фундамента с помощью программного комплекса LIRA (рис. 2). В расчете использовались инженерно-геологические изыскания, сделанные в рамках проведенного обследования.

Результаты расчета показали, что для исключения просадки фундамента его высота для литейной машины должна составлять 800 мм и иметь сложную форму в плане с габаритными размерами 7640×4530 мм. Картина перемещений точек фундамента по оси z представлена на рис. 3. Верхняя отметка фундамента должна совпадать с отметкой уровня пола литейного участка цеха. Несущая способность нижнего слоя должна составлять не менее 10 т/м². Для установки оборудования рекомендовано выполнить монолитный фундамент. При его изготовлении использовать бетон класса прочности В25, арматуру класса А400 Ø16 с шагом 200 мм. Защитный слой бетона должен составить 35-50 мм. По периметру фундамента следует организовать слив утечек охлаждающей воды с уклоном $i=1.5\%$ глубиной 100 мм в существующую канализацию. Монолитные фундаменты рекомендуется устроить на подготовленное основание из тощего бетона В7,5 (100 мм) и песчано-гравийной смеси (550 мм и 100 мм). Установку оборудования можно осуществлять не ранее чем через 28 дней после заливки фундамента.

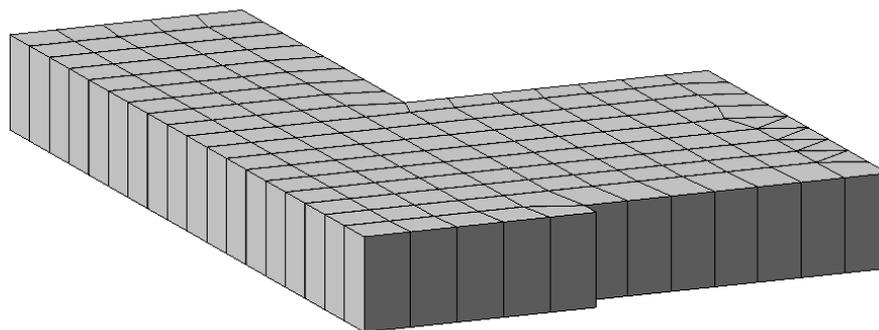


Рис. 2. Модель фундамента

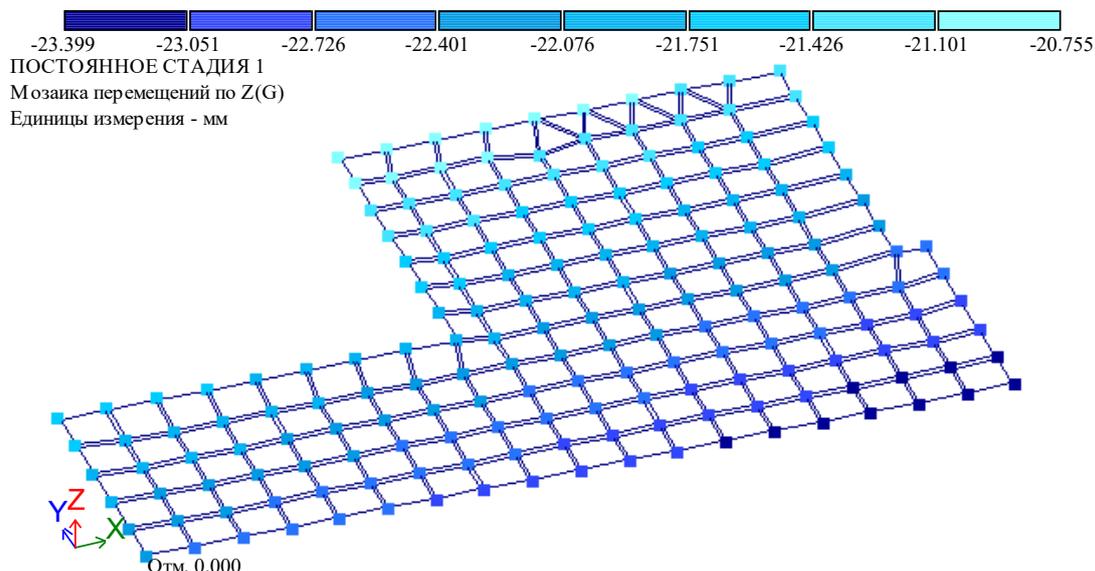


Рис. 3. Картина перемещений по оси z

Выводы. По результатам проведенной экспертизы промышленной безопасности был разработан фундамент под новое оборудование, были даны рекомендации по его установке и условиям эксплуатации. Результаты расчета показали, что:

1. Несущая способность фундамента обеспечена.

2. Прочность на продавливание бетонного элемента при действии сосредоточенной силы обеспечена, коэффициент использования $0,018 < 1$.

3. Максимальные осадки конструкции составляют $2,4 \text{ см} < 10 \text{ см}$, что не превышает допустимых значений.

Несомненно, установка и эксплуатация нового литейного оборудования возможна только после выполнения всех рекомендаций, данных в результате экспертизы.

Источник финансирования. Работа выполнена в рамках реализации федеральной программы поддержки университетов «Приоритет 2030» с использованием оборудования на базе Центра высоких технологий БГТУ им. В.Г. Шухова.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Федеральный закон от 21.07.1997 № 116-ФЗ (ред. от 11.06.2021). О промышленной безопасности опасных производственных объектов.
2. Serykh I. R., Chernysheva E. V., Degtyar A. N. Examination of the Safety of the Centrifuge Site of a Sugar Factory in the Belgorod Region in Order to Assess the Technical Condition of Structures // Lecture Notes in Civil Engineering. 2021. Vol. 95. Pp. 92–99. DOI:10.1007/978-3-030-54652-6_14
3. Серых И.Р., Чернышева Е.В., Дегтярь А.Н., Черноситова Е.С., Чернышева А.С. Экспертиза промышленной безопасности здания цеха ВЖС Шебекинского химического завода с целью оценки технического состояния конструкций // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2018. № 9. С. 55–61. DOI: 10.12737/article_5bab4a1cacc902.46271253.
4. Дегтярь А.Н., Серых И.Р., Чернышева Е.В., Панченко Л.А. Экспертиза промышленной безопасности здания насосной нефтебазы Белгородской области с целью оценки ее остаточного ресурса // Безопасность в строительстве: матер. III Междунар. науч.-практ. конф. Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет. 2017. С. 41–45.
5. Алферов Д.Л. Причины аварий зданий и сооружений // ТехНадзор. 2013. № 6 (79). С. 78–81.
6. Чернышева Е.В., Серых И.Р., Стаинов В.В., Чернышева А.С. Актуальные проблемы промышленной безопасности // Zbornik radova: visoka tehnička škola strukovnih studija. Niš. Serbia. 2016. December. Pz. 164–165.
7. Гребнова А.Б., Гребнов Б.В., Зубков Е.М., Данилов Ю.П. Достоинства и недостатки современных подходов к обеспечению промышленной безопасности опасных производственных объектов // Промышленные и строительные технологии. 2016. № 9(11). С. 4.
8. Аличкина Л.Г., Черняева Н.С., Ханина Е.С., Малкова Е.А. Особенности проведения экспертизы промышленной безопасности документации на техническое перевооружение опасных производственных объектов // Безопасность и живучесть технических систем: материалы и доклады в 3-х томах. 2015. С. 81–83.
9. Чизганов А., Бреус С., Крысин А., Карпов И., Пичугин А., Филиппов Д. Необходимость применения расчета конструкций зданий и сооружений опасных производственных объектов при проведении экспертизы промышленной безопасности // ТехНадзор. 2015. № 12 (109). С. 457–458.
10. Кульчев В.М. Проблемы обеспечения промышленной безопасности опасных производственных объектов // Безопасность труда в промышленности. 2001. № 1. С. 2–4.
11. Белов Г.Л., Абдрахманов Н.Х., Шутов Н.В., Халимов М.Ф. Анализ и актуальные проблемы экспертизы промышленной безопасности опасных производственных объектов // Norwegian Journal of Development of the International Science. 2018. № 18-1. С. 36–40.
12. Гражданкин А.И., Печеркин А.С. Особенности обеспечения промышленной безопасности при эксплуатации опасных производственных объектов в современных условиях // Безопасность труда в промышленности. 2007. № 4. С. 22–26.
13. Постановление №719 от 17.07.2015г. О подтверждении производства промышленной продукции на территории Российской Федерации.
14. ГОСТ Р 53006-2008 Оценка ресурса потенциально опасных объектов на основе экспресс-методов. Общие требования. М.: Стандартинформ, 2009.
15. ГОСТ Р 53778-2010 Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния. М.: Стандартинформ, 2010.
16. Рекомендации по оценке надежности строительных конструкций зданий и сооружений по внешним признакам. М.: ЦНИИПромзданий, 2001.
17. Отчет № 18-06/ от 08.06.2021 г. Расчет несущей способности фундамента. Белгород, 2021. 30 с.

Информация об авторах

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

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

Поступила 24.02.2023 г.

© Серых И.Р., Чернышева Е.В., 2023

**Serykh I.R., Chernyshova E.V.*

Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov

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

INDUSTRIAL SAFETY AT TECHNICAL RE-EQUIPMENT OF A HAZARDOUS PRODUCTION FACILITY ON THE EXAMPLE OF A FOUNDRY

Abstract. *When the question of re-equipment of a hazardous production facility is raised, it must first be understood that it should be carried out in the light of the Federal Law on Industrial Safety. Modern enterprises are often equipped with a large number of dangerous equipment, which implies the presence of dangerous technological processes. Other enterprises may use hazardous substances in their production. Unfortunately, such production facilities can pose a danger for their employees and for the entire environment, and therefore for the population living in the danger zone. In addition, the more our industry develops, the more urgent the question of the analysis of such threats becomes. The greatest danger in this case is represented by large technological enterprises, since the more complex the internal production processes, the higher the probability of a disaster or accident. The article presents the results of the examination of the industrial safety of JSC Soyuzhydraulica during the technical re-equipment of the facility. Due to the production necessity, the company is carrying out technical re-equipment, within the framework of which the LK IMPRESS-III casting machine weighing 26 tons is being installed. During the examination, the foundation for the new equipment is developed with the help of the LIRA software package. Recommendations are given on its installation and operating conditions.*

Keywords: *technical re-equipment, industrial safety expertise, foundry equipment.*

REFERENCES

1. Federal'nyj zakon ot 21.07.1997 № 116-FZ (red. ot 11.06.2021). O promyshlennoj bezopasnosti opasnyh proizvodstvennyh ob"ektov. [Federal Law No. 116-FZ of 21.07.1997 (as amended on 11.06.2021). About industrial safety of hazardous production facilities]. (rus)

2. Serykh I. R., Chernysheva E. V., Degtyar A. N. Examination of the Safety of the Centrifuge Site of a Sugar Factory in the Belgorod Region in Order to Assess the Technical Condition of Structures. Lecture Notes in Civil Engineering. 2020. Vol. 95. Pp. 92–99. DOI:10.1007/978-3-030-54652-6_14.

3. Serykh I.R., Chernysheva E.V., Degtyar A.N., Chernositova E.S., Chernysheva A.S. Examination of industrial safety of the building of the VZHS workshop of the Shebekinsky Chemical Plant in order to assess the technical condition of structures. [Ekspertiza promyshlennoj bezopasnosti zdaniya cekha VZHS SHEbekinskogo himicheskogo zavoda s cel'yu ocenki tekhnicheskogo sostoyaniya konstrukcij. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2018. No. 9. Pp. 55–61.

DOI:10.12737/article_5bab4a1cacc902.46271253. (rus)

4. Degtyar A.N., Serykh I.R., Chernysheva E.V., Panchenko L.A. Examination of industrial safety of the pumping tank farm building of the Belgorod region in order to assess its residual resource [Ekspertiza promyshlennoj bezopasnosti zdaniya nasosnoj neftebazy Belgorodskoj oblasti s cel'yu ocenki ee ostatochnogo resursa]. Bezopasnost' v stroitel'stve: mater. III Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. Sankt-Peterburgskij gosudarstvennyj arhitekturno-stroitel'nyj universitet. 2017. Pp. 41–45. (rus)

5. Alferov D.L. Causes of accidents of buildings and structures. [Prichiny avarij zdaniy i sooruzhenij]. TekhNadzor. 2013. No. 6 (79). Pp. 78–81. (rus)

6. Chernysheva E.V., Serykh I.R., Statinov V.V., Chernysheva A.S. Actual problems of industrial safety. Zbornik radova: visoka tehnička škola strukovnih studija. Niš. Serbia. 2016. Pp. 164–165.

7. Grebnova A.B., Grebnov B.V., Zubkov E.M., Danilov Y.P. Advantages and disadvantages of modern approaches to ensuring industrial safety

of hazardous production facilities. [Dostoinstva i nedostatki sovremennykh podhodov k obespecheniyu promyshlennoy bezopasnosti opasnykh proizvodstvennykh ob"ektov]. Promyshlennye i stroitel'nye tekhnologii. 2016. No. 9(11). P. 4. (rus)

8. Alichkina L.G., Chernyaeva N.S., Hanina E.S., Malkova E.A. Features of the examination of industrial safety documentation for technical re-equipment of hazardous production facilities. [Osobennosti provedeniya ekspertizy promyshlennoy bezopasnosti dokumentatsii na tekhnicheskoe perevooruzhenie opasnykh proizvodstvennykh ob"ektov]. Bezopasnost' i zhivuchest' tekhnicheskikh sistem: materialy i doklady v 3-h tomah. 2015. Pp. 81–83. (rus)

9. Chizganov A., Breus S., Krysin A., Karpov I., Pichugin A., Filippov D. The need to apply the calculation of structures of buildings and structures of hazardous production facilities during the examination of industrial safety. [Neobhodimost' primeniya rascheta konstrukcij zdaniy i sooruzhenij opasnykh proizvodstvennykh ob"ektov pri provedenii ekspertizy promyshlennoy bezopasnosti]. TekhNadzor. 2015. No. 12 (109). Pp. 457–458. (rus)

10. Kul'echev V.M. Problems of ensuring industrial safety of hazardous production facilities. [Problemy obespecheniya promyshlennoy bezopasnosti opasnykh proizvodstvennykh ob"ektov]. Bezopasnost' truda v promyshlennosti. 2001. No. 1. Pp. 2–4. (rus)

11. Belov G.L., Abdrahmanov N.H., Shutov N.V., Halimov M.F. Analysis and actual problems of industrial safety expertise of hazardous production facilities. [Analiz i aktual'nye problemy ekspertizy promyshlennoy bezopasnosti opasnykh proizvodstvennykh ob"ektov]. Norwegian Journal of Development of the International Science. 2018. No. 18-1. Pp. 36–40. (rus)

Information about the authors

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

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

Received 24.02.2023

Для цитирования:

Серых И.Р., Чернышева Е.В. Промышленная безопасность при техническом перевооружении опасного производственного объекта на примере литейного цеха // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2023. № 5. С. 35–41. DOI: 10.34031/2071-7318-2023-8-5-35-41

For citation:

Serykh I.R., Chernyshova E.V. Industrial safety at technical re-equipment of a hazardous production facility on the example of a foundry. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2023. No. 5. Pp. 35–41. DOI: 10.34031/2071-7318-2023-8-5-35-41

DOI: 10.34031/2071-7318-2023-8-5-42-51

**Елистратова Ю.В., Семиненко А.С., Уваров В.А., Щербинина О.А*
Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова
**E-mail: tgv.info@mail.ru*

ЭКОНОМИЧЕСКИЙ АСПЕКТ ДИАГНОСТИКИ НАКИПЕОБРАЗУЮЩИХ СЛОЕВ В ПЛАСТИНЧАТЫХ ТЕПЛООБМЕННИКАХ

Аннотация. Составляющая надежности и эффективности работы теплоэнергетической сети 3-го поколения характеризуется применением теплообменных устройств, а именно пластинчатого типа, основная функция которых заключается в нагреве теплоносителя для нужд горячего водоснабжения и систем отопления. Однако особенности химического состава теплоносителя являются причиной загрязнения теплообменников в виде накипных слоев на поверхностях нагрева. Процесс накипеобразования на пластинах теплообменных аппаратов является одним из ключевых факторов, оказывающих влияние на выход из строя оборудования и увеличение показателей энергоемкости распределительных пунктов тепла, что приводит к снижению качества предоставляемых услуг и росту финансовых затрат в сфере теплоснабжения. В ходе исследования методом обобщения известных данных сформирована последовательность расчета транспортных затрат на эксплуатацию пластинчатых теплообменных аппаратов при различных условиях накипеобразования. При этом учтено влияние толщины накипи на общую стоимость перекачивания 1 м^3 теплоносителя, что позволяет сопоставить транспортные затраты и стоимость удаления накипи с поверхностей нагрева (согласно принятому методу очистки) в зависимости от толщины солеобразующего слоя и периодов очистки. Результаты исследования подтверждают целесообразность регулярного контроля толщины солеобразующих слоев в пластинчатых теплообменниках для снижения эксплуатационных затрат на перекачивание теплоносителя.

Ключевые слова: пластинчатый теплообменник, энергоэффективность, эксплуатационные затраты, энергоемкость, контроль накипеобразования.

Введение. Одним из направлений развития теплоэнергетических сетей 3-го поколения является оснащение пунктов распределения тепла пластинчатыми теплообменными аппаратами, в качестве неотъемлемого структурного элемента [1–3]. Однако особенности химического состава теплоносителя (вода) в большинстве регионов как РФ, так и в зарубежных странах [4–7] являются причиной загрязнения теплообменников в виде накипных слоев на поверхностях нагрева [8, 9]. Процесс накипеобразования на пластинах теплообменных аппаратов является одним из ключевых факторов, оказывающих влияние на выход из строя оборудования и увеличение показателей энергоемкости распределительных пунктов тепла [7, 10–13], что приводит к снижению качества предоставляемых услуг [10, 14].

Общая доля финансовых потерь для развитых стран в сфере промышленного производства, связанных с загрязнением, составляет от 0,25 % до 0,3 % от их общего ВВП [11–13]. При этом суммарные затраты на очистку теплообменников активизируют поиск решений по защите теплообменных устройств от воздействия процессов солеотложения и поддержания бесперебойной работы аппаратов [11, 12].

С экономической точки зрения стоимость теплообменника определяет капитальные затраты, а стоимость на техническое обслуживание

и прокачку теплоносителей обуславливает эксплуатационные затраты. Процесс формирования накипи не только снижает общий коэффициент теплопередачи теплообменного оборудования [9, 10, 15], но и создает дополнительное сопротивление движению жидкости, что в свою очередь отражается на затратах по транспортировке теплоносителя [16]. Кроме того, накопление твердого осадка в щелях между пластинами и прокладками при высокой температуре приводит к образованию трещин, а длительная эксплуатация теплообменников с накипными отложениями на поверхностях нагрева приводит к прогоранию пластин [17, 18].

Согласно исследованиям [10, 19] установлено, что создать условия для полного отсутствия процессов солеотложения, на сегодняшний день, практически невозможно, так как эффективность каждого мероприятия зависит от химического состава воды, наличия уже сформировавшихся накипных отложений и текущих параметров теплообменного аппарата [16]. Поэтому исследования, направленные на снижение энергетической ёмкости работы пластинчатых теплообменников в условиях активного воздействия накипеобразующих процессов, являются актуальными и требуют проведения дополнительных исследований и технических решений.

Цель – установить значимость регулярной диагностики толщины накипеобразующих слоев

в пластинчатых теплообменниках для снижения эксплуатационных затрат на перекачивание теплоносителя.

Задачи исследования:

- сформировать последовательность расчета транспортных затрат при эксплуатации пластинчатых теплообменных аппаратов в условиях накипеобразования;

- определить экономические затраты на перекачивание теплоносителя в зависимости от периодов очистки теплообменника.

Методы исследования. К расчету принят пластинчатый теплообменный аппарат, эксплуатация которого обеспечивает параметры горячего водоснабжения согласно [20]. Расходы теплоносителя по греющему и нагреваемому контуру имеют значения 5,1 кг/с и считаются постоянными в течение всего расчетного периода. Теплообменник эксплуатируется в качестве II-й ступени подогрева с начальными температурами 95 и 38 °С на входе в аппарат по «горячему» и «холодному» контуру соответственно. Схема движения теплоносителя – противоток. Общее количество пластин – 50 шт. площадью 0,15 м² каждая. 25 каналов по греющему контуру и 24 по нагреваемому (с учетом 2-х концевых пластин). Тип канала – «жесткий канал», который образуется установкой пластин типа TL [21]. При этом величина карбонатной жесткости сетевой воды 9,3 + 1,4 °Ж, а карбонатный индекс I_k не более 4 (мг-экв/дм³)², значение водородного показателя рН=8,3.

Сравниваемые расчетные условия приведенных транспортных затрат, следующие:

- 1) чистая поверхность теплообмена;
- 2) толщина накипных отложений по нагреваемому контуру принимается для условий эксплуатации теплообменника без применения методов предупреждения и удаления солевых отложений за расчетный период работы;
- 3) учитывается условие очистки пластин от образовавшейся накипи при достижении перепада давления на входе и выходе из аппарата по нагреваемой стороне ΔP_n свыше 20 %;
- 4) применение методов борьбы с накипными

отложениями толщиной 0,3 мм (объясняется обязательным критерием для возможности использования физических методов воздействия на солевые отложения).

Затраты транспортных расходов на перекачивание рабочих сред определяются стоимостью затраченной электроэнергии:

$$C_{np} = (\mathcal{E}_z + \mathcal{E}_x) \cdot c_э, \quad (1)$$

где $c_э$ – цена за 1 кВт·ч электрической энергии согласно [22], руб./кВт·ч; \mathcal{E}_z и \mathcal{E}_x – расход электроэнергии на перекачивание греющей и нагреваемой жидкости соответственно, кВт·ч.

Расходы электроэнергии на транспортировку теплоносителей:

$$\mathcal{E}_z = \frac{\Delta P_z \cdot V_z}{\eta_z} \cdot \tau_{общ}, \quad (2)$$

$$\mathcal{E}_x = \frac{\Delta P_x \cdot V_x}{\eta_x} \cdot \tau_{общ}, \quad (3)$$

где ΔP_z и ΔP_x – полные потери давления в греющем и нагреваемом контурах, Па; V_z и V_x – объемные расходы теплоносителей, м³/час; η_z и η_x – КПД насосов по горячей и холодной стороне теплоносителей; $\tau_{общ}$ – общая продолжительность работы насосного оборудования за период эксплуатации, час.

Образование накипи на теплообменных стенках, характеризуется сужением проходного канала, что является причиной увеличения потерь давления в канале.

При увеличении слоя накипи, расстояние между пластинами будет уменьшаться на величину равную толщине солевых отложений, тогда формула расчета эквивалентного диаметра имеет вид:

$$d_э = \frac{2(a \cdot (h - \delta_n))}{(a + (h - \delta_n))}, \quad (4)$$

где a – ширина канала, м; h – расстояние между пластинами, м; δ_n – толщина накипного слоя, м (учитывая условие отложения накипи на обеих пластинах, образующих нагреваемый канал).

Тогда годовые приведенные эксплуатационные затраты C_{np} пластинчатых водонагревателей с учетом накипеобразования определяются по формуле:

$$C_{np} = c_э \cdot \tau_{общ} \left(\frac{\Delta P_z \cdot V_z}{\eta_z} + \zeta_x \frac{L_{np} \cdot V_x}{\eta_x \cdot \left(\frac{2(a \cdot (h - \delta_n))}{(a + (h - \delta_n))} \right)^2} \cdot \frac{w_x^2}{2} \right), \quad (5)$$

где ζ_x – условный коэффициент общего гидравлического сопротивления единицы относительно длины межпластинного канала [23]; L_{np} – приведенная длина канала с гофрами, м; w – скорость движения теплоносителя м/с.

Известно, что интенсивность образования слоя накипи зависит от химического состава теплоносителя, режимных параметров работы оборудования и рассматриваемого периода времени.

Продолжительность формирования определенной толщины накипи определяется согласно зависимости [2424]:

$$\tau_{\delta_n} = -\frac{1}{k} \ln \left(1 - \frac{\delta_n}{\delta_n^*} \right), \quad (6)$$

где $k = 1/\tau_c$ – константа скорости процесса накипеобразования, 1/с; τ_c – время релаксации системы, с; δ_n – ожидаемое значение толщины накипи, м; δ_n^* – предельная толщина накипи, м.

Так как процесс накипеобразования в каналах теплообмена пластинчатых водонагревателей имеет асимптотический характер [4, 16, 24], то существуют условия, при которых толщина накипи достигает своего предельного значения.

Величина предельной толщины накипи определяется по формуле:

$$\delta_n^* = \frac{1}{\rho_n} \left(M_\infty - \frac{I_n}{k} \right), \quad (7)$$

$$C_{mp(\delta_n)} = c_3 \cdot \left(-\frac{1}{k} \right) \ln \left(1 - \frac{\delta_n}{\delta_n^*} \right) \left(\frac{\Delta P_e \cdot V_e}{\eta_e} + \zeta_x \frac{L_{II} \cdot V_x}{\eta_x \cdot \left(\frac{2(a \cdot (h - \delta_n))}{(a + (h - \delta_n))} \right)} \frac{w_x^2}{2} \right), \quad (10)$$

На практике мероприятия по очистке пластин от солеотложений, производятся при перепаде давления на входе и выходе из аппарата по нагреваемому контуру более 20 % по показаниям манометров. Согласно нашим экспериментальным исследованиям, толщина отложений на пластинах при указанном перепаде давления составила 0,5 мм [16].

Тогда затраты на перекачивание теплоносителя по нагреваемой стороне рассчитываются за период формирования накипи до 0,5 мм для третьего расчетного условия приведенных транспортных затрат.

После достижения слоя накипи 0,5 мм предполагается очистка пластин, далее продолжается расчет транспортных затрат за новый период формирования слоя накипи 0,5 мм и так до окончания расчетного периода эксплуатации. Следовательно, количество периодов образования толщи солеотложений заданной величины определяется как отношение общего значения периода эксплуатации оборудования к значению периода формирования ожидаемого значения накипи:

$$N_{\delta_n} = \frac{\tau_{общ}}{\tau_{\delta_n}}. \quad (11)$$

При этом приведенные эксплуатационные затраты складываются из затрат на перекачивание жидкости до момента достижения ожидаемой толщины накипи за все возможные периоды

где M_∞ – максимально возможная масса образующейся накипи в заданных условиях, кг/м²; M – удельное значение массы накипи, кг/м²; I_n – удельная масса удаляемой накипи вследствие гидродинамического воздействия теплоносителя, кг/(м²·с).

$$I_n = u \frac{\tau_{cm}}{\varphi_n}, \quad (8)$$

где τ_{cm} – касательное напряжение сдвига, Па; u – постоянная; φ_n – прочность накипи, Па.

$$\tau_{cm} = \frac{\Delta P_x d_3}{2l}, \quad (9)$$

где l – длина канала, м.

С учетом выше представленных зависимостей, эксплуатационные затраты на перекачивание теплоносителя в условиях образования конкретной величины накипи δ_n за период ее формирования определяется по формуле:

формирования данной величины в течении эксплуатационного периода:

$$C_{mp} = N_{\delta_n} \cdot C_{mp(\delta_n)}. \quad (12)$$

Оценка расчетных транспортных затрат, при указанных условиях применения методов очистки поверхностей нагрева, основана на сравнении цены за перекачивание 1 м³ теплоносителя с учетом принятых вариантов расчета приведенных транспортных затрат, согласно зависимости:

$$C_{mp} = \frac{C_{mp}}{(V_{\tau_{общ}})}, \quad (13)$$

где $V_{\tau_{общ}}$ – объем перекаченного теплоносителя за 1 год эксплуатации, м³.

Основная часть. Сравнение приведенных затрат на перекачивание теплоносителей в условиях «чистой» поверхности теплообмена на протяжении всего периода работы и в условиях образования слоев накипи на поверхности пластин по нагреваемому контуру за время эксплуатации без применения мер очистки представлены на рис. 1. Согласно полученным данным (рис. 1), годовые затраты на эксплуатацию теплообменного оборудования при условии работы теплообменника без применения методов борьбы с солеотложениями увеличиваются на 34,4 % по отношению к условиям работы аппарата с «чистой» поверхностью нагрева.

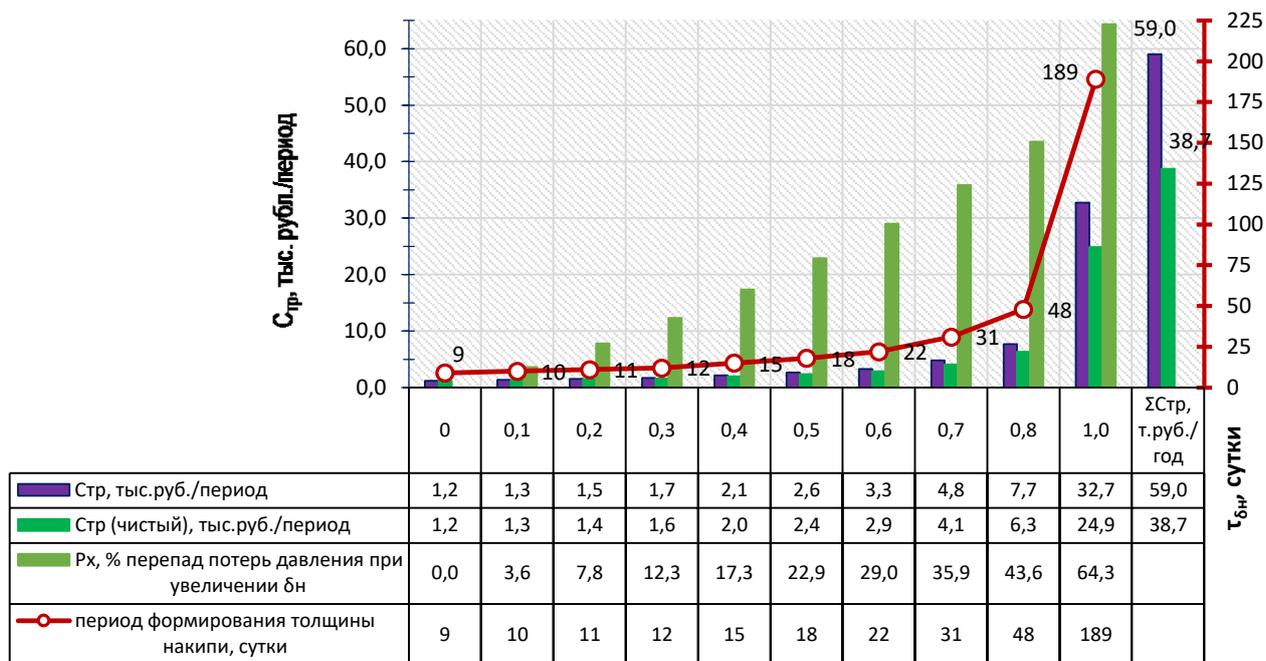


Рис. 1. Диаграмма сравнения приведенных транспортных расходов в условиях чистой поверхности теплообмена и с учетом формирования наростов накипи на протяжении всего периода работы

Примечание: значения периода формирования толщины накипи привязываются к вспомогательной оси

Приведенные эксплуатационные затраты, учитывая удаление накипных отложений при достижении перепада давления на входе и выходе из аппарата по нагреваемой стороне свыше 20 %, (рис. 2) превышают затраты работы теплообменника без загрязнения на 27 %. В то же время наблюдается снижение транспортных затрат на 7,4 % относительно варианта работы теплообменника без очистки пластин. Однако при

$\Delta P_x = 20\%$ потребуется производить останов оборудования на промывку химическими реагентами или разбор для механической очистки 3 раз за расчетный период. Следовательно, затраты на обслуживание теплообменника увеличиваются на стоимость химических реагентов или на комплектующие материалы для обратной сборки аппарата.

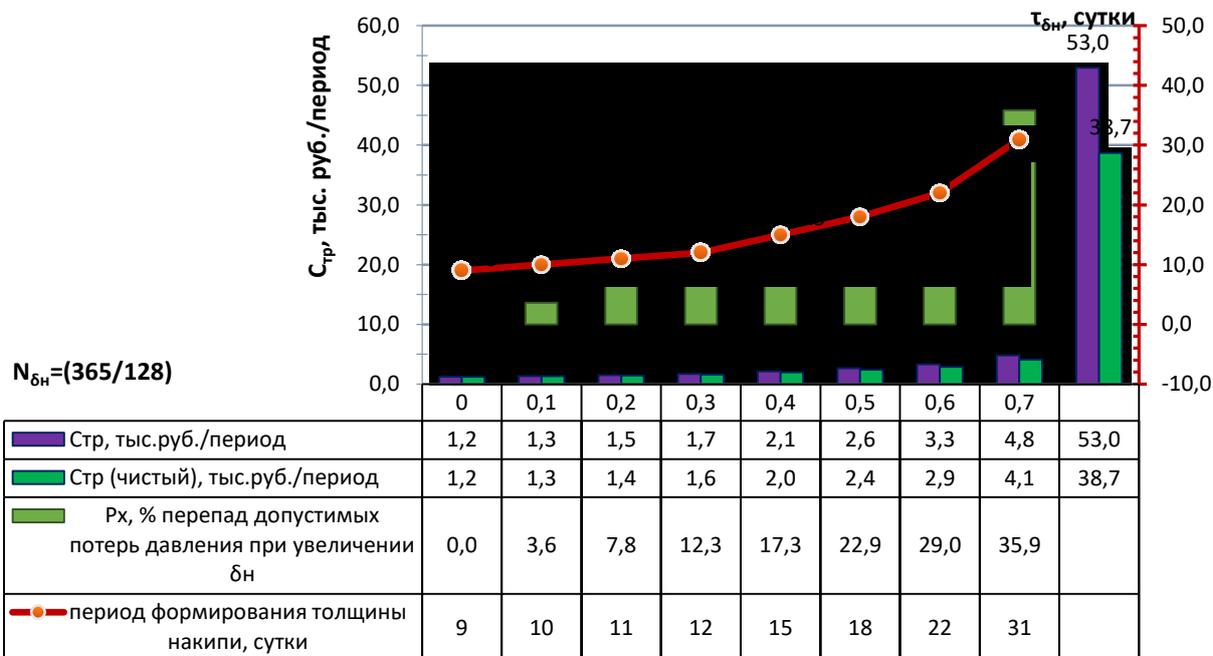


Рис. 2. Диаграмма сравнения приведенных транспортных расходов в условиях «чистой» поверхности теплообмена и с учетом формирования наростов накипи до достижения перепадов давления на входе и выходе из аппарата по нагреваемой стороне свыше 20 %

Примечание: значения периода формирования толщины накипи, сутки и P_x , % удельный перепад допустимых потерь давления при увеличении δ_n привязываются к вспомогательной оси

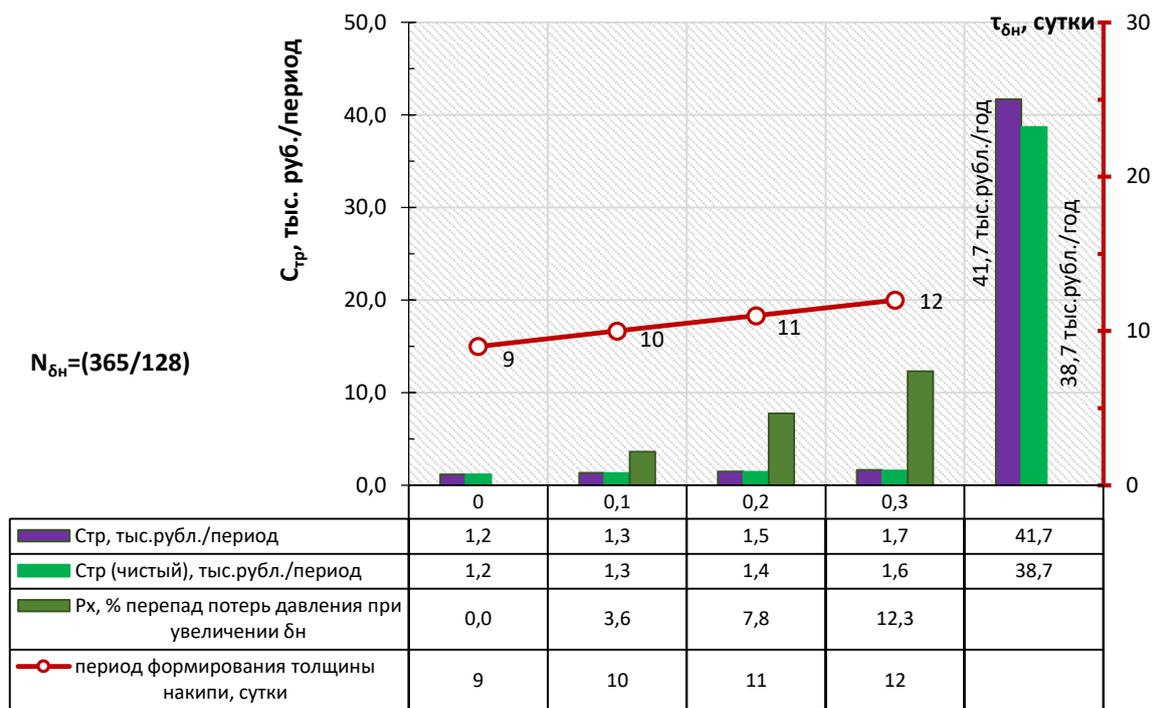


Рис. 3. Приведенные транспортные расходы с учетом очистки теплообменника при достижении толщины накипи 0,3 мм и в условиях «чистой» поверхности теплообмена

Примечание: значения периода формирования толщины накипи привязываются к вспомогательной оси

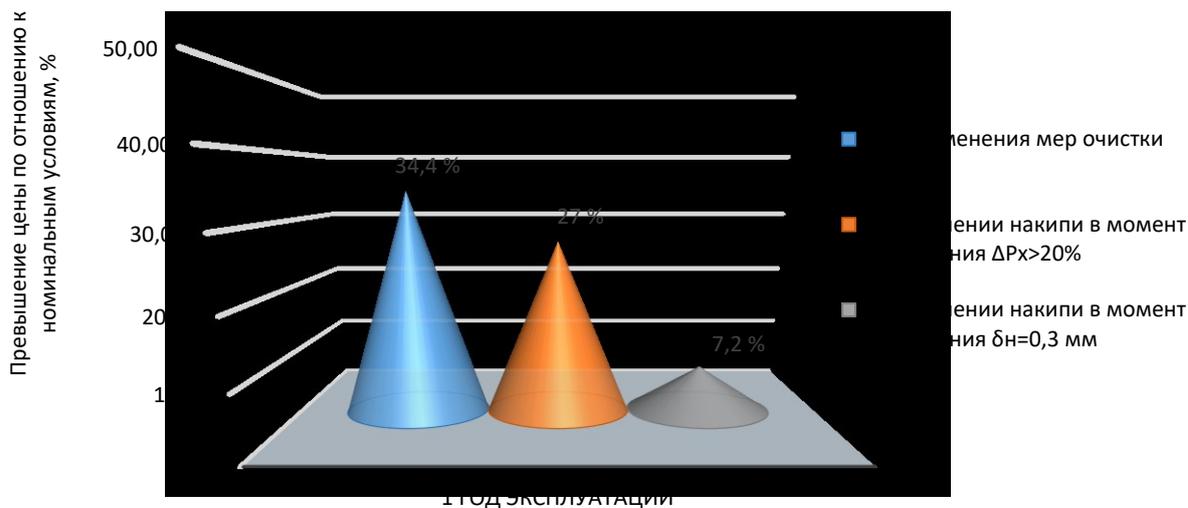


Рис. 4. Диаграмма соотношения затрат на перекачивание 1 м³ теплоносителя в условиях чистой поверхности к затратам: с учетом формирования наростов накипи на протяжении всего периода работы; с учетом формирования наростов накипи до достижения ΔP_x на входе и выходе из аппарата по нагреваемой стороне свыше 20 %; с учетом солеотложения до δ_n = 0,3 мм

Результаты расчета транспортных затрат при своевременном устранении продуктов засорения толщиной 0,3 мм по отношению к номинальным условиям работы теплообменного оборудования (рис. 3) доказывают экономическую эффективность своевременного удаления накипных отложений относительно малых размеров. При этом превышение затрат составило 7,2 %. Дальнейшие расчеты при толщине менее 0,3 мм не проводились, так как для полноценной оценки

рациональности удаления накипи данной величины потребуются данные о методе очистки и затрат на его проведение.

На рисунке 4 представлен анализ сравнения цен за перекачивание 1 м³ теплоносителя в зависимости от принятых условий расчета приведенных транспортных затрат. Превышение цены за перекачивание 1 м³ теплоносителя по отношению к цене в условиях «чистой» поверхности составило:

- при своевременной очистке поверхности

пластин в момент достижения накипи 0,3 мм превышение – 7,2 %;

- при удалении продуктов солеотложения в период достижения перепада давления свыше 20 %, цена превысила на 27 %;

- в условиях эксплуатации теплообменного оборудования без применения мер очистки цена за перекачивание 1 м³ теплоносителя выше на 34,4 %.

Выводы. Представленная последовательность расчета транспортных затрат в текущем режиме эксплуатации пластинчатых теплообменников учитывает влияние толщины накипи на общую стоимость перекачивания 1 м³, что позволяет сопоставить затраты на перекачивание теплоносителя и стоимость затрат на удаление накипи с поверхностей нагрева (согласно принятому методу очистки) в зависимости от толщины солеобразующего слоя и периодов очистки. Согласно результатам исследования, стоимость перекачивания 1 м³ теплоносителя при удалении продуктов солеотложения в период достижения перепада давления свыше 20 % увеличивается относительно номинальных условий работы теплообменника («чистая» поверхность пластин) на 27 %, а своевременная очистка от накипи толщиной 0,3 мм позволяет снизить затраты до 7,2 % и использовать физические методы разрушающего воздействия на толщину накипных отложений без останова оборудования.

Таким образом, регулярный контроль толщины накипеобразующих слоев в пластинчатых теплообменниках является целесообразным в комплексе мер, направленных на снижение эксплуатационных затрат на перекачивание теплоносителя.

Примечание. Часть результатов исследования была представлена в диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук на тему: «Повышение эффективности пластинчатых теплообменных устройств в системах теплоснабжения», 2021 г. Елистратова Ю.В.

Источник финансирования. Исследования проводились в рамках Гранта Президента Российской Федерации для ведущей научной школы № НШ-25.2022.4 с использованием оборудования Центра высоких технологий Белгородского государственного технологического университета имени В.Г. Шухова.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Соловьев В.И. Цифровая трансформация систем теплоснабжения муниципального образования // Информационные и математические технологии в науке и

управлении. 2019. № 2 (14). С. 52–61. DOI: 10.25729/2413-0133-2019-2-05

2. Рыбкина Г.В., Яблокова А.А. Современное состояние теплоснабжения и его развитие // Промышленные процессы и технологии. Т. 2. № 2. 2022. С. 89–99. DOI: 10.37816/2713-0789-2022-2-2(4)-89-99.

3. Mol C., GeoWatt. Research of fourth generation heating networks // [Internet] EnergyVille. 2018. [Cited 18.01.2023]. Available from:

<https://www.energyville.be/en/research/geowatt-research-fourth-generation-thermal-grids>

4. Елистратова Ю.В., Семенов А.С., Минко В.А. Актуальность моделей загрязнения для диагностики состояния пластинчатых теплообменников // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2020. № 10. С. 33–40. DOI:10.34031/2071-7318-2020-5-10-33-40

5. Xu Z., Han Z., Wang J., Li Y. Numerical simulation of CaSO₄ crystallization fouling in a rectangular channel with vortex generators // International Communications in Heat and Mass Transfer. 2019. Pp. 42–50. DOI:10.1016/j.icheatmasstransfer.2018.12.01.

6. Томилин А.К., Беспалов В.И., Беспалов В.В. Технология магнитной обработки воды против солеотложения: теория и практика // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. Т. 332. № 1. 2021. С. 54–63. DOI:10.18799/24131830/2021/1/2999.

7. Berche J., Zupancic M., Mauger M. Overview of fouling by crystallization in heat exchangers // Processes. 2021. Doi: 9. 1356.10. DOI:10.3390/pr9081356.

8. Татаринцев В.А. Особенности накипеобразования в трубах теплообменных аппаратов // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Энергетика. Том. 22. № 1. 2022. С. 97–105. DOI: 10.14529/power220111 DOI: 10.14529/power220111.

9. Kumar A., Yadav S., Mondloe D., Baware V., Kumar Y., Pandit V. CFD analysis of Gypsum crystallization fouling in 2D plate heat exchangers // International Journal of Advanced Technology and Engineering Exploration. 2022. 9. 2394–7454. DOI:10.19101/IJATEE.2021.874616.

10. Faes W., Lecompte S., Ahmed Z., Bael J., Salenbien R., Verbeken K. et al. Corrosion and corrosion prevention in heat exchangers // Corrosion Reviews. 2019. Vol. 37. Pp. 131–155 DOI:10.1515/corrrev-2018-0054.

11. Sundar S., Rajagopal M.C., Zhao H., Kuntumalla G., Meng Y., Chang H.C., et al. Fouling modeling and prediction approach for heat exchangers using deep learning // Int. J. Heat Mass

Transf. 2020. 159. 120112. DOI:10.1016/j.ijheatmasstransfer.2020.120112.

12. Kananeh A.B. Fouling in Plate Heat Exchangers: Some Practical Experience // Heat Exchangers – Basics Design Applications. 2012. Pp. 533–550. DOI:10.5772/34026.

13. Müller-Steinhagen H., Malayeri M.R., Watkinson P. Fouling of Heat Exchangers-New Approaches to Solve an Old Problem // Heat Transfer Engineering. 2005. Vol. 26. Pp. 1–4. DOI:10.1080/01457630590889906.

14. Kang S., Junyub L., Sungho Y., Dongwoo K., Yongchan K. Composite fouling characteristics of CaCO₃ and CaSO₄ in plate heat exchangers at various operating and geometric conditions // International Journal of Heat and Mass Transfer. 2019. Vol. 136. Pp. 555–562. DOI:10.1016/j.ijheatmasstransfer.2019.03.032.

15. Галковский В.А., Чупова М.В. Анализ снижения коэффициента теплопередачи теплообменных аппаратов вследствие загрязнения поверхности // [Электронный ресурс]. Интернет-журнал «Науковедение». Т. 9. №2. 2017. Режим доступа: <http://naukovedenie.ru/PDF/41TVN217.pdf> (дата обращения 01.02.2023).

16. Елистратова Ю.В. Повышение эффективности пластинчатых теплообменных устройств в системах теплоснабжения: дис. кан. тех. наук.: 05.23.03 / Ю.В. Елистратова. Белгород. 2021. 174 с.

17. Khodamorad S.H., Alinezhad N., Fatmehsari H., Davoud, Ghahtan K. Stress corrosion cracking in Type.316 plates of a heat exchanger // Case Studies in Engineering Failure Analysis. 2016. Vol. 5-6. Pp. 59–66. DOI:10.1016/j.csefa.2016.03.001.

18. Deen K.M., Virk M.A., Haque C.I., Ahmad R., Khan I.H. Failure investigation of heat exchanger

plates due to pitting corrosion // Eng Fail Anal. 2010. Vol. 17. Pp. 886–893.

19. Жаднов О.В. Накипь и проблемы теплоэнергетики [Электронный ресурс] // Новости теплоснабжения 2006. №4. Режим доступа: www.nts-n.ru. (дата обращения 05.02.2023)

20. Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества. Гигиенические требования к обеспечению безопасности систем горячего водоснабжения: Санитарно-эпидемиологические правила и нормы. – М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2009. 15 с.

21. Аппараты теплообменные пластинчатые разборные типа НН. Руководство по эксплуатации // РДАМ.0665145.001 РЭ. – Нижний Новгород: Акционерное общество "Ридан".

22. Тариф на электроэнергию в г. Белгород. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://stroyfora.ru/tariff/area-02e9c019-ab4d-4fa0-928e-d6c0a41dc256/year-2023/type-16>. (дата обращения 03.02.2023).

23. Барановский Н.В., Коваленко Л.М., Ястребенецкий А.Р. Пластинчатые и спиральные теплообменники. М.: «Машиностроение», 1973. 288 с.

24. Чернышев Д.В., Купленов Н.И. Особенности распределения накипи по поверхности пластинчатого водонагревателя // Энергосбережение: 2000 Международная научно-техническая конференция: ТулГУ. Тула, 2000. 127 с.

Информация об авторах

Елистратова Юлия Васильевна, кандидат технических наук, доцент кафедры теплогазоснабжения и вентиляции. E-mail: tg.v.info@mail.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Семиненко Артём Сергеевич, кандидат технических наук, доцент кафедры теплогазоснабжения и вентиляции. E-mail: seminenko.as@gmail.com. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Уваров Валерий Анатольевич, доктор технических наук, профессор кафедры теплогазоснабжения и вентиляции. E-mail: isi@bstu.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Щербинина Ольга Александровна, кандидат технических наук, доцент кафедры теплогазоснабжения и вентиляции. E-mail: shcherbinina.oa@gmail.com. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Поступила 02.02.2023 г.

© Елистратова Ю.В., Семиненко А.С., Уваров В.А., Щербинина О.А., 2023

**Elistratova Yu.V., Seminenko A.S., Uvarov V.A., Shcherbinina O.A.*

Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov

**E-mail: tgv.info@mail.ru*

THE ECONOMIC ASPECT OF THE SCALE-FORMING DIGNOSTICS LAYERS IN PLATE HEAT EXCHANGERS

Abstract. *The reliability and efficiency component of the 3rd generation heat and power network is characterized by the use of heat exchange devices, namely the plate type. Its main function is to heat the coolant for the needs of hot water supply and heating systems. However, the peculiarities of the chemical composition of the heat carrier cause contamination of heat exchangers in the form of scale layers on the heating surfaces. The process of scale formation on the plates of heat exchangers is one of the key factors affecting the failure of equipment and an increase in the energy intensity of heat distribution points, which leads to a decrease in the quality of services provided and an increase in financial costs in the field of heat supply. In the course of the study, by summarizing the known data, a sequence is formed for calculating the transport costs for the operation of plate heat exchangers under various conditions of scale formation. At the same time, the influence of scale thickness on the total cost of pumping one square meter of coolant is taken into account. This allows comparing transportation costs and the cost of removing scale from heating surfaces (according to the accepted cleaning method) depending on the thickness of the salt-forming layer and cleaning periods. The results of the study confirm the feasibility of regular monitoring of the thickness of salt-forming layers in plate heat exchangers to reduce operating costs for pumping the coolant.*

Keywords: *plate heat exchanger, energy efficiency, operating costs, energy intensity, scale control.*

REFERENCES

1. Soloviev V.I. Digital transformation of heat supply systems of a municipality [Cifrovaya transformaciya sistem teplosnabzheniya municipal'nogo obrazovaniya Cifrovaya transformaciya sistem teplosnabzheniya municipal'nogo obrazovaniya] Information and Mathematical Technologies in Science and Management. 2019. No. 2 (14). Pp. 52–61. DOI:10.25729/2413-0133-2019-2-05. (rus)
2. Rybkina G.V., Yablokova A.A. The current state of heat supply and its development [Sovremennoe sostoyanie teplosnabzheniya i ego razvitiye]. Industrial processes and technologies. Vol. 2. No. 2. 2022. Pp. 89–99. DOI:10.37816/2713-0789-2022-2-2(4)-89-99. (rus)
3. Mol C., GeoWatt. Research of fourth generation heating networks. [Internet]. energyville. 2018. [cited 01.18.2023]. Available from: <https://www.energyville.be/en/research/geowatt-research-fourth-generation-thermal-grids>.
4. Elistratova Yu.V., Seminenko A.S., Minko V.A. The relevance of pollution models for diagnosing the state of plate heat exchangers [Aktual'nost' modelej zagryazneniya dlya diagnostiki sostoyaniya plastinchatyyh teploobmennikov]. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2020. No. 10. Pp. 33–40. DOI:10.34031/2071-7318-2020-5-10-33-40. (rus)
5. Xu Z., Han Z., Wang J.b, Li Y. Numerical simulation of CaSO₄ crystallization fouling in a rectangular channel with vortex generators. International Communications in Heat and Mass Transfer. 2019. Pp. 42–50. DOI:10.1016/j.icheatmasstransfer.2018.12.01.
6. Tomilin A.K., Bepalov V.I., Bepalov V.V. Technology of magnetic water treatment against scaling: theory and practice [Tekhnologiya magnitnoy ochistki vody ot nakipi: teoriya i praktika]. Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Engineering of georesources. Vol. 332. No. 1. 2021. Pp. 54–63. DOI:10.18799/24131830/2021/1/2999. (rus)
7. Berche J., Zupancic M., Mauger M. Overview of fouling by crystallization in heat exchangers. Processes. 2021. Doi: 9. 1356.10. DOI:10.3390/pr9081356.
8. Tatarintsev V.A. Peculiarities of scale formation in pipes of heat exchangers [Osobennosti obrazovaniya nakipi v trubah teploobmennikov]. Bulletin of the South Ural State University. Series: Energy. Volume. 22. No. 1. 2022. Pp. 97–105. DOI: 10.14529/power220111 (rus)
9. Kumar A., Yadav S., Mondloe D., Barewar V., Kumar Y., Pandit V. CFD analysis of Gypsum crystallization fouling in 2D plate heat exchangers. International Journal of Advanced Technology and Engineering Exploration. 2022. 9. 2394–7454. DOI:10.19101/IJATEE.2021.874616.
10. Faes W., Lecompte S., Ahmed Z, Bael J., Salenbien R., Verbeken K. et al. Corrosion and corrosion prevention in heat exchangers. Corrosion Reviews. 2019. 37. Pp. 131–155. DOI:10.1515/corrrev-2018-0054.
11. Sundar S., Rajagopal M.C., Zhao H., Kuntumalla G., Meng Y., Chang H.C., et al. Fouling

modeling and prediction approach for heat exchangers using deep learning. *Int. J. Heat Mass Transf.* 2020. 159. 120112. DOI:10.1016/j.ijheatmasstransfer.2020.120112.

12. Kananah A. B. Fouling in Plate Heat Exchangers: Some Practical Experience. *Heat Exchangers - Basics Design Applications*. 2012. Pp. 533–550. DOI:10.5772/34026

13. Müller-Steinhagen H., Malayeri M.R., Watkinson P. Fouling of Heat Exchangers-New Approaches to Solve an Old Problem. *Heat Transfer Engineering*. 2005. 26. Pp. 1–4. DOI:10.1080/01457630590889906.

14. Kang S., Junyub L., Sungho Y., Dongwoo K., Yongchan K. Composite fouling characteristics of CaCO₃ and CaSO₄ in plate heat exchangers at various operating and geometric conditions. *International Journal of Heat and Mass Transfer*. 2019. Vol. 136. Pp. 555–562. DOI:10.1016/j.ijheatmasstransfer.2019.03.032.

15. Galkovsky V.A., Chupova M.V. Analysis of the decrease in the heat transfer coefficient of heat exchangers due to surface contamination [Analiz snizheniya koeffitsienta teploperedachi teploobmennikov iz-za zagryazneniya poverhnosti]. [Electronic resource]. Online journal "Science Studies". Vol. 9. No. 2. 2017 Access mode: <http://naukovedenie.ru/PDF/41TVN217.pdf>. (date of treatment: 01.02.2023). (rus)

16. Elistratova Yu.V. Improving the efficiency of plate heat exchange devices in heat supply systems [Povyshenie effektivnosti plastinchatykh teploobmennyykh ustrojstv v sistemah teplosnabzheniya]: Diss. candidate of Technical Sciences: Belgorod. 2021. 174 p.

17. Khodamorad S.H., Alinezhad N., Fatmehsari H., Davoud, Ghahtan K. Stress corrosion cracking in Type.316 plates of a heat exchanger. *Case Studies in Engineering Failure Analysis*. 2016. Vol. 5-6. Pp. 59–66. DOI:10.1016/j.csefa.2016.03.001.

18. Deen K.M, Virk M.A., Haque C.I., Ahmad R., Khan I.H. Failure investigation of heat exchanger plates due to pitting corrosion *Eng Fail Anal.* 2010. Vol. 17. Pp. 886–893.

19. Zhadnov O.V. Scale and problems of thermal power engineering [Masshtaby i problemy teploenergetiki]. *News of heat supply*. 2006. No. 4. [Electronic resource] Access mode: www.nts.ru. (date of treatment: 05.02.2023). (rus)

20. Drinking water. Hygienic requirements for water quality of centralized drinking water supply systems. Quality control. Hygienic requirements for ensuring the safety of hot water supply systems: Sanitary and epidemiological rules and norms [Pit'evaya voda. Gigienicheskie trebovaniya k kachestvu vody centralizovannykh sistem pit'evogo vodosnabzheniya. Kontrol' kachestva. Gigienicheskie trebovaniya k obespecheniyu bezopasnosti sistem goryachego vodosnabzheniya: Sanitarno-epidemiologicheskie pravila i normy]. M. Federal Center for Hygiene and Epidemiology of Rospotrebnadzor, 2009. 15 p. (rus)

21. Heat-exchange lamellar collapsible type HH [Teploobmennyy plastinchatyy razbornyy tip HH]. Operation manual. RDAM.0665145.001 RE. - Nizhny Novgorod: Joint Stock Company "Ridan". (rus)

22. Electricity tariff in Belgorod [Tarif na elektroenergiyu v Belgorode]. [Electronic resource]. Access mode: <https://stroyfora.ru/tariff/area-02e9c019-ab4d-4fa0-928e-d6c0a41dc256/year-2023/type-16>. (date of treatment: 03.02.2023). (rus)

23. Baranovsky N.V., Kovalenko L.M., Yastrebenetsky A.R. Plate and spiral heat exchangers [Plastinchatye i spiral'nye teploobmenniki]. M.: "Engineering", 1973. 288 p. (rus)

24. Chernyshev D.V., Kuplenov N.I. Peculiarities of scale distribution over the surface of a plate water heater [Osobennosti raspredeleniya nakipi po poverhnosti plastinchatogo vodonagrevatelya]. 2000 Energy Saving: International Scientific and Technical Conference: TulSU. Tula. 2000. 127 p. (rus)

Information about the authors

Elistratova, Yulia V. PhD, Assistant professor. E-mail: tg.v.info@mail.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Seminenko, Artem S. PhD, Assistant professor. E-mail: seminenko.as@gmail.com. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Uvarov, Valery A. DSc, Professor. E-mail: isi@bstu.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Shcherbinina, Olga A. PhD, Assistant professor. E-mail: shcherbinina.oa@gmail.com. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Received 02.02.2023

Для цитирования:

Елистратова Ю.В., Семиненко А.С., Уваров В.А., Щербинина О.А. Экономический аспект диагностики накипеобразующих слоев в пластинчатых теплообменниках // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2023. № 5. С. 42–51. DOI: 10.34031/2071-7318-2023-8-5-42-51

For citation:

Elistratova Yu.V., Seminenko A.S., Uvarov V.A., Shcherbinina O.A. The economic aspect of the scale-forming diagnostics layers in plate heat exchangers. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2023. No. 5. Pp. 42–51. DOI: 10.34031/2071-7318-2023-8-5-42-51

DOI: 10.34031/2071-7318-2023-8-5-52-61

**Рязанцев О.А., Трубаев П.А., Кошлич Ю.А., Доценко Д.Ю., Буханов Д.Г.
Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова
E-mail: razancev.oa@bstu.ru

ИНСТРУМЕНТАЛЬНОЕ ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКОЕ ОБСЛЕДОВАНИЕ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ ЗДАНИЙ ПЕРЕД ПРОВЕДЕНИЕМ КАПИТАЛЬНОГО РЕМОНТА

Аннотация. Приводится анализ результатов инструментального теплотехнического обследования 22 многоквартирных жилых домов, построенных из силикатного и керамического кирпича или железобетонных панелей, со сроком эксплуатации зданий – более 40–50 лет, проводимого перед капитальным ремонтом. Тепловые расчеты по определению экономии энергетических ресурсов показали среднее значение экономии тепловой энергии после утепления в 28 %. Приведены и систематизированы типовые дефекты ограждающих конструкций, выявленные при тепловизионном обследовании. Наружное обследование методом инфракрасной термографии проводилось тепловизором с последующей обработкой термограмм. Показано отсутствие влияния результатов тепловизионного обследования на параметры утеплителя. Приведены результаты измерений сопротивления теплопередаче. Измерения проводились с использованием десятиканальных измерителей плотности тепловых потоков и температуры. Отклонения фактического измеренного сопротивления теплопередаче от расчетного составило в среднем 16 % и достигало 33 %. Сопротивление теплопередаче стены до утепления много меньше значения сопротивления теплопередаче утеплителя и итогового сопротивления многослойной стеновой конструкции. Погрешность определения термического сопротивления утепляемой стены не влияет на необходимую толщину утеплителя. Сделан вывод, что инструментальное обследование ограждающих конструкций зданий перед капитальным ремонтом представляется избыточным. Рекомендовано использовать при капитальном ремонте жилых зданий советской постройки типовую толщину утепления, которая для климатических условий Белгородской области составит 12 см минераловатного утеплителя.

Ключевые слова: термическое сопротивление, инструментальное обследование, ограждающие конструкции, дефекты, утепление, энергосбережение.

Введение. Здания старой постройки не соответствуют современным требованиям по энергосбережению [1]. С учетом того, что на теплоснабжение в РФ тратится по разным оценкам от 33 до 40 % всего потребления первичной энергии, энергосбережение в жилищной сфере является наиболее эффективным способом энергосбережения. Как отмечено в [2]: «самым простым и распространенным способом повышения энергоэффективности зданий является улучшение теплозащитных характеристик ограждающих конструкций». Капитальный ремонт с выполнением утепления ограждающих конструкций существующего жилого и нежилого фонда позволяет снизить затраты на отопление, повысить комфортность проживания. Это позволяет одновременно решать и экологические задачи, так как снижение расхода ископаемого топлива приводит к снижению выбросов парниковых газов.

В Белгородской области, согласно данным АИС «Город», 5708 многоквартирных жилых домов (МКД) общей площадью 25,92 млн. м², из которых около 2/3 построены до 1992 г. (рис. 1). В 2012 г. в Белгородской области создан «Фонд содействия реформированию жилищно-комму-

нального хозяйства Белгородской области», задачей которого являлось обеспечение проведения капитального ремонта МКД. За последние 10 лет в области проведен капитальный ремонт 1592 МКД (40 % зданий советской постройки), для большей части зданий капремонт включал утепление фасадов.

Эффективному утеплению ограждающих конструкций должно предшествовать профессиональное инженерное обследование конструкций и предоставление научно-обоснованных рекомендаций, основанных на современных научных достижениях в этой области, для последующего составления технического задания. Экономическая и технологическая эффективность подбора и монтажа теплоизоляции может быть достигнута только при научном подходе [3, 4]. Целями обследования зданий является:

- а) оценка фактического термического сопротивления ограждающих конструкций и расчет необходимой толщины утепления;
- б) обнаружение дефектов ограждающих конструкций;
- в) технико-экономическое обоснование утепления.

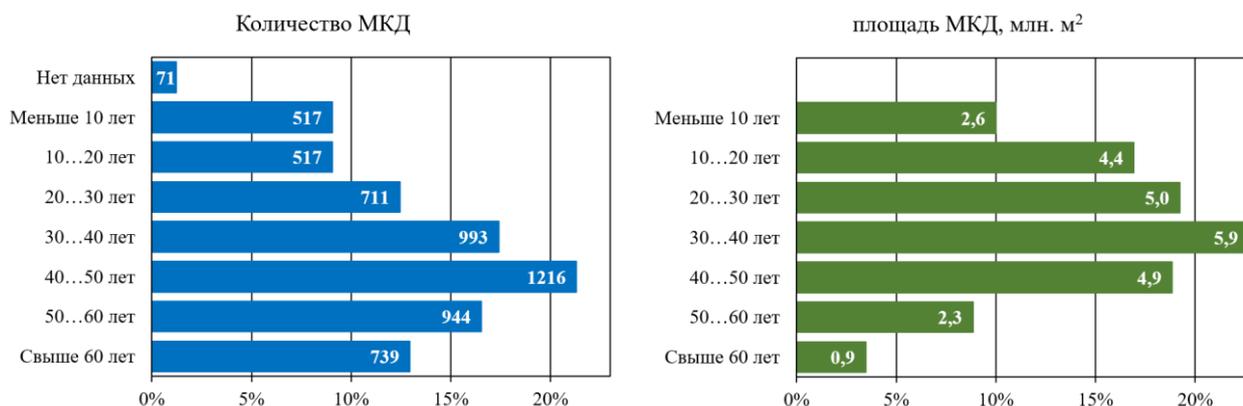


Рис. 1. Возраст МКД Белгородской области

В работе [5] на основании теплоэкономической модели теплозащитной оболочки зданий совместно с системой отопления (с учетом состава ограждающих конструкций и особенностей протекания термодинамических процессов в ограждающих конструкциях и инженерном оборудовании) выявлено, что приведенное суммарное термическое сопротивление ограждающих конструкций оказывает наибольшее влияние на величину приведенных затрат.

Причинами повышенных тепловых потерь в старых зданиях являются изношенные окна и межпанельные швы. Однако на практике встречаются и дефектные панели, у которых фактическое сопротивление теплопередаче наружных стен значительно ниже нормативного (требуемого) [6]. Дополнительными преимуществами утепления являются защита стеновых поверхностей от внешних воздействий: осадков, биологических образований, низких температур (что, в свою очередь, защищает внутренние поверхности от образования конденсата). Кроме того, наружное утепление выполняет функцию дополнительной звукоизоляции и продлевает срок эксплуатации сооружения.

Сопротивление теплопередаче характеризует теплозащиту отдельных ограждающих конструкций зданий и является нормируемым показателем. На основании нормируемых значений этой величины часто делаются выводы об уровне энергосбережения зданий. С нормируемыми значениями сопротивлений теплопередаче сравниваются расчетные значения [7].

Стоимость утепления наружных стен существующих зданий зависит от принятого конструктивного варианта. Вариант утепления с оштукатуриванием фасадных поверхностей является наиболее дешевым. Экономическая целесообразность теплозащиты определяется соотношением затрат на утепление и на получаемую в его результате экономию. Но относительно дешевые энергоносители в России не позволяют

окупить дорогое утепление, и в большинстве случаев здания следует утеплять только до нормативных значений [8].

Проведение тепловизионной съемки перед капитальным ремонтом позволит уточнить дефектные области, получить исходные данные для расчета фактического значения сопротивления теплопередаче конструкции и определить толщину дополнительного слоя теплоизоляции. Необходимо отметить, что после производства работ по устранению дефектов тепловой защиты наружных ограждающих конструкций, выявленных в процессе термографирования, необходимо повторное термографическое обследование с целью определения качества выполнения ремонтно-строительных работ [6].

По утверждению авторов [9], в процессе эксплуатации ограждающие конструкции зданий имеют несколько повышенную влажность, что приводит к увеличению коэффициента теплопроводности материалов и снижению их теплоизолирующей способности. Из-за этого проектные и фактические значения сопротивлений теплопередаче в большинстве случаев отличаются. Основное влияние на снижение фактического термического сопротивления ограждающих конструкций по отношению к проектным значениям оказывает их конструктивное исполнение, а не применяемые материалы [10].

Целью работы являлось исследование влияния точности определения теплозащитных характеристик стен утепляемого здания на требуемую толщину утеплителя и оценка необходимости проведения инструментальных измерений до капитального ремонта.

Характеристика обследуемых зданий и оценка экономии тепловой энергии при утеплении. В период 2020-2021 гг. были выполнены работы по теплотехническому обследованию зданий, участвующих в программах капитального ремонта на территории Белгородской области. Было обследовано 22 многоквартирных жилых дома (табл. 1), построенных из силикатного

и керамического кирпича или железобетонных панелей, срок эксплуатации зданий – более 40–50 лет.

В состав работ входило:

– визуальное и тепловизионное обследование зданий;

– инструментальное измерение термического сопротивления ограждающих конструкций;

– тепловой расчет для определения толщины утеплителя и величины экономии энергоресурсов после утепления.

Для всех зданий было выбрано утепление стен минераловатной изоляцией.

Таблица 1

Характеристики обследованных жилых жомов

№	Местоположение	Этаж-ность	Материал стен и толщина	Площадь, м ²		Количество жителей, чел.
				отаплива-емая	утепляемых стен	
1	г. Белгород	9	силикатный кирпич 0,5 м	2790,0	2252,5	108
2	г. Белгород	5	ж/б панель 0,35 м	4365,0	2183	191
3	г. Грайворон	3	силикатный кирпич 0,5 м	8382,2	2850,9	209
4	г. Грайворон	4	силикатный кирпич 0,5 м	3513,5	2087,9	120
5	г. Старый Оскол	5	ж/б панель 0,35 м	4363,1	2265,8	223
6	г. Старый Оскол	5	ж/б панель 0,35 м	2696,9	1331,5	138
7	г. Старый Оскол	5	ж/б панель 0,35 м	5684,8	2802,1	269
8	г. Старый Оскол	5	ж/б панель 0,35 м	5659,3	2825,6	264
9	г. Старый Оскол	5	ж/б панель 0,35 м	5676,8	2802,1	264
10	г. Старый Оскол	5	ж/б панель 0,35 м	2698,4	1511,1	124
11	г. Старый Оскол	5	ж/б панель 0,35 м	2696,0	1517,5	134
12	г. Старый Оскол	5	силикатный кирпич 0,5 м	2695,1	1476,5	132
13	г. Старый Оскол	5	ж/б панель 0,35 м	5727,7	2881,9	248
14	г. Старый Оскол	5	ж/б панель 0,35 м	4356,2	2267,2	212
15	г. Старый Оскол	5	силикатный кирпич 0,5 м	3560,4	2214,2	151
16	г. Шебекино	5	ж/б панель 0,35 м	2693,6	1511,5	127
17	г. Шебекино	5	силикатный кирпич 0,5 м	2269,9	1713,4	331
18	г. Шебекино	5	ж/б панель 0,35 м	5520,3	2939,7	243
19	п. Разумное	5	ж/б панель 0,35 м	2601,0	1606,9	148
20	с. Купино	3	ж/б панель 0,35 м	1431,6	1294,1	71
21	с. Купино	2	глиняный кирпич 0,5 м	891,2	609,2	53
22	с. Купино	2	глиняный кирпич 0,5 м	894,6	605,1	57

В натуральном выражении экономия тепловой энергии от повышения сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций зданий составила от 30 Гкал до 330 Гкал в зависимости от

площади зданий (рис. 2, 3), что составило от 17 % до 42 % от потребления, среднее значение – 28 %.

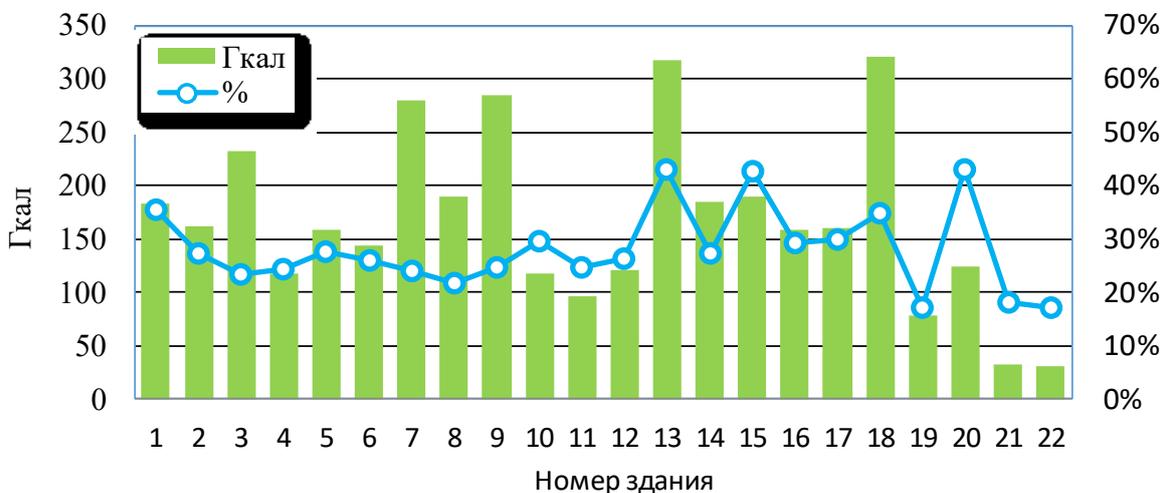


Рис. 2. Расчетная величина снижения расхода тепловой энергии на отопление после утепления

До капремонта жильцы большинства домов оплачивали отопление по нормативу, утвержденному органами местного самоуправления муниципальных образований, равному $0,015...017$ Гкал/м² в месяц (при оплате 12 меся-

цев в году), или $209...237$ кВт·ч/м² в год, что примерно на треть выше фактических затрат на отопление, о величине которого можно судить на основании данных зданий с установленными приборами учета тепловой энергии и по расчетным данным (рис. 3).

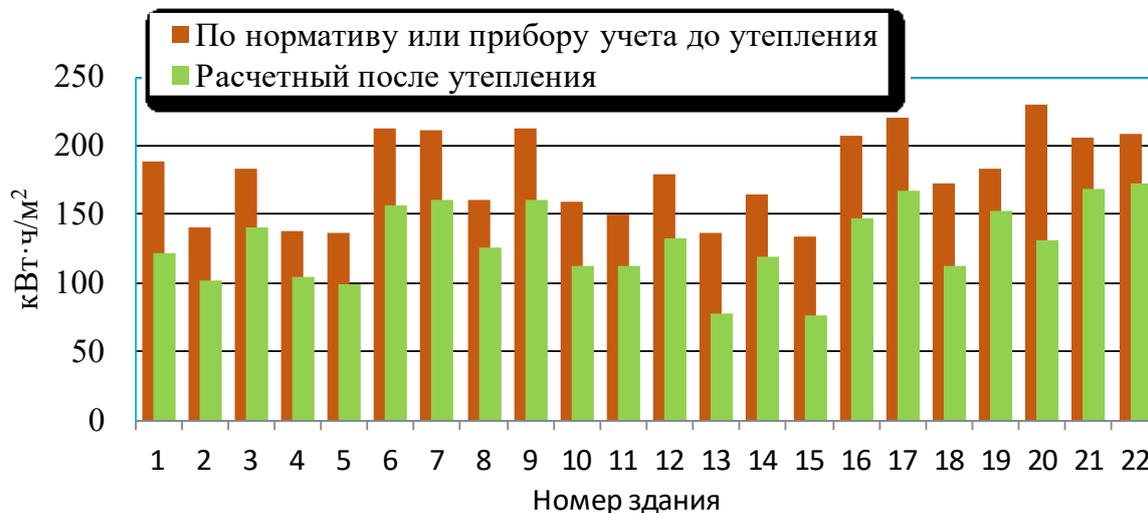


Рис. 3. Расчетный удельный годовой расход тепловой энергии на отопление и вентиляцию до и после утепления

Базовый уровень удельного годового расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию согласно приказу Минстроя России от 06.06.2016 г. № 399 составляет:

2-х этажный дом	136 кВт·ч/м ² ;
3-х этажный дом	125 кВт·ч/м ² ;
4-х этажный дом	114 кВт·ч/м ² ;
5-и этажный дом	102 кВт·ч/м ² ;
9-и этажный дом	84 кВт·ч/м ² .

Приведенные расчеты показывают, что здания после капремонта будут соответствовать нормальному и повышенному классу энергетической эффективности. Но для подтверждения этого, необходимо выборочное инструментальное обследование после выполнения всех работ, так как на практике зачастую значительная часть зданий после капремонта не соответствует требованиям энергоэффективности. Это вызвано как недостаточной толщиной утеплителя, так и качеством выполняемых работ [11].

Тепловизионный осмотр зданий. Ограждающие конструкции зданий влияют на энергоэффективность в большей степени, чем электрические системы, системы отопления, вентиляции и кондиционирования. Распространенным методом выявления дефектов ограждающих конструкций является инфракрасная термография или тепловизионное исследование. Это надежный инструмент, объединяющий измерительные методы, различные схемы и типы анализа [12, 13]. В данной работе использовалась качественная и количественная оценка тепловых потерь при пассивной схеме анализа.

По сравнению с другими методами неразрушающего контроля инфракрасная термография является наиболее распространенным, хорошо изученным и широко применяемым методом [14].

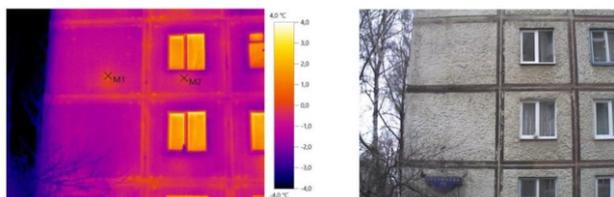
Хорошее соответствие между экспериментальными данными и результатами моделирования подтверждают возможности дальнейшего развития этого метода. Его преимуществами являются: малое время измерений; низкие затраты; широкие возможности измерений. К недостаткам относятся: влияние качества тепловизионного оборудования на конечный результат; влияние внешних условий (конвективный теплоперенос, отраженное излучение, состояние поверхностей в зависимости от погоды); значительное влияние на точность нестационарности процессов. Также применение тепловизионной техники должно выполняться квалифицированным персоналом, как во время измерений, так и при обработке данных [15].

Инфракрасная термография широко используется для качественной оценки тепловых свойств зданий и обнаружения разнообразных дефектов: утечек воздуха, тепловых мостов, нарушений целостности изоляции, трещин и т. д. Кроме того, она способна обеспечивать двухмерное тепловое изображение в реальном времени. Температура, полученная с помощью тепловизионного исследования, менее точна, чем с помощью контактных датчиков, поскольку измерение в значительной степени зависит от окружающих

условий и свойств обследуемой поверхности [16].

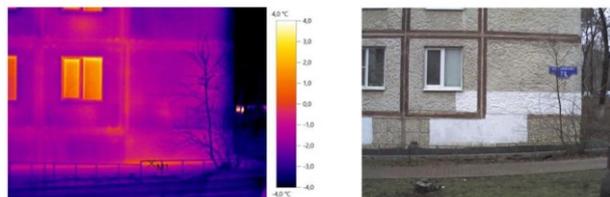
При обследовании проводился визуальный осмотр для оценки состояния ограждающих конструкций, выявления общестроительных дефектов, осмотр теплового узла и системы трубопроводов системы отопления. Затем выполнялось тепловизионное обследование для выявления дефектов в тепловой защите ограждающих конструкций и выбора наиболее типичного участка

стеновой конструкции для измерения сопротивления теплопередаче, а также для выявления особо проблемных мест для устранения дефектов в изоляции. Результаты обследования передавались заказчику, а далее подрядчику, выполняющему утепление. На рисунке 4 приведены наиболее типичные неоднократно встречающиеся дефекты.



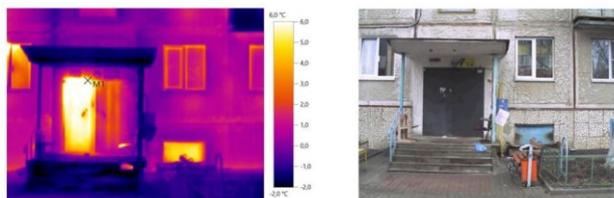
Параметры изображения:
Коэффициент излучения: 0,95
Отраж. темп. [°C]: -1,0

Дефект 1: тепловые потери через стены в местах установки радиаторов, тепловые потери через межпанельные швы ($\Delta t = 1,1 \dots 1,5 \text{ } ^\circ\text{C}$)



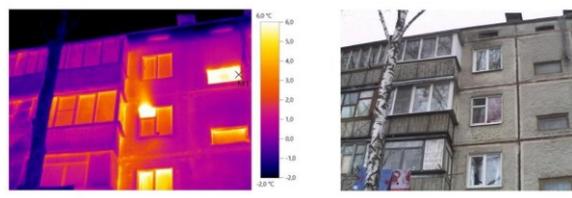
Параметры изображения:
Коэффициент излучения: 0,95
Отраж. темп. [°C]: -1,0

Дефект 2: тепловые потери через цоколь здания ($\Delta t = 1,8 \text{ } ^\circ\text{C}$)



Параметры изображения:
Коэффициент излучения: 0,95
Отраж. темп. [°C]: -1,0

Дефект 3: тепловые потери через входные двери и отверстия в цоколе ($\Delta t = 7,6 \text{ } ^\circ\text{C}$)



Параметры изображения:
Коэффициент излучения: 0,95
Отраж. темп. [°C]: -1,0

Дефект 4: тепловые потери через окна подъездов ($\Delta t = 11,3 \text{ } ^\circ\text{C}$)

Рис. 4. Типовые дефекты, выявленные при тепловизионной съемке зданий

Обнаруженные дефекты тепловой защиты оценивались количественно и качественно. Среднее отклонение температуры поверхности по данным тепловизионного контроля в местах дефектов от средней температуры характерной ограждающей конструкции составляло:

$\Delta t \leq 2 \text{ } ^\circ\text{C}$ – до 60 точек;

$\Delta t = 2 \div 5 \text{ } ^\circ\text{C}$ – до 20 точек;

$\Delta t \geq 5 \text{ } ^\circ\text{C}$ – до 15 точек.

Количество выявленных дефектов (в среднем на здание): от одного до нескольких десятков, в зависимости от критериев значительности дефекта. Типы дефектов: устаревшие и не соответствующие современным требованиям конструкции подъездных окон и дверей; местные нарушения строительных конструкций стен. Во всех случаях выявленные дефекты не являются существенными и не влияют на параметры утепления.

Оценка влияния сопротивления теплопередаче стен на необходимую толщину утеплителя. При капремонте зданий для расчета необходимой толщины утеплителя необходимо знать величину сопротивления теплопередаче стен. Инструментальное измерение сопротивления теплопередаче стен используется для получения полной информации не только о материале, но и его износе, ухудшении характеристик. Для утеплителя измерения не проводились, поскольку применяется новый материал и его характеристики подтверждены сертификатами соответствия.

Была проведена серия замеров измерителем плотности теплового потока и температур. Расчеты выполнены согласно ГОСТ Р 56623-2015 «Контроль неразрушающий. Метод определения сопротивления теплопередаче ограждающих

конструкций». Измерения приводились с использованием десятиканальных измерителей плотности тепловых потоков и температуры ИТП-МГ4.03/Х(1) «ПОТОК», фрагмент полученных данных представлен на рисунке 5. Каждым прибором измерения сопротивления теплопередаче проводились в двух точках, кроме того измерялась внутренняя и наружная температура.

В примере среднее сопротивление теплопередаче составило $0,92 \text{ (м}^2\cdot\text{К)/Вт}$, при нормативном значении для г. Белгорода при соответствующих параметрах $2,86 \text{ (м}^2\cdot\text{К)/Вт}$.

Фактические значения термического сопротивления сплошных ограждающих конструкций

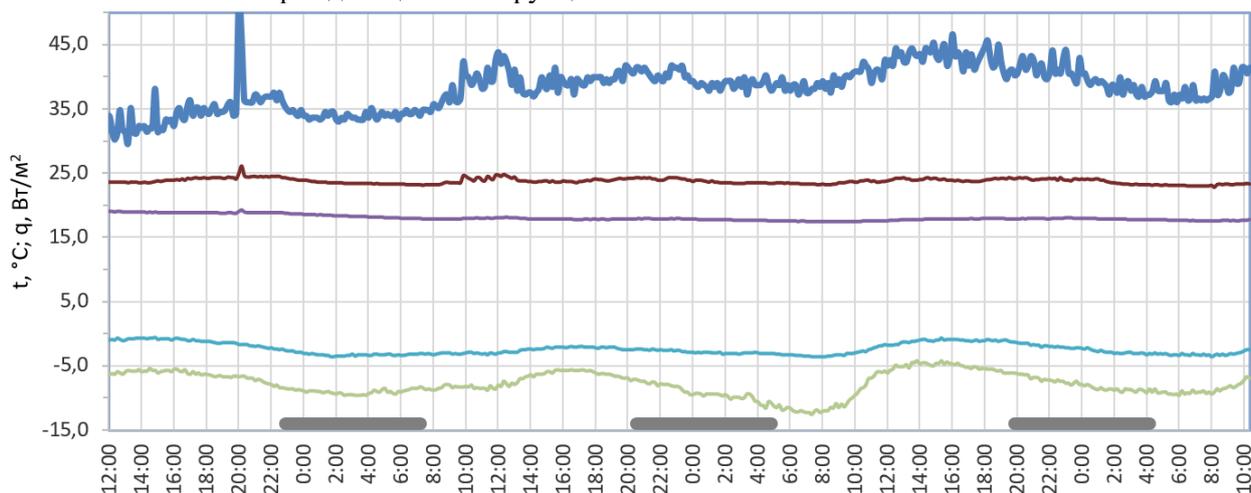


Рис. 5. Результаты замеров температур и теплового потока

Таблица 2

Результаты измерений термического сопротивления

	Температуры, °C				Тепловой поток q , Вт/м ²	Сопротивление теплопередаче R , (м ² ·К)/Вт
	поверхности стены		воздуха			
	внутри помещения $t_{\text{ст.вн}}$	снаружи помещения $t_{\text{ст.нар.}}$	внутри помещения $t_{\text{вн}}$	снаружи помещения $t_{\text{нар}}$		
Точка 1 (дефектная)						
Интервал № 1	18,3	-3,2	23,5	-9,0	34,0	0,96
Интервал № 2	17,8	-2,8	23,8	-9,1	39,5	0,83
Интервал № 3	17,9	-2,4	23,8	-7,9	39,9	0,79
Среднее значение	18,0	-2,8	23,7	-8,7	37,8	0,86
Точка 2 (реперная)						
Интервал № 1	18,4	-4,27	23,5	-9,0	30,0	1,09
Интервал № 2	18,0	-3,91	23,8	-9,1	34,1	0,96
Интервал № 3	18,5	-2,98	23,8	-7,9	37,3	0,85
Среднее значение	18,3	-3,7	23,7	-8,7	33,8	0,97
Отклонение значений в точках 1 и 2						-12%

Из результатов анализа можно заключить, что даже заметное отличие расчетного и фактического сопротивления теплопередаче утепляемых стен приводит к небольшому отклонению в проектной величине толщины утеплителя. Можно рекомендовать типовую толщину утепления от 10 до 12 см минераловатного утеплителя.

отличаются от расчётных незначительно (табл. 3). Отклонения результатов измерений на однотипных зданиях в большинстве незначительные. Для домов были рассчитана необходимая толщина утеплителя (до нормируемого значения термического сопротивления). Несмотря на разную конструкцию ограждающих стен, толщина утеплителя для всех домов составила от 9 до 11 см, при этом использование измеренного или рассчитанного значения термического сопротивления утепляемой стены на результаты практически не повлияло.

Выводы. В работе приводится анализ результатов инструментального теплотехнического обследования 22 многоквартирных жилых домов, проводимых перед капитальным ремонтом. Тепловизионное обследование позволяет качественно и количественно определять дефекты тепловой изоляции ограждающих конструкций.

Но, в конечном счете, оно не влияет на параметры утеплителя при проведении капитального ремонта зданий и представляется излишним.

Отклонения фактического измеренного сопротивления теплопередаче от расчетного составило в среднем 16 % и достигало 33 %. В то же время само сопротивление теплопередаче стены до утепления много меньше значения сопротивления теплопередаче утеплителя и итогового сопротивления многослойной стеновой конструкции. Отклонения толщины утеплителя, определенного по расчетным характеристикам стены до утепления, и по данным инструментального из-

мерения сопротивления теплопередаче составило в среднем 5 мм (6 %), и только в одном случае – более 1 см. Таким образом, ошибка в определении термического сопротивления утепленной стены не влияет на необходимую толщину утеплителя. Поэтому инструментальное обследование ограждающих конструкций зданий перед капитальным ремонтом представляется избыточным. Можно рекомендовать использовать при капитальном ремонте жилых зданий советской постройки типовую толщину утепления, которая для климатических условий Белгородской области составит 12 см минераловатного утеплителя.

Таблица 3

Сравнение данных замеров и расчетных значений

№	Сопротивление теплопередаче, (м ² ·°С)/Вт			Расчет толщины утеплителя		
	Фактическое значение (по данным измерений)	Расчётное значение	Отклонение	По измеренному значению	По расчетному значению	Отклонение
1	0,77	0,869	-13%	10,1	9,6	-5%
2	0,83	0,785	5%	9,9	9,9	1%
3	0,77	0,870	-13%	10,1	9,6	-5%
4	1,03	0,861	16%	9,0	9,6	6%
5	0,87	0,774	11%	9,7	9,9	2%
6	0,62	0,775	-25%	10,7	9,9	-7%
7	0,66	0,780	-18%	10,6	9,9	-6%
8	0,90	0,756	16%	9,6	9,9	4%
9	0,65	0,792	-22%	10,6	9,9	-6%
10	0,80	0,769	4%	10,0	9,9	-1%
11	0,92	0,782	17%	9,4	9,9	5%
12	0,77	0,856	-11%	10,1	9,6	-5%
13	0,61	0,769	-26%	10,8	9,9	-8%
14	0,77	0,794	-3%	10,1	9,9	-2%
15	0,74	0,850	-15%	10,2	9,6	-6%
16	0,63	0,787	-25%	10,7	9,9	-7%
17	0,69	0,835	-21%	10,4	9,6	-8%
18	0,61	0,782	-28%	10,8	9,9	-8%
19	1,15	0,772	33%	8,6	9,9	16%
20	0,67	0,759	-13%	10,5	9,9	-6%
21	1,01	0,977	3%	9,1	9,1	-1%
22	1,04	0,996	4%	9,0	9,1	1%

Источник финансирования. Работа выполнена в рамках реализации федеральной программы поддержки университетов «Приоритет 2030» с использованием оборудования на базе Центра высоких технологий БГТУ им. В.Г. Шухова.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Семенова Э.Е., Думанова В.С. Повышение энергоэффективности эксплуатируемых зданий // Инженерно-строительный вестник Прикаспия. 2020. № 2(32). С. 72–75.
- Ковалева А.А., Наумович Ю.И. Повышение энергоэффективности зданий при реконструкции // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). 2022. № 1. С. 129–132.

- Kosukhin M.M., Kosukhin A.M. The thermal and physical aspects of designing facade heat insulation at capital repairs and reconstruction of civic buildings // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2019. 012023. DOI:10.1088/1757-899X/552/1/012023

- Kosukhin M.M., Kosukhin A.M., Komarova K.S. Increasing of the energy efficiency in civilian buildings applying fixed type of facade systems // IOP Conference Series: Journal of Physics. 2018. Pp. 49–54. DOI:10.1088/1742-6596/1066/1/012012

- Avsyukevich D., Shishkin E., Litvinova N., Mirgorodskiy A. Thermoeconomic model of a building's thermal protection envelope and heating system // Magazine of Civil Engineering. 2022. No 5(113). 11302. DOI:10.34910/mce.113.2

6. Косарев Л.В., Кузнецов П.Ю., Болдырев Н.Ю., Костюкова Ю.С., Бораковский Д.А. Выявление основных дефектов теплотехнической защиты наружных ограждающих конструкций крупнопанельных зданий и определение наиболее эффективных методов их устранения // Инновации и инвестиции. 2021. № 5. С. 213-216.
7. Гагарин В.Г., Дмитриев К.А. Учет теплотехнических неоднородностей при оценке теплозащиты ограждающих конструкций в России и европейских странах // Строительные материалы. 2013. № 6. С. 14–16.
8. Малявина Е.Г., Фролова А.А. Энергетическая и экономическая оценка теплозащиты офисного здания // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2017. № 8. С. 64–69. DOI:10.12737/article_5968b4502ace93.00925434.
9. Косарев Л.В., Вавилов В.И., Болдырев Н.Ю., Добрынкина О.В., Костюкова Ю.С. Разработка мероприятий обеспечивающих эффективную работу теплотехнической защиты ограждающих конструкций жилого дома // Инновации и инвестиции. 2021. № 12. С. 189–192.
10. Тарасюк П.Н., Ващенко Д.А., Трубаев П.А., Радченко В.В. Анализ термического сопротивления ограждающих конструкций различного типа по результатам инструментальных измерений // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2015. № 2. С. 152–158.
11. Трубаев П.А., Гришко Б.М. Анализ энергоэффективности зданий после капитального ремонта // Энергетические системы. 2016. № 1. С. 161–168.
12. Kirimtat A., Krejcar O. A review of infrared thermography for the investigation of building envelopes: Advances and prospects // Energy and Buildings. 2018. Vol. 176. Pp. 390–406. DOI:10.1016/j.enbuild.2018.07.052
13. Lucchi E. Applications of the infrared thermography in the energy audit of buildings: A review // Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2018. Vol. 82. Pp. 3077–3090. DOI:10.1016/j.rser.2017.10.031
14. El Masri Y., Rakha T. A scoping review of non-destructive testing (NDT) techniques in building performance diagnostic inspections // Construction and Building Materials. 2020. Vol. 265. 120542. DOI:10.1016/j.conbuildmat.2020.120542
15. Nardi I., De Rubeis T., Ambrosini D., Lucchi E. Quantification of heat energy losses through the building envelope: A state-of-the-art analysis with critical and comprehensive review on infrared thermography // Building and Environment. 2018. Vol. 146. Pp. 190–205. DOI:10.1016/j.buildenv.2018.09.050
16. Yang Y., Chen Z., Vogt Wu T, Semprey A., Batsale J-C. In situ methodology for thermal performance evaluation of building wall: A review // International Journal of Thermal Sciences. 2022. 107687. DOI:10.1016/j.ijthermalsci.2022.107687

Информация об авторах

Рязанцев Олег Александрович, кандидат технических наук, доцент кафедры энергетики теплотехнологии. E-mail: razancev.oa@bstu.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Трубаев Павел Алексеевич, доктор технических наук, профессор кафедры энергетики теплотехнологии. E-mail: trubaev@gmail.com. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Кошлич Юрий Алексеевич, кандидат технических наук, доцент кафедры электроэнергетики и автоматики. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Доценко Дмитрий Юрьевич. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Буханов Дмитрий Геннадьевич, старший преподаватель. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Поступила 05.10.2022 г.

© Рязанцев О.А., Трубаев П.А., Кошлич Ю.А., Доценко Д.Ю., Буханов Д.Г., 2023

***Ryazantsev O.A., Trubaev P.A., Koshlich Yu.A., Dotsenko D.Yu., Bukhanov D.G.**

Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhova

**E-mail: razantsev.oa@bstu.ru*

INSTRUMENTAL THERMAL ENGINEERING INSPECTION OF BUILDING ENCLOSING STRUCTURES BEFORE MAJOR REPAIRS

Abstract. *The analysis of the results of the instrumental thermal engineering survey of 22 multi-apartment residential buildings built of silicate and ceramic bricks or reinforced concrete panels, with a service life of buildings of more than 40–50 years, carried out before major repairs is given. Thermal calculations to determine the savings in energy resources showed an average value of savings in thermal energy after insulation of 28 %. Typical defects of enclosing structures identified during thermal imaging examination are presented and systematized. An external examination by infrared thermography is carried out with a thermal imager, followed by processing of thermograms. The absence of influence of the results of thermal imaging examination on the parameters of the insulation is shown. The results of measurements of resistance to heat transfer are presented. The measurements are made using ten-channel heat flux density and temperature meters. The actual measured heat transfer resistance deviated from the design resistance by an average of 16 per cent to 33 per cent. The heat transfer resistance of the wall before insulation is much less than the value of the heat transfer resistance of the insulation and the final resistance of the multilayer wall structure. The error in determining the thermal resistance of the insulated wall does not affect the required thickness of the insulation. It is concluded that the instrumental examination of the enclosing structures of buildings before a major overhaul seems to be redundant. It is recommended to use a typical thickness of insulation during the overhaul of Soviet-built residential buildings, which for the climatic conditions of the Belgorod Region will be 10 cm of mineral wool insulation.*

Keywords: *thermal resistance, instrumental examination, enclosing structures, defects, insulation, energy saving.*

REFERENCES

1. Semenova E.E., Dumanova V.S. The increase of energy efficiency operated buildings [Povysheniye energoeffektivnosti ekspluatiruyemykh zdaniy]. Engineering - Construction Bulletin of Caspian. 2020. No 2(32). Pp. 72–75. (rus)
2. Kovaleva A.A., Naumovich Yu. I. Increasing the energy efficiency of buildings during reconstruction [Povysheniye energoeffektivnosti zdaniy pri rekonstruktsii]. Science. Technics. Technologies (polytechnic bulletin). 2022. No 1. Pp. 129–132. (rus)
3. Kosukhin M.M., Kosukhin A.M. The thermal and physical aspects of designing facade heat insulation at capital repairs and reconstruction of civic buildings. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2019. 012023. DOI:10.1088/1757-899X/552/1/012023
4. Kosukhin M.M., Kosukhin A.M., Komarova K.S. Increasing of the energy efficiency in civilian buildings applying fixed type of facade systems. IOP Conference Series: Journal of Physics. 2018. Pp. 49–54. DOI:10.1088/1742-6596/1066/1/012012
5. Avsyukevich D., Shishkin E., Litvinova N., Mirgorodskiy A. Thermoeconomic model of a building's thermal protection envelope and heating system. Magazine of Civil Engineering. 2022. No. 5(113). 11302. DOI:10.34910/mce.113.2
6. Kosarev L.V., Kuznetsov P.Yu., Boldyrev N.Yu., Kostyukova Yu.S., Borakovskiy D.A. The troubleshooting of thermal protection defects of large-panel buildings enclosing parts [Vyyavleniye osnovnykh defektov teplotekhnicheskoy zashchity naruzhnykh ogradhdayushchikh konstruktsey krupnopanel'nykh zdaniy i opredeleniye naiboleye effektivnykh metodov ikh ustraneniya]. Innovation and investment. 2021. No. 5. Pp. 213–216. (rus)
7. Gagarin V.G. Dmitriev K.A. Consideration of thermal heterogeneities in the assessment of thermal protection of enclosing structures in Russia and european countries [Uchet teplotekhnicheskikh neodnorodnostey pri otsenke teplozashchity ogradhdayushchikh konstruktsey v Rossii i yevropeyskikh stranakh]. Building materials. 2013. No. 6. Pp. 14–16. (rus)
8. Malyavina E.G., Frolova A.A. Energy and economic assessment of thermal protection of an office building [Energeticheskaya i ekonomicheskaya otsenka teplozashchity ofisnogo zdaniya]. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2017. No. 8. Pp. 64–69. DOI:10.12737/article_5968b4502ace93.00925434. (rus)
9. Kosarev L.V., Vavilov V.I., Boldyrev N.Yu., Dobrynina O.V., Kostyukova Yu.S. Development of measures to ensure efficient operation of heat engineering protection of enclosing structures of a residential building [Razrabotka meropriyatiy obespechivayushchikh effektivnyuyu rabotu teplotekhnicheskoy zashchity ogradhdayushchikh konstruktsey zhilogo doma]. Innovation and investment 2021. No. 12. Pp. 189–192. (rus)

10. Tarasyuk P.N., Vashchenko D.A., Trubaev P.A., Radchenko V.V. Analysis of thermal resistance of enclosing structures of various types based on the results of instrumental measurements [Analiz termicheskogo soprotivleniya ograždayushchikh konstruktsiy razlichnogo tipa po rezul'tatam instrumental'nykh izmereniy]. Bulletin of the BSTU V.G. Shukhov. 2015. No. 2. Pp. 152–158. (rus)

11. Trubaev P.A., Grishko B.M. Analysis of energy efficiency of buildings after overhaul [Analiz energoeffektivnosti zdaniy posle kapital'nogo remonta]. Energy systems. 2016. No 1. Pp. 161–168. (rus)

12. Kiritat A., Krejcar O. A review of infrared thermography for the investigation of building envelopes: Advances and prospects. Energy and Buildings. 2018. Vol. 176. Pp. 390–406. DOI:10.1016/j.enbuild.2018.07.052

13. Lucchi E. Applications of the infrared thermography in the energy audit of buildings: A review.

Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2018. Vol. 82. Pp. 3077–3090. DOI:10.1016/j.rser.2017.10.031

14. El Masri Y., Rakha T. A scoping review of non-destructive testing (NDT) techniques in building performance diagnostic inspections. Construction and Building Materials. 2020. Vol. 265. P. 120542. DOI:10.1016/j.conbuildmat.2020.120542

15. Nardi I., De Rubeis T., Ambrosini D., Lucchi E. Quantification of heat energy losses through the building envelope: A state-of-the-art analysis with critical and comprehensive review on infrared thermography. Building and Environment. 2018. Vol. 146. Pp. 190–205. DOI:10.1016/j.buildenv.2018.09.050

16. Yang Y., Chen Z., Vogt Wu T, Semprey A., Batsale J-C. In situ methodology for thermal performance evaluation of building wall: A review. International Journal of Thermal Sciences. 2022. 107687. DOI:10.1016/j.ijthermalsci.2022.107687

Information about the authors

Ryazantsev, Oleg A. PhD. E-mail: razancev.oa@bstu.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Trubaev, Pavel A. DSc, Professor. E-mail: trubaev@gmail.com. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Koshlich, Yuri A. PhD. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

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

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

Received 05.10.2022

Для цитирования:

Рязанцев О.А., Трубаев П.А., Кошлич Ю.А., Доценко Д.Ю., Буханов Д.Г. Инструментальное теплотехническое обследование ограждающих конструкций зданий перед проведением капитального ремонта // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2023. № 5. С. 52–61. DOI: 10.34031/2071-7318-2023-8-5-52-61

For citation:

Ryazantsev O.A., Trubaev P.A., Koshlich Yu.A., Dotsenko D.Yu., Bukhanov D.G. Instrumental thermal engineering inspection of building enclosing structures before major repairs. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2023. No. 5. Pp. 52–61. DOI: 10.34031/2071-7318-2023-8-5-52-61

DOI: 10.34031/2071-7318-2023-8-5-62-70

¹Меркулов С.И., ²Есипов С.М., ²Голиков Г.Г.¹Курский государственный университет²Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

О ФОРМИРОВАНИИ МЕТОДИКИ ОПТИМИЗАЦИИ ПЛАНИРОВАНИЯ КАПИТАЛЬНОГО РЕМОНТА ЖИЛЫХ ЗДАНИЙ НА ЭТАПАХ ЭКСПЛУАТАЦИИ И РЕМОНТА

Аннотация. В доступных для исследования и анализа источниках, в том числе и действующих нормативных документах, содержится ряд методик определения и учета физического износа зданий и сооружений, однако, множество из них либо содержат слишком усредненные данные, либо противоречат друг другу. В данной статье рассмотрен разработанный подход к оценке физического износа жилых зданий с точки зрения периодичности проведения восстановительных мероприятий и капитальных ремонтов. Описана необходимость совершенствования подхода к мониторингу технического состояния жилых зданий с целью оптимизации затрат на поддержание работоспособного состояния. Рассмотрены случаи различных вариантов применения политики принятия решений в области эксплуатации жилых зданий. Предложена методика определения зависимости физического износа здания от срока эксплуатации, а также произведена оценка стоимости выполнения восстановительных работ на основе экспериментальных данных. Определены характерные участки кривой зависимости «срок эксплуатации – физический износ» с анализом факторов и предпосылками принятия управленческих решений в отношении объекта капитального строительства. Выполнено математическое моделирование на основе полученных данных, позволяющее разрабатывать рекомендации в отношении сроков и объемов восстановительных работ при проведении ремонтов на этапе эксплуатации.

Ключевые слова: физический износ, эксплуатация, жизненный цикл объектов капитального строительства, капитальный ремонт

Введение. Жилищный фонд – это совокупность всех жилых помещений, находящихся на территории Российской Федерации [1]. Для человека в современных условиях одной из важных форм среды обитания являются территории массовой жилой застройки. Они предназначены для

создания достойных и комфортных условий проживания людей [2].

На сегодняшний день темпы роста жилой застройки, в частности социального жилья, увеличиваются, однако, основной процент жилья в нашей стране был построен в период СССР. Соответствующие данные приведены в таблице 1.

Таблица 1

Распределение жилищного фонда РФ по годам строительства XX века

Дата постройки	Возраст зданий	Площадь	Доля в общей массе, %
До 1920 года	100 и более лет	159,8 млн. м ²	4,2 %
1921–1945 гг	От 75 до 100 лет	136,1 млн. м ²	3,6 %
1946–1970 гг	От 75 до 50 лет	965,4 млн. м ²	25,3 %
1971–1995 гг	От 50 до 25 лет	1434,9 млн. м ²	37,6 %
После 1995 года постройки	От 25 лет	1121,4 млн. м ²	29,3 %

Таким образом, в поствоенный период было введено в эксплуатацию 3521,7 млн. м² или 92,2 % от сегодняшнего показателя. Показатели степени физического износа жилищного фонда в Российской Федерации на 2023 год выглядят следующим образом:

- минимальный износ (от 0 до 30 %) – около 62 % жилищного фонда;
- износ от 31 до 45 %, требующий текущего ремонта - около 34 % жилищного фонда;

- износ от 46 до 70 %, при котором обязательным является проведение капитального ремонта, либо реконструкции, либо сноса (при соответствующем обосновании) – около 2,8 % жилищного фонда;

- критическую степень износа (свыше 70 %) имеет около 1 % жилищного фонда страны [3].

Уровни износа зданий и сооружений, как физического, так и морального неуклонно возрастает ежегодно. Доля зданий и сооружений,

особенно непроизводственного назначения, требующих проведения капитального ремонта или

реконструкции, а также имеющих категорию состояния «аварийное» также растет. Соответствующие данные приведены в таблице 2.

Таблица 2

Аварийный жилищный фонд

	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Аварийный жилищный фонд, тыс. м ²	15188	13512	16180	17464	19616	22059
Удельный вес аварийного жилищного фонда, %	0,4	0,4	0,4	0,5	0,5	0,5

Проблематика ремонта и реконструкции зданий и сооружений актуальна уже несколько десятков лет. Например, в середине 90-х годов был принят законопроект [4], согласно которому должен был осуществиться ремонт в зданиях, нуждающихся в проведении капитального ремонта более 20 лет. Данный законопроект распространялся на дома, которые были переданы в собственность людям из муниципалитета в 1992-1996 гг. На момент принятия законопроекта такие дома составляли достаточно большой объем жилья (85% жилищного фонда). По мнению авторов законопроекта, проведения ремонта – это обязанность местных властей, которую не стоит перекидывать на жильцов. Однако не все дома, переданные в собственность людям, являлись собственностью муниципалитетов, и местные власти считали нецелесообразным проведения ремонтов в таких зданиях [4].

Таким образом, текущее состояние жилищного фонда говорит о необходимости модернизации и обновления. Чтобы организовать переустройство жилой среды, с увязкой модернизации и обновления всех ее компонентов и составляющих целесообразно применять системный подход, который позволит создавать эффективные модели территорий проживания человека [3].

Материалы и методы. Оценка состояния жилой застройки достигается посредством определения следующих показателей: моральный износ, физический износ и «техническая комфортность». Сегодня становится более востребованной необходимостью проведения строительно-технических экспертиз и обследований технического состояния объектов недвижимости. Строительно-технические исследования проводятся в целях обеспечения контрольно-надзорных функций в финансово бюджетной сфере при проведении контрольных мероприятий [5,16].

Обследование технического состояния зданий и сооружений проводят, чтобы обеспечить их безопасную эксплуатацию, а при необходимости решить вопрос об их дальнейшей рекон-

струкции, восстановлении, усилении или ремонте. Проводится обследование силами специализированной организации [6].

Обследование зданий (сооружений), как правило, состоит из следующих этапов: подготовка к проведению обследования, предварительное (визуальное) обследование и детальное (инструментальное) обследование. По итогам обследования составляется заключение, а также составляется паспорт здания (сооружения) или вносятся уточнения в тот паспорт, который был составлен ранее [6]. При проектировании реконструкции или капитального ремонта зданий (сооружений) проводят комплексное обследование их технического состояния [17].

Стоимость Жизненного Цикла Здания (СЖЦЗ) – совокупное денежное выражение интегральных издержек владения объектом капитального строительства, включающее в себя расходы на проектирование, строительство, техническое обслуживание, эксплуатацию, ремонты (текущие и капитальные), утилизацию (сноса) созданного в результате выполнения работы объекта (элементов здания или здания целиком) [7].

Сущность сравнительного расчета СЖЦЗ заключается в определении общей сметной стоимости реализации вариантов проектных решений проектируемых объектов капитального строительства, для обеспечения рационального выбора наименьшей интегральной стоимости затрат владения за каждый из периодов его жизненного цикла. В рамках представленной методики плановый период эксплуатации объекта до начала первого капитального ремонта принят равным 30 годам [8, 18].

Периоды жизненного цикла здания:

I – проектирование, включающее:

1.1. Технико-экономическое обоснование (инвестиционный период);

1.2. Инженерные изыскания;

1.3. Создание эскизного проекта, проектирование (проектная и рабочая документация), согласование с эксплуатирующими организациями, экспертиза проектных решений;

II – Строительство, включающее:

2.1. Разработку организации и технологических регламентов производства работ;

2.2. Возведение объекта;

2.3. Предэксплуатационное освоение, пусконаладочные работы систем инженерно-технического обеспечения, благоустройство;

III – Эксплуатация здания, обеспечивающая окупаемость средств, вложенных в создание и освоение основных фондов, в том числе:

3.1. Поддержание конструктивных элементов и систем инженерно-технического обеспечения в работоспособном техническом состоянии за счет проведения плановых, предупредительных и капитальных ремонтов, сезонных осмотров;

3.2. Физический и моральный износ (устаревание), требующий проведения модернизации, технического перевооружения и реконструкции здания. В случае подтверждения экономической целесообразности, этот период предшествует началу нового этапа жизненного цикла здания. Обоснование принимаемого решения о начале нового жизненного цикла здания обязательно должно сопровождаться в данном периоде выполнением работ по технико-экономическому обоснованию и разработке технической документации реконструкции (модернизации);

IV – Окончание жизненного цикла здания, наступающее в случае, если модернизация, техническое перевооружение или реконструкция, восстанавливающие эксплуатационные характеристики объектов капитального строительства до работоспособного технического состояния, нецелесообразны. При этом осуществляется утилизация (снос) здания. На данном этапе возможна утилизация демонтируемых элементов и конструкций, в т.ч. оборудования и их повторное использование [7–8].

Капитальный ремонт вносится в план по управлению жизненным циклом объекта капитального строительства в случае наступления в процессе эксплуатации объекта повышения уровня физического износа, возникновения дефектов или разрушения отдельных строительных конструкций и (или) систем и сетей инженерно-технического обеспечения зданий, строений, сооружений [20].

Концепция, технологии и содержательная часть капитального ремонта существенно отличаются от концепции, технологии и содержательной части текущего ремонта объекта, проводимого на этапах его эксплуатации. Объясняется это тем, что в отличие от текущего ремонта при проведении капитального ремонта затрагиваются конструктивные и иные характеристики

надежности и безопасности объекта капитального строительства [10–12].

Под физическим износом конструкции, элемента, системы инженерного оборудования (далее системы) и здания в целом следует понимать утрату ими первоначальных технико-эксплуатационных качеств (прочности, устойчивости, надежности и др.) в результате воздействия природно-климатических факторов и жизнедеятельности человека [13–15].

Восстановление эксплуатационных свойств элементов и конструкций, проводимое в рамках капитальных ремонтов, имеет различную сметную стоимость в соответствии с объемом проводимых мероприятий. Степень износа напрямую влияет как на перечень проводимых работ, так и на их удельную стоимость в составе локального сметного расчета. Для разработки методики оптимизации были использованы данные о технических обследованиях 12 многоквартирных жилых домов в г. Белгороде за период 2018–2023 гг. со сметными стоимостями выполнения капитальных ремонтов. Степень физического износа принятых объектов варьировалась от 20 до 80 %, т.к. часть объектов обследовалась на этапе сноса для разработки исполнительной документации по выводу здания из эксплуатации. Фрагмент диаграммы от 80 до 100 % физического износа достроен методом линейной экстраполяции. Результаты анализа полученных данных приведены ниже [9].

Основная часть. По результатам сопоставления результатов технического обследования (степень износа, категория технического состояния) с затраченными ресурсами на выполнение рекомендаций по капитальному ремонту была построена усредненная диаграмма зависимости стоимости от степени износа, представленная на рисунке 1.

Представленная на рис. 1 зависимость показывает, что в период эксплуатации, при котором износ составляет 40–60 % стоимость ремонта начинает стремительно возрастать. Это связано с переходом зданий из категории ограниченно-работоспособных в категорию аварийных, что влечет дополнительные расходы на временные укрепления, разработку проектной документации на реконструкцию, приостановку функциональных процессов и т.п.

Физический износ на момент его оценки выражается соотношением стоимости объективно необходимых ремонтных мероприятий, устраняющих повреждения конструкции, элемента, системы или здания в целом, и их восстановительной стоимости в соответствии с табл/ 3.

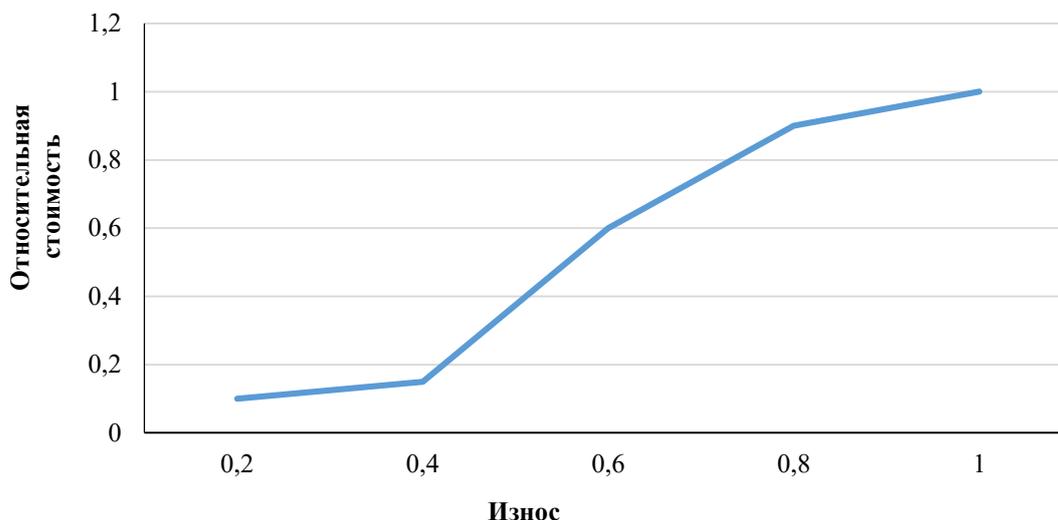


Рис. 1. Зависимость относительной стоимости выполнения работ по капитальному ремонту от степени физического износа здания в целом

Таблица 3

К определению физического износа основных конструкций

Признаки износа	Количественная оценка	Физ. износ, %	Примерный состав работ
Фундаменты ленточные крупноблочные			
Трещины, частичное разрушение блоков (до арматуры); выщелачивание раствора из швов между блоками; следы увлажнения цоколя и стен подвала	Ширина трещин более 2 мм, глубина более 10 мм	41–60	Заделка швов и разрушенных блоков, восстановление гидроизоляции; усиление фундаментов местами
Стены кирпичные			
Сквозные трещины в перемычках и под оконными проемами, выпадение кирпичей, незначительное отклонение от вертикали и выпучивание стен	Отклонение стены от вертикали в пределах помещения более 1/200 высоты, прогиб стены до 1/200 длины деформируемого участка	41–50	Крепление стен поясами, рандбалкамн, тяжами и т.п., усиление простенков
Перекрытия из сборного железобетонного настила			
Поперечные трещины в плитах без оголения арматуры, прогиб	Ширина трещин более 2 мм. Прогиб до 1/100 пролета	41–50	Усиление плит, заделка трещин
Колонны железобетонные (сборные и монолитные)			
Трещины в растянутой и сжатой зонах, по периметру основания и на уровне консоли; отслоение защитного слоя бетона. Оголение арматуры и нарушение ее сцепления с бетоном; глубокие сколы бетона в основании колонны; искривление колонны	Ширина трещин до 2 мм. Искривление колонны до 1/200 высоты	41–60	Заделка трещин инъекцией раствора в трещины или устройством вдоль трещин канавок с последующей зачеканкой их цементным раствором. Устройство обойм колонн

Если конструкция, элемент, система или их участок имеет все признаки износа, соответствующие определенному интервалу его значений, то физический износ следует принимать равным верхней границе интервала [21–22].

Доли восстановительной стоимости отдельных конструкций, элементов и систем в общей восстановительной стоимости здания (в %) следует принимать по укрупненным показателям

восстановительной стоимости жилых зданий, утвержденным в установленном порядке, а для конструкций, элементов и систем, не имеющих утвержденных показателей – по их сметной стоимости [22–24].

Для того, чтобы сформировать подход к оптимизации планирования проведения капитальных ремонтов жилых зданий, был выбран критерий

рий – относительная стоимость выполнения работ за весь период жизненного цикла здания, а в качестве вариативного параметра – периодичность капитального ремонта. Относительная стоимость выполнения работ за однократный капитальный ремонт взята в соответствии с рисунком 1, а уровень физического износа, соответствующий конкретному сроку эксплуатации (в применимости к данному исследованию срок эксплуатации приравнен к временному промежутку между ремонтами) взят как кусочно-линейно возрастающий на всём сроке эксплуатации, в соответствии с аппроксимированной нелинейной

математической зависимостью, которая была разработана авторами статьи в рамках предыдущих исследований. В рамках методики вариативный параметр (периодичность капитального ремонта) вводится в расчет посредством другого параметра – среднего количества ремонтов за нормативный срок эксплуатации объекта. Он рассчитывается как частное от деления нормативного срока эксплуатации на периодичность капитального ремонта. Результаты приведены в таблице 4.

Таблица 4

К определению оптимальной по стоимости периодичности ремонтных работ

Период кап. ремонта, лет	Физический износ, %	Относительная стоимость за 1 м ²	Среднее кол-во ремонтов за срок эксплуатации	Итог относительной стоимости за 1 м ²
20	24	0,1	7,5	0,75
25	30	0,12	6	0,72
30	36	0,14	5	0,7
35	42	0,18	4,29	0,771
40	48	0,23	3,75	0,863
45	54	0,32	3,33	1,067

Математическая модель учитывает частичное восстановление эксплуатационных свойств, несущих и ограждающих конструкций в рамках капитального ремонта. Степень данного восстановления в отношении к общей степени износа базируется на разнице удельных весов износа каждого конструктивного элемента до и после проведения капитального ремонта.

Таким образом результат с минимальными затратами, за весь срок эксплуатации здания, по данным таблицы 4 является временной период в 30 лет. Данный показатель хорошо коррелируется с рекомендациями, установленными в [25].

Выводы. В настоящее время рекомендации по системному выбору формы и конкретных участков, обеспечивающих рациональный расход ресурсов на обновление и реконструкцию недостаточно разработаны. Создание данной методики, а также методики учета износа позволит обеспечить переустройство наиболее изношенных территорий, а также оптимизировать расход требующихся материально-технических, трудовых и других ресурсов. Высокая гибкость методики в отношении изменения базового нормативного срока эксплуатации, а также относительной стоимости выполнения работ за один капитальный ремонт позволяет экстраполировать результаты для любых зданий и сооружений при достаточном объеме натурных исследований.

Благодарности. Работа выполнена в рамках Программы «Приоритет 2030» на базе Белгородского государственного технологического

университета им. В.Г. Шухова с использованием оборудования Центра высоких технологий БГТУ им. В.Г. Шухова.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. «Жилищный кодекс Российской Федерации» от 29.12.2004 N 188-ФЗ (ред. от 21.11.2022) (с изм. и доп., вступ. в силу с 01.03.2023).
2. Глаголев Е.С., Сулейманова Л.А., Марушко М.В. Эффективное воспроизводство жилищного фонда России // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2017. № 10. С. 98–104.
3. Мищенко В.Я., Матренинский С.И., Чертов В.А. Обоснование формы территорий массовой жилой застройки для их реконструкции и обновления // Недвижимость: экономика, управление. 2014. № 1-2. С. 31–39.
4. Российская газета [Электронный ресурс]. Российская газета - Федеральный выпуск: №235(7103), 2016. URL: <https://rg.ru/> (дата обращения 19.03.2023).
5. Грабовый К.П., Леванов С.В. Характерные подходы по осуществлению строительно-технического исследования в отношении объектов строительства, реконструкции, модернизации, технического перевооружения и капитального ремонта в современных условиях // Недвижимость: экономика, управление. 2019. № 2. С. 84–91.
6. ГОСТ 31937-2011. Межгосударственный стандарт. Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния:

введен в действие Приказом Росстандарта от 27.12.2012 N 1984.

7. Методика расчета жизненного цикла жилого здания с учетом стоимости совокупных затрат: утвержден решением Совета Национального объединения проектировщиков от 04.06.2014 №59.

8. ВСН 53-86(р). Правила оценки физического износа жилых зданий: утвержден приказом Госстроя СССР от 24.12.1986 №446.СП 368.1325800.2017. Здания жилые. Правила проектирования капитального ремонта: утвержден приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации от 25.11.2017 №1582/пр.

9. Кочерженко В.В., Глаголев Е.С. Экспертиза и мониторинг технического состояния зданий и сооружений. Белгород: Изд-во БГТУ, 2014. 86 с.

10. "Градостроительный кодекс Российской Федерации" от 29.12.2004 N 190-ФЗ (ред. от 29.12.2022).

11. Гроздов В.Т. Признаки аварийного состояния несущих конструкций зданий и сооружений СПб: Издательский дом KN+, 2000. 48 с.

12. Гроздов В.Т. Техническое обследование строительных конструкций зданий и сооружений СПб: Издательский дом KN+, 2000. 140 с.

13. Калинин В.М., Сокова С.Д. Оценка технического состояния зданий. М.: ИНФРА-М, 2019. 268 с.

14. Абрашитов, В.С. Техническая эксплуатация и обследование строительных конструкций. М.: Изд-во АСВ, 2005. 104 с

15. Орловский С.Я., Герасименко В.Н., Петров К.С. Виды дефектов в конструкциях и причины их возникновения // Международный научный журнал «Инновационная наука». 2015. № 12-2. С. 119–120.

16. Тупицына Д.С., Байбурин А.Х. Анализ оценки категорий технического состояния строительных конструкций // Вестник ЮУрГУ. Серия «Строительство и архитектура». 2021. Т. 21, № 1. С. 75–84. DOI:10.14529/build210110

17. Соколов В.А. Категории технического состояния строительных конструкций зданий при их диагностике вероятностными методами //

Фундаментальные исследования. 2014. № 6. С. 1159–1164

18. Белова Т.В. Современное состояние жилищного фонда: постановка основных проблем и пути решения // Международный студенческий научный вестник. 2015. № 6. URL: <https://eduherald.ru/ru/article/view?id=13409> (дата обращения: 28.04.2023).

19. Реконструкция и обновление сложившейся застройки города: учебник. 2-е изд., перераб. доп. / под общ. ред. П.Г. Грабового, В.А. Харитонов. Москва.: Проспект. 2013. 712 с.

20. Касьянов В.Ф. Реконструкция жилой застройки городов: учебное пособие. М.: Издательство Ассоциации строительных вузов, 2005. 224 с.

21. Матренинский С.И., Мищенко В.Я., Спивак И.Е., Зубенко К.Ю. Методологический подход к оценке морального износа территорий массовой жилой застройки. // Промышленное и гражданское строительство. 2008. №11. С. 59–62

22.. Сулейманова Л.А., Козлюк А.Г., Глаголев Е.С., Марушко М.В. К вопросу обследования технического состояния гражданских зданий // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2016. № 7. С. 32–36.

23. Козлюк А.Г., Жихалкина В.М. Методы обследования зданий и сооружений на предмет аварийности // Наука и инновации в строительстве: Сборник докладов V Международной научно-практической конференции. В 2-х томах, Белгород, 14 апреля 2021 года. Том 1. Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2021. С. 193–199.

24. Сущенко Ю.Ю., Козлюк А.Г. Об оценке технического состояния зданий и сооружений // Наука и инновации в строительстве: Сборник докладов V Международной научно-практической конференции. В 2-х томах, Белгород, 14 апреля 2021 года. Том 1. Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2021. С. 216–221.

25. МГСН 301.01-96 Положение по организации капитального ремонта жилых зданий в г. Москве: введен в действие Правительство Москвы 12.03.1996.

Информация об авторах

Меркулов Сергей Иванович, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой промышленного и гражданского строительства. E-mail: mersi.dom@yandex.ru. Курский государственный университет. Россия, 305000, Курск, ул. Радищева, д. 33.

Есипов Станислав Максимович, кандидат технических наук, доцент кафедры строительства и городского хозяйства. E-mail: sk31.sm@gmail.com. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Голиков Георгий Георгиевич, кандидат социологических наук, доцент кафедры строительства и городского хозяйства. E-mail: profcom@intbel.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Поступила 21.04.2023 г.

© Меркулов С.И., Есипов С.М., Голиков Г.Г., 2023

¹*Merkulov S.I.,* ²*Esipov S.M.,* ²*Golikov G.G.*

¹*Kursk State University*

²*Belgorod State Technological University named after V. G. Shukhov*

ON THE FORMATION OF A METHODOLOGY FOR OPTIMIZING THE PLANNING OF CAPITAL REPAIRS OF RESIDENTIAL BUILDINGS AT THE STAGES OF OPERATION AND REPAIR

Abstract. *The sources available for research and analysis, including the current regulatory documents, contain a number of methods for determining and accounting for the physical wear of buildings and structures, however, many of them either contain too average data or contradict each other. This article discusses the developed approach to assessing the physical deterioration of residential buildings in terms of the frequency of restoration measures and major repairs. The necessity of improving the approach to monitoring the technical condition of residential buildings in order to optimize the costs of maintaining a working condition is described. The cases of various options for the application of decision-making policy in the field of operation of residential buildings are considered. A method for determining the dependence of the physical wear of a building on the service life is proposed. The cost of performing restoration work based on experimental data is estimated. The characteristic sections of the dependence curve "service life – physical wear" are determined with the analysis of factors and prerequisites for making managerial decisions regarding the capital construction object. Mathematical modeling is performed based on the data obtained. This allows developing recommendations regarding the timing and scope of restoration work during repairs at the operational stage.*

Keywords: *physical wear, operation, life cycle of capital construction facilities, capital repairs.*

REFERENCES

1. "Housing Code of the Russian Federation" [Zhilishhny`j kodeks Rossijskoj Federacii] dated 29.12.2004 N 188-FZ (as amended on 21.11.2022) (with amendments and additions, intro. effective from 01.03.2023). (rus)

2. Glagolev E.S., Suleymanova L.A., Marushko M.V. Effective reproduction of the housing stock of Russia [E`ffektivnoe vosproizvodstvo zhilishhnogo fonda Rossii]. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov 2017. No. 10. Pp. 98–104. (rus)

3. Mishchenko V.Ya., Matreninsky S.I., Chertov V.A. Substantiation of the form of territories of mass residential development for their reconstruction and renewal [Obosnovanie formy` territorij massovoj zhiloz zastrojki dlya ix rekonstrukcii i obnovleniya]. Real estate: economics, management. 2014. No. 1-2. Pp. 31–39. (rus)

4. Rossiyskaya Gazeta. Rossiyskaya Gazeta – Federal Issue: No. 235(7103). 2016. URL: <https://rg.ru/> (accessed 19.03.2023). (rus)

5. Grabovy K.P., Levanov S.V. Characteristic approaches to the implementation of construction and technical research in relation to construction, reconstruction, modernization, technical re-equipment and capital repairs in modern conditions [Xarakterny`e podxody` po osushhestvleniyu stroitel`no-tekhnicheskogo issledovaniya v otnoshenii ob`ektov

stroitel`stva, rekonstrukcii, modernizacii, tekhnicheskogo perevooruzheniya i kapital`nogo remonta v sovremenny`x usloviyax]. Real estate: economics, management. 2019. No. 2. Pp. 84–91. (rus)

6. GOST 31937-2011. Interstate standard. Buildings and structures. Rules of inspection and monitoring of technical condition: put into effect by Order of Rosstandart dated 27.12.2012. No. 1984. [Mezhgosudarstvennyj standart. Zdaniya i sooruzheniya. Pravila obsledovaniya i monitoringa tekhnicheskogo sostoyaniya: vveden v dejstvie Prikazom Rosstandarta ot 27.12.2012 N 1984] (rus)

7. Methodology for calculating the life cycle of a residential building taking into account the cost of total costs [Metodika rascheta zhiznennogo cikla zhilogo zdaniya s uchetom stoimosti sovokupny`x zatrat]: approved by the decision of the Council of the National Association of Designers dated 04.06.2014. No. 59. (rus)

8. VSN 53-86(p). Rules for assessing the physical wear of residential buildings: approved by Order of the USSR State Construction Committee No. 446 dated 12/24/1986.SP 368.1325800.2017. Residential buildings. Rules for the design of capital repairs: approved by the order of the Ministry of Construction and Housing and Communal Services of the Russian Federation dated 25.11.2017 No. 1582/etc. [Mezhgosudarstvennyj standart. Zdaniya i sooruzheniya.

Pravila obsledovaniya i monitoringa tekhnicheskogo sostoyaniya: vveden v dejstvie Prikazom Rosstandarta ot 27.12.2012 N 1984]. (rus)

9. Kocherzhenko V.V., Glagolev E.S. Examination and monitoring of the technical condition of buildings and structures [E'kspertiza i monitoring tekhnicheskogo sostoyaniya zdaniy i sooruzhenij]. Belgorod: Publishing House of BSTU, 2014.86 p. (rus)

10. "Urban Planning Code of the Russian Federation" dated 29.12.2004 N 190-FZ (ed. from 29.12.2022) ["Gradostroitel'nyj kodeks Rossijskoj Federacii" ot 29.12.2004 N 190-FZ (red. ot 29.12.2022)]. (rus)

11. Grozdov V.T. Signs of an emergency condition of load-bearing structures of buildings and structures [Priznaki avarijnogo sostoyaniya nesushhix konstrukcij zdaniy i sooruzhenij]. St. Petersburg: Publishing House KN+, 2000. 48 p. (rus)

12. Grozdov V.T. Technical inspection of building structures of buildings and structures [Tekhnicheskoe obsledovanie stroitel'ny'x konstrukcij zdaniy i sooruzhenij]. St. Petersburg: Publishing House KN+, 2000. 140 p. (rus)

13. Kalinin V.M., Sokova S.D. Assessment of the technical condition of buildings [Ocenka tekhnicheskogo sostoyaniya zdaniy]. Textbook. M.: INFRA-M, 2006. 268 p. (rus)

14. Abrashitov V.S. Technical operation and inspection of building structures [Tekhnicheskaya e'kspluatatsiya i obsledovanie stroitel'ny'x konstrukcij]. M.: Publishing House DIA, 2005. 104 p. (rus)

15. Orlovsky S.Ya., Gerasimenko V.N., Petrov K.S. Types of defects in structures and the causes of their occurrence [Vidy' defektov v konstrukciyax i prichiny' ix vozniknoveniya]. International scientific journal "Innovative Science". 2015. No. 12-2. Pp. 119–120. (rus)

16. Tupitsyna, D.S., Bayburin A.H. Analysis of the assessment of categories of technical condition of building structures [Analiz ocenki kategorij tekhnicheskogo sostoyaniya stroitel'ny'x konstrukcij]. Bulletin of SUSU. The series "Construction and Architecture". 2021. Vol. 21, No. 1. Pp. 75–84. DOI:10.14529/build210110 (rus)

17. Sokolov V.A. Categories of the technical condition of building structures of buildings in their diagnosis by probabilistic methods [Kategorii tekhnicheskogo sostoyaniya stroitel'ny'x konstrukcij zdaniy pri ix diagnostike veroyatnostny'mi metodami]. Fundamental research. 2014. No. 6. Pp. 1159–1164. (rus)

18. Belova T.V. The current state of the housing stock: statement of the main problems and solutions [Sovremennoe sostoyanie zhilishhnogo fonda: postanovka osnovny'x problem i puti resheniya]. International Student Scientific Bulletin. 2015. No. 6. URL: <https://eduherald.ru/ru/article/view?id=13409> (date of the application : 28.04.2023) (rus)

19. Reconstruction and renewal of the existing development of the city [Rekonstrukciya i obnovenie slozhivshejsya zastrojki goroda]: textbook. 2nd ed., revised supplement. Under the general editorship of P.G. Grabovoy, V.A. Kharitonov. Moscow.: Prospect. 2013. 712 p. (rus)

20. Kasyanov V.F. Reconstruction of residential development of cities [Rekonstrukciya zhiloy zastrojki gorodov]: textbook. Moscow: Publishing House of the Association of Construction Universities, 2005. 224 p. (rus)

21. Matreninsky S.I., Mishchenko V.Ya., Spivak I.E., Zubenko K.Yu. A methodological approach to assessing the moral deterioration of the territories of mass residential development [Metodologicheskij podxod k ocenke moral'nogo iznosa territorij massovoj zhiloy zastrojki]. Industrial and civil construction. 2008. No.11. Pp. 59–62. (rus)

22. Suleymanova L.A., Kozlyuk A.G., Glagolev E.S., Marushko M.V. On the issue of inspection of the technical condition of civil buildings [K voprosu obsledovaniya tekhnicheskogo sostoyaniya grazhdanskix zdaniy]. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2016. No. 7. Pp. 32–36. (rus)

23. Kozlyuk A.G., Zhihalkina V.M. Methods of inspection of buildings and structures for accidents [Metody' obsledovaniya zdaniy i sooruzhenij na predmet avarijnosti]. Science and innovations in construction : Collection of reports of the V International Scientific and Practical Conference. In 2 volumes, Belgorod, April 14, 2021. Volume 1. Belgorod: Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov, 2021. Pp. 193–199. (rus)

24. Sushchenko Yu.Yu., Kozlyuk A.G. On the assessment of the technical condition of buildings and structures [Ob ocnke tekhnicheskogo sostoyaniya zdaniy i sooruzhenij]. Science and innovation in Construction: Collection of reports of the V International Scientific and Practical Conference. In 2 volumes, Belgorod, April 14, 2021. Volume 1. Belgorod: Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov, 2021. Pp. 216–221. (rus)

25. MGSN 301.01-96 Regulations on the organization of capital repairs of residential buildings in Moscow: put into effect by the Government of Moscow 12.03.1996. (rus)

Information about the authors

Merkulov, Sergey I. Doctor of technical sciences, Professor, Head of the department of industrial and civil engineering. E-mail: mersi.dom@yandex.ru. Kursk state university. 33 Radishcheva str., Kursk, 305000, Russia.

Esipov, Stanislav M. Candidate of technical sciences, Associate professor of the department of construction and urban economy. E-mail: sk31.sm@gmail.com. Belgorod state technological university named after V.G. Shukhov. 46 Kostyukova str., Belgorod, 308012, Russia.

Golikov, Georgiy G. Candidate of sociological sciences, Associate professor of the department of construction and urban economy. E-mail: profcom@intbel.ru. Belgorod state technological university named after V.G. Shukhov. 46 Kostyukova str., Belgorod, 308012, Russia.

Received 21.04.2023

Для цитирования:

Меркулов С.И., Есипов С.М., Голиков Г.Г. О формировании методики оптимизации планирования капитального ремонта жилых зданий на этапах эксплуатации и ремонта // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2023. № 6. С. 62–70. DOI: 10.34031/2071-7318-2023-8-5-62-70

For citation:

Merkulov S.I., Esipov S.M., Golikov G.G. On the formation of a methodology for optimizing the planning of capital repairs of residential buildings at the stages of operation and repair. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2023. No. 6. Pp. 62–70. DOI: 10.34031/2071-7318-2023-8-5-62-70

DOI: 10.34031/2071-7318-2023-8-5-71-81

¹Семенов С.В.,^{1 2,*} Михайлов А.В.¹Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет²Комитет по государственному контролю использованию и охране памятников истории и культуры Санкт-Петербурга

*E-mail: mikhaylovaalex@yandex.ru

ГРАДОСТРОИТЕЛЬНЫЕ И НЕМАТЕРИАЛЬНЫЕ АСПЕКТЫ ПРЕДМЕТА ОХРАНЫ ОБЪЕКТОВ КУЛЬТУРНОГО НАСЛЕДИЯ В ИСТОРИЧЕСКОЙ СРЕДЕ САНКТ-ПЕТЕРБУРГА

Аннотация. В работе рассматриваются ранее широко не исследованные градостроительные и нематериальные составляющие (аспекты) предмета охраны объектов культурного наследия. От общего анализа феномена сохранения объекта через предмет охраны, авторами последовательно раскрываются особенности данного механизма, эволюция его методического сопровождения и структура. Выявляются наименее изученные составляющие. Авторами анализируется международный аналог метода сохранения особенностей объектов культурного наследия через выявление его наиболее выдающихся особенностей. Метод выявления и сохранения выдающейся универсальной ценности, закрепленный «Конвенцией об охране всемирного культурного и природного наследия», широко используется в различных странах мира, как буквально, так и с различным интерпретациями. По результатам исследований мирового и отечественного опыта предлагается систематизация и методика выявления и фиксации градостроительных аспектов. Раскрываются составляющие и структура нематериальных аспектов. В методике определения градостроительных аспектов они подразделяются на определяющие роль объекта в исторической среде («взгляд на объект») и определяющие роль среды в сохранении особенностей объекта («взгляд с объекта»). В работе рассматриваются необходимые правовые изменения для учета исследуемых аспектов в целях всестороннего сохранения исторической среды.

Ключевые слова: предмет охраны объектов культурного наследия, градостроительные аспекты предмета охраны, нематериальные аспекты предмета охраны, методика определения предмета охраны, историческая среда.

Введение. В 2002 году исполнилось 20 лет с даты официального появления в законодательстве Российской Федерации принципа сохранения ценных характеристик объектов культурного наследия через выявление и сохранение особенностей, составляющих их предмет охраны.

Актуальность выбранной темы обусловлена усиливающимися противоречиями между принципами сохранения особенностей отдельных объектов культурного наследия и исторической среды их непосредственно окружающей. В последние годы это научно-методическое расхождение становится все более очевидным, что связано прежде всего с недостаточностью проработки структуры и методов определения предмета охраны объектов культурного наследия. Негативные результаты мы можем наблюдать в Санкт-Петербурге и в других регионах. Нельзя забывать и то, что утрата смыслового, нематериального содержания объекта культурного наследия приводит к утрате его особенностей, перепланировке внутренних объемов, существенному перепрофилированию и изменению назначения. Из поколения в поколение такой объект все меньше сохраняет свой первоначальный истори-

ческий облик, и в итоге у пользователей и обывателей возникает вопрос о необходимости его сохранения в принципе.

Таким образом, **цель исследования** – это структурирование, систематизация, анализ и дополнение предмета охраны для различного типа и уровней объектов культурного наследия (градостроительного и объектного) в исторической среде Санкт-Петербурга. Объединение подходов по сохранению исторической среды и отдельных объектов культурного наследия.

Идея идентификации и систематизации особенностей объектов культурного наследия возникла задолго до ее утверждения федеральным законом. Пионерной работой, вводящей понятие предмета охраны в отечественную сферу охраны культурного наследия и оперирующего им, является научная работа коллектива Ассоциации исследователей Санкт-Петербурга, выполненная с участием Т.А. Славиной, С.В. Семенова и В.В. Антонова в 1997 году [1]. После 2002 года центрами изучения особенностей объектов культурного наследия являлись в основном Санкт-Петербург и Москва. Тему материальной оценки объектов недвижимости, находящихся под государственной охраной, развила «Методика экономической оценки объектов культурного наследия

...» [2], разработанная в 2005 году коллективом авторов, включавшем И.С. Кудимова., А.Л. Баталова, Б.М. Кирикова, А.И. Комеча, В.Г. Лисовского, Т.М. Розанову, А.С. Щенкова и др. Отдельная научно-практическая работа велась на протяжении 2000–2010 годов авторским коллективом Архитектурной мастерской Н.Ф. Никитина. Методическое исследование по определению предмета охраны объектов культурного наследия выполнено в 2011 году авторским коллективом

ООО «ПФ-Градо» и АНО «Центр независимой оценки». Проблематика, имеющая отношение к данной теме, рассматривалась в ряде работ, в том числе В.Р. Крогиуса [3], С.В. Семенцов [4–7], А.Л. Пунина [8], Ю.А. Веденина, Е.П. Щукиной [9–11] и др.

Отдельно необходимо отметить работы, связанные с исследованием исторической городской среды и оценке роли исторической застройки в ней, в том числе работы С.К. Регамэ [12, 13], А.В. Махровской [14–16], Б.М. Розадеева [17, 18], Э.А. Шевченко [19], Н.Т. Винокуровой [21–22] и др., ставшие отправной точкой для проведенных исследований градостроительных аспектов предмета охраны.

При этом необходимо отметить, что градостроительные и нематериальные особенности объектов культурного наследия как предмет охраны до настоящего исследования в качестве самостоятельной темы не изучались.

Методология и методы исследования. В существующей научно-практической парадигме объект культурного наследия – это совокупность предмета охраны. Суть предмета охраны заключается в итоговом целостном понимании объекта культурного наследия, исходя из многообразия его составляющих. Структурирование, систематизация, анализ и дополнение этих составляющих – задача общеметодического направления работы. При этом проверка общих выводов проводится путем выявления и внедрения закономерностей при исследовании объектов культурного наследия в границах Санкт-Петербурга, что отражает конкретно-историческое направление работы. Совмещение принципов исследования представляется допустимым в связи с тем, что выявленные научно-практические пробелы в сфере охраны объектов культурного наследия Санкт-Петербурга являются отражением общероссийской научно-методической проблематики по данному направлению.

Основная часть.

Границы исследования. Выделены хронологические границы, охватывающие несколько исторических периодов и территориальные границы охватывающие объекты культурного

наследия Санкт-Петербурга и методические разработки Москвы и Санкт-Петербурга.

Объект исследования: предмет охраны объектов культурного наследия и его градостроительные и нематериальные аспекты в исторической среде Санкт-Петербурга.

Предмет исследования: концептуально-методические принципы и организационные подходы к определению предмета охраны; особенности, полнота и практическая применимость существующего методического выявления градостроительных и нематериальных аспектов предмета охраны объектов культурного наследия в исторической среде Санкт-Петербурга.

В результате многолетнего исследования по теме была сформирована гипотеза исследования: Существующие в сфере охраны объектов культурного наследия (ОКН) теоретические, методологические и нормативные подходы охраны ОКН и их исторической среды в настоящее время разделены. Методом объединения этих двух подходов могут стать теоретически и методологически проработанные градостроительные аспекты предмета охраны объектов культурного наследия (ПО ОКН). Сохранение ОКН зависит от определения не только материальных, но и нематериальных характеристик, что требует информационно-теоретического сопровождения и организационно-методического обеспечения.

В исследовании проанализирована история появления и эволюции принципа сохранения особенностей объектов культурного наследия через их предмет охраны, определены основные этапы становления данного принципа. Структурирована история появления и эволюция принципа сохранения особенностей объектов культурного наследия через их предмет охраны. Произведен анализ различных источников, по результатам которого показан существующий аналог понятия «предмет охраны» в международной практике – «выдающаяся универсальная ценность объектов всемирного культурного наследия», и первоисточники появления понятия «предмет охраны» в отечественной практике. Определены основные этапы методического развития принципа сохранения объектов культурного наследия через предмет охраны (рис. 1).

Сохранение объектов культурного наследия через определение предмета охраны имеет аналоги в международной теории и практике сохранения объектов всемирного культурного и природного наследия, зафиксированные в Конвенции 1972 года и Руководстве по ее выполнению 2005 года. Принцип выявления и сохранения ценных особенностей объектов культурного наследия через определение предмета охраны появился в российской практике в конце 1990-х и

развился благодаря закреплению в федеральном законодательстве в 2002 году. В сложившейся императивно-административной системе сохра-

нения исторического наследия в Российской Федерации предмет охраны объектов культурного наследия альтернативы не имеет.

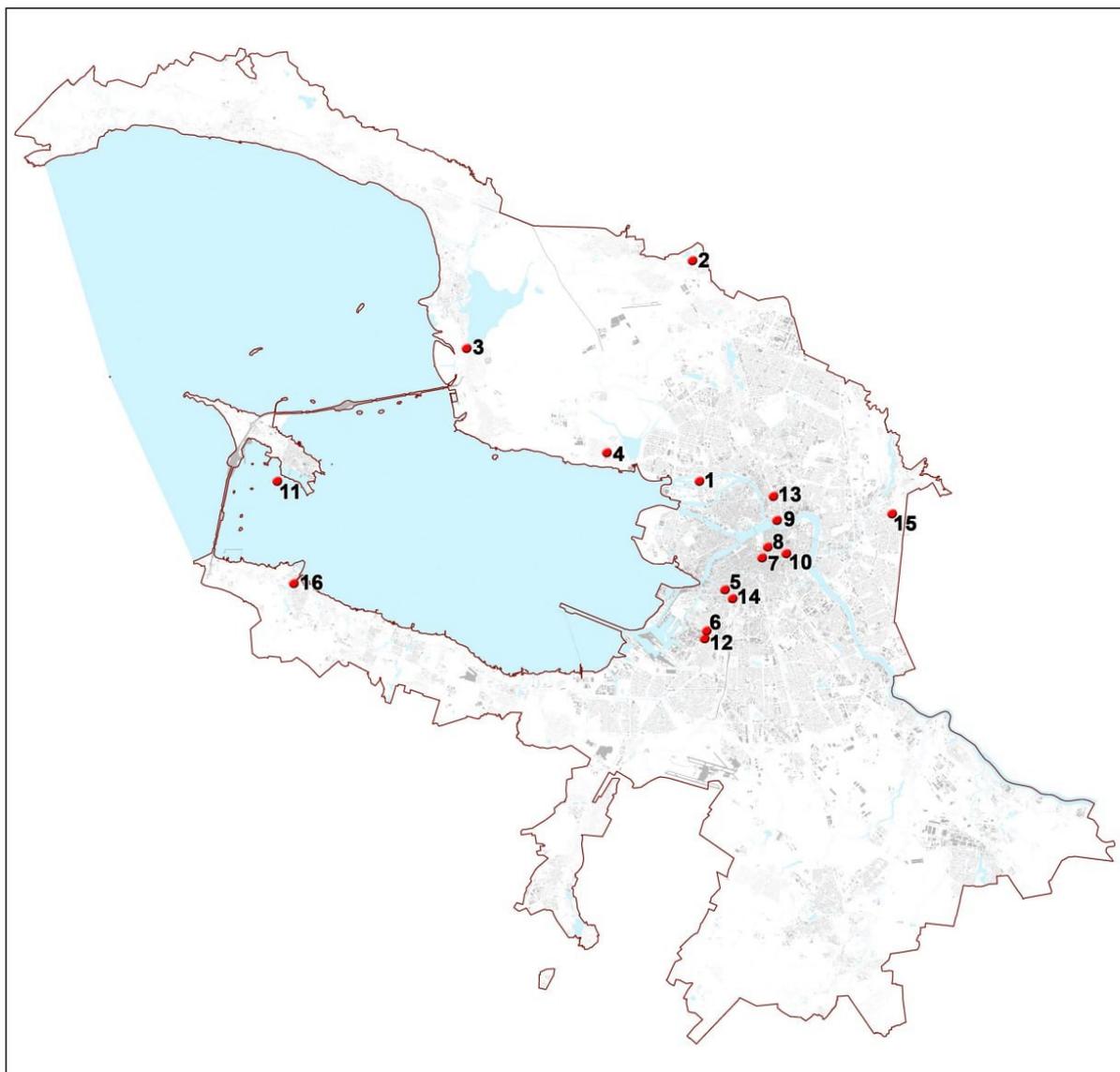


Рис. 1. Схема с обозначением изучаемых объектов.

Экспликация к схеме: 1. Императорские ансамбли «Ансамбль Елагина острова»; 2. Усадьбы высшей знати «Усадьба Левашевых-Вяземских «Осиновая Роща»»; 3. Усадебные комплексы «Усадьба Авенариуса П.И. в Сестрорецке»; 4. Дачи «Дача В. Д. Тырсина»; 5. Жилые дома «Жилой дом Экспедиции заготовки государственных бумаг»; 6. Административно-управленческие объекты «Здание Общества потребителей Путиловского завода»; 7. Публично-присутственные объекты «Театр Александринский»; 8. Публично-присутственные объекты «Здание цирка Г. Чинизелли»; 9. Объекты образования и науки «Комплекс зданий Михайловского военного училища и академии»; 10. Объекты здравоохранения «Детская больница принца П.Г. Ольденбургского (с садом и оградой)»; 11. Военные объекты «Форт "Кроншлот"»; 12. Религиозные объекты «Церковь святителя Николая Чудотворца и св. мученицы царицы Александры при Путиловском заводе (с домом для переодевания невест)»; 13. Производственно-промышленные объекты «Здание Выборгской понижающей подстанции городского трамвая»; 14. Объекты дорожно-транспортной инфраструктуры «Комплекс построек Балтийского вокзала»; 15. Мемориальные объекты «Триумфальные пилоны в честь защитников Ленинграда в годы Великой Отечественной войны (два)»; 16. Гидротехнические сооружения «Мост»

Систематизировано и обобщено разнообразие типологий предмета охраны и методик их определения, выявлены их достоинства и недо-

статки, а также предложено расширение типологии. Подвергнуты сравнительному анализу различные комплексные отечественные методики

определения предмета охраны. Проанализированы их существенные характеристики: положительные и отрицательные. Предложено расширение типологических аспектов.

Типологии предмета охраны и методики его определения (Москвы и Санкт-Петербурга) ориентируются на состав объектов культурного наследия, закрепленный в федеральном законодательстве, систематизируют и раскрывают материальные характеристики объектов культурного наследия. Градостроительные и нематериальные характеристики упоминаются не во всех методиках и не имеют структурного типологического раскрытия. Предлагаемый федеральным законодательством состав объектов культурного наследия (*ансамбли, отдельные объекты, ландшафтные объекты, некрополи и т.д.*) типологически неоднороден и не может являться основой для выработки универсальной структуры предмета охраны объектов культурного наследия. Ориентация при определении предмета охраны объектов культурного наследия, как правило, на материальные характеристики является причиной системных ошибок, влияющих на сохранение как объектов культурного наследия, так и окружающей их исторической среды, устранение которых возможно за счет установления четкой единообразной методики определения всех аспектов предмета охраны.

Проанализирована и установлена взаимосвязь между градостроительным местоположением объекта в структуре городской или пригородной среды и его функциональным назначением. В целях проверки гипотезы научной работы разработана градостроительно-функциональная классификация, и более 2000 объектов культурного наследия распределено на 15 категорий. За основу классификации принято функциональное назначение объектов, включавшее как непосредственное практическое, так и публично-презентационное использование. Указано, что чем выше статус и публичная роль владельца или объекта, тем больше его градостроительное значение и, следовательно, шире состав градостроительных аспектов, требующих сохранения.

Систематизированы и структурированы различные аспекты предмета охраны объектов культурного наследия (градостроительные, композиционные, архитектурно-художественные, декоративно-прикладные, конструктивно-технологические, нематериальные), оценена их полнота. Определены недостатки утвержденного предмета охраны. Разработаны уточнения в предмет охраны выбранных объектов культурного наследия, исправляющие выявленные недостатки. Методики определения ПО ОКН и примеры ПО де-

тально изученных ОКН Санкт-Петербурга в состав ПО ОКН включают архитектурно-художественные, декоративно-прикладные, конструктивно-технологические и композиционные аспекты в большинстве типов ОКН. Градостроительные аспекты встречаются в типах ОКН, относящихся к ансамблям и ландшафтным объектам. Нематериальные аспекты встречаются несистемно и эпизодически. Таким образом, градостроительные и нематериальные аспекты нуждаются в систематизации и структурировании. Определение градостроительных аспектов ПО ОКН требует архивно-библиографического и натурального изучения взаимосвязей объекта с окружающей его средой, тогда как для определения нематериальных аспектов достаточно архивно-библиографических исследований. У всех выделенных для детального изучения ОКН при их изучении выявлены ранее не учтенные градостроительные и нематериальные аспекты ПО ОКН, что свидетельствует о системном недостатке существующих нормативных и практических подходов и методов подготовки учетной документации. Произведена выборка около 30 объектов культурного наследия согласно классификации. Детально изучены этапы их становления и развития, существующее состояние, характерные особенности, предмет охраны. Определены основные недостатки предмета охраны, заключающиеся в неоднородности проработки различных аспектов (прежде всего градостроительных, влияющих на сохранность исторической среды, окружающей объект, и нематериальных, влияющих на сохранение аутентичности использования объекта). При исследовании введена первичная градация градостроительного аспекта предмета охраны объекта культурного наследия по различным признакам. Результаты занесены в учетные карточки.

Разработана классификация градостроительных аспектов предмета охраны на примере объектов культурного наследия в исторической среде Санкт-Петербурга, предложена методика их определения, а также выполнен содержательный анализ терминологии, используемой при определении предмета охраны объектов культурного наследия, и предложены содержательные уточнения для градостроительных аспектов. Выявлено, что применяемая в целях историко-градостроительных исследований, а также систематизации и идентификации градостроительных аспектов ПО ОКН терминология имеет неоднородное содержание и требует структурирования и дополнения, что и было выполнено в составе исследования. Полнота определения градостроительных аспектов ПО ОКН зависит от последова-

тельного определения роли объекта в исторической среде («взгляд на объект») и роли среды в сохранении особенностей объекта («взгляд с объекта»). Основным методом определения роли объекта в исторической среде является сравнительный анализ территориально-планировочных, объемно-пространственных и архитектурных характеристик ОКН и окружающей его среды. В случае определения роли среды в сохранении особенностей объекта фиксируются характери-

стики окружающей среды, подлежащие сохранению или восстановлению. Предложенная типология градостроительных аспектов ПО ОКН и методика их идентификации являются уникальными и в изученных, научных и практических работах не встречается.

Разработана классификация градостроительных аспектов предмета охраны на примере объектов культурного наследия в исторической среде Санкт-Петербурга (Рис. 2, 3).

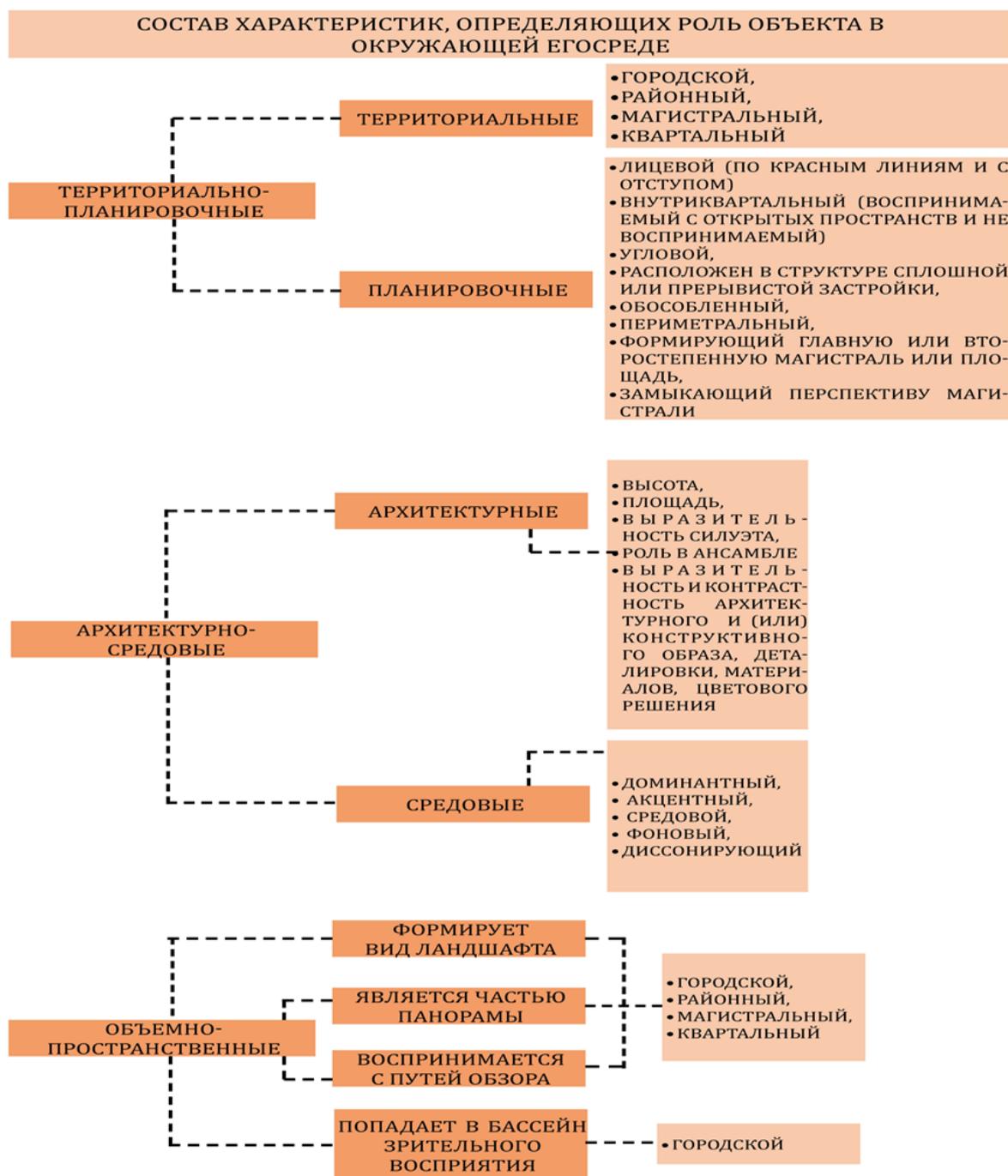


Рис. 2. Блок-схема с указанием состава характеристик, определяющих роль объекта культурного наследия в окружающей его среде

ОСОБЕННОСТИ ОБЪЕКТА ЗАВИСЯЩИЕ ОТ СОХРАННОСТИ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

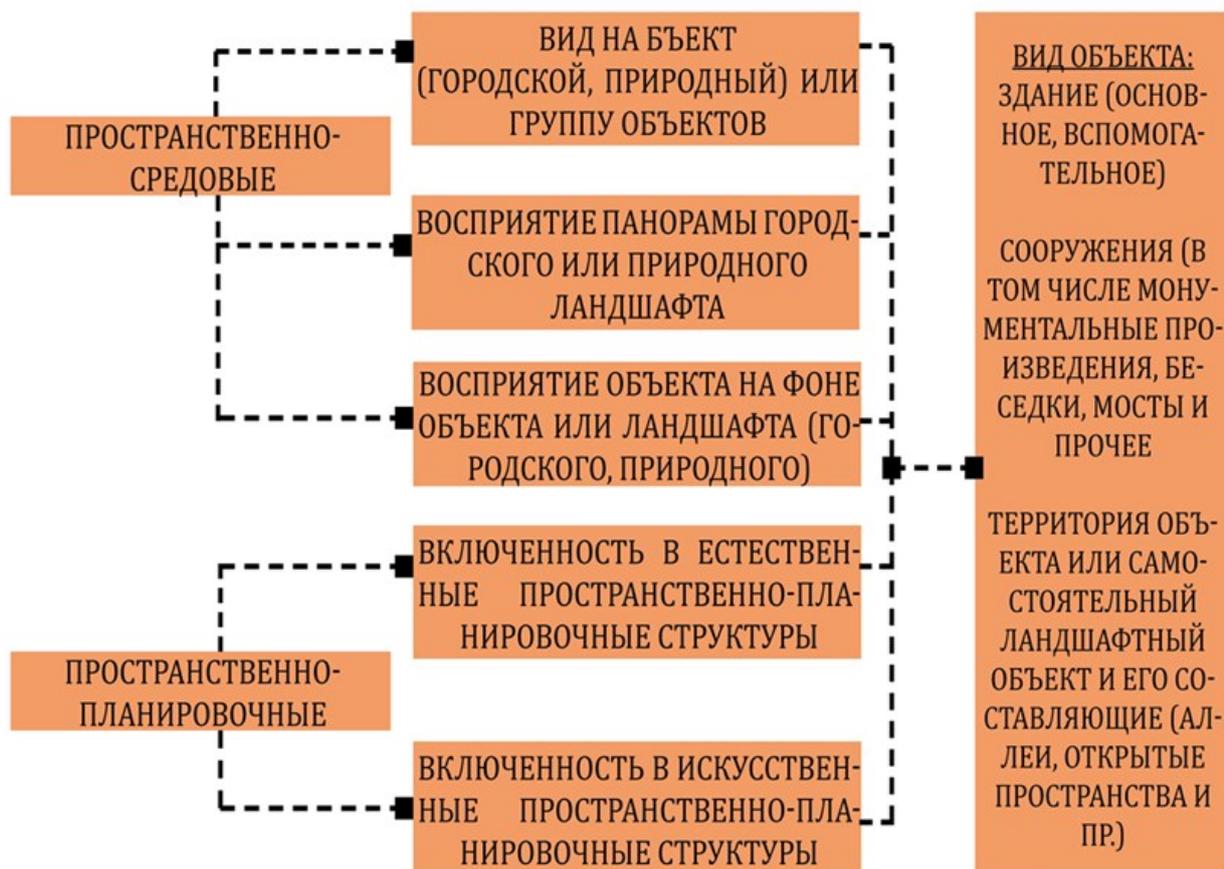


Рис. 3. Блок-схема с указанием особенностей объекта культурного наследия, зависящих от сохранности окружающей среды

Структурированы особенности охраняемых объектов, определяющие их роль в окружающей среде, предложена их типология, включающая:

- территориально-планировочные: территориальная (городская, районная, магистральная, квартальная), планировочная (лицевая – по красным линиям и с отступом), внутриквартальная (воспринимаемая с открытых пространств и не воспринимаемая), угловая, расположенная в структуре сплошной или прерывистой застройки, обособленная, периметральная, формирующая главную или второстепенную магистраль, или площадь, замыкающая перспективу магистрали);
- архитектурно-средовые: композиционная (высота, площадь, выразительность силуэта, роль в ансамбле), архитектурная (выразительность и контрастность архитектурного решения, архитектурного образа, детализировки, материалов, цветового решения);
- объемно-пространственные – формирует вид ландшафта, является частью панорамы, воспринимается с путей обзора, попадает в бассейн зрительного восприятия составляющие.

Структурированы особенности объекта, зависящие от сохранности окружающей среды, выделяемые для здания (основного, вспомогательного), сооружения, ландшафтного объекта и территории памятника, и предложена их типология, включающая:

- пространственно-средовые: вид на ландшафт (городской, природный); восприятие городской панорамы; восприятие объекта на фоне ландшафта (городского, природного);
- пространственно-планировочные: включенность в естественные пространственно-планировочные структуры (рельеф, вода); включенность в искусственные пространственно-планировочные структуры (сооружения или их части), являющиеся частью объекта культурного наследия составляющие.

Значение нематериальной составляющей в системе сохранения особенностей ОКН не менее важно, чем материальной. Нематериальное значение ОКН не абстрактно, а имеет свои четко формализуемые атрибуты и структуру, систематизированные в исследовании. Нематериальные аспекты ПО ОКН не ограничиваются функцией,

а включают также иные характеристики, влияющие на целостное восприятие ОКН и, как следствие, подлежащие учету при текущем использовании ОКН или его приспособлении для современного использования. Дополненные ПО 28 ОКН показали наличие не учтенных ранее нематериальных аспектов ПО ОКН у всех объектов, состав и объем которых зависит от публично-презентационной роли объекта и степени его утилитарности. В процессе исследования разработана классификация нематериальных аспектов, составляющих предмет охраны объектов культурного наследия в исторической среде Санкт-Петербурга и предложена методика их определения.

Исследованы и обобщены нематериальные аспекты, составляющие предмет охраны объектов культурного наследия в исторической среде

Санкт-Петербурга, разработана их классификация. Авторами выделены следующие, составляющие нематериальных аспектов (Таблица 1):

- функциональное назначение (основное и вспомогательное, первоначальное и последующие);
- устойчивые особенности использования (повторяющееся эпизодическое использование, ставшее отличительной чертой объекта);
- ключевые исторические события, связанные с объектом;
- литературно-художественные образы (упоминание объекта в литературных, театральных, иных художественных произведениях);
- мифологическая составляющая (историческая и бытовая).

Предложена методика их изучения, ориентированная на сохранение информации о ключевых особенностях использования и бытования объекта определяющих его целостный образ.

Таблица 1

Основные аспекты нематериальной составляющей предмета охраны объектов культурного наследия

Функциональное назначение объекта (доминирующее выделить)	Основное	Изначальное (на момент создания)		Последующие виды	
	Вспомогательное				
Устойчивые особенности эпизодического исторического использования	Культурного	Духовного	Политического	Ремесленного	
Ключевые исторические события, связанные с объектом	Культурные	Духовные	Политические	Мемориальные	
Литературно-художественные образы объекта	Литературные	Музыкальные	Произведения художников	Театральные постановки	Кино
Мифологическая составляющая	Историческая		Бытовая		

В результате исследования гипотезы сформулированы практические рекомендации для федерального законодательства об охране объектов культурного наследия в целях исключения или минимизации появления неполных предметов охраны, при которых объект или его историческая среда могут быть негативно преобразованы. В целях объединения методологических и проектно-практических подходов к сохранению объектов культурного наследия и их исторической среды предложены конкретные дополнения нормативной правовой базы Российской Федерации в целях учета градостроительных аспектов предмета охраны в качестве обязательной составляющей.

Выводы. Гармонизация требований по сохранению особенностей объектов культурного наследия (ОКН) и исторической городской среды, их окружающей, зависит от единообразия

и полноты учета всех аспектов предмета охраны объекта культурного наследия. Градостроительные аспекты ПО ОКН должны стать неотъемлемой частью исторически ценных градоформирующих элементов в зонах охраны ОКН и предмета охраны в исторических поселениях. Разработанное правовое закрепление методического сопровождения определения градостроительных аспектов ПО ОКН обеспечит достоверность и полноту определения границ и режимов территорий ОКН, достопримечательных мест, зон охраны и исторических поселений. Учет же нематериальных аспектов ПО ОКН, позволит не только сохранить информацию об объекте культурного наследия и передать ее последующим поколениям, но и обеспечит его более рациональное приспособление для современного использования. Объект культурного наследия со смыслом

всегда более востребован чем не одухотворенный объект, что во многом определяет долгосрочные перспективы его сохранения.

Примечание. В материалах статьи использованы результаты диссертации Михайлова А.В. «Градостроительные и нематериальные аспекты предмета охраны объектов культурного наследия в исторической среде Санкт-Петербурга», защита которой состоялась 13.05.2022.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Методические указания по проведению градостроительной, историко-культурной и технико-экономической экспертизы недвижимых объектов, состоящих под государственной охраной, в порядке подготовки их к приватизации. СПб.: ТОО «Ассоциация исследователей Санкт-Петербурга», 1997.
2. ООО «Архитектурная мастерская Н.Ф. Никитина» Временные методические рекомендации по выполнению историко-культурных исследований для определения предметов охраны объектов культурного наследия. СПб., 2008. Архив КГИОП.
3. Крогиус В.Р. Исторические города России как феномен ее культурного наследия. М.: Прогресс-Традиция, 2009. 312 с.
4. Семенцов С.В. Градостроительное развитие Санкт-Петербурга в 1703–2000 годы: дис. ... д-ра архит.: 18.00.01. СПб., СПбГАСУ, 2007. 736 с.
5. Семенцов С.В. Цикличность градостроительного развития Санкт-Петербурга. Особенности разработки генеральных планов и градоуправления // Вестник гражданских инженеров. 2004. № 1, С. 45–52.
6. Семенцов С.В. Этапы пространственного формирования Санкт-Петербурга: кристаллизация градостроительного генетического кода, единство развития и сохранения // Промышленное и гражданское строительство. 2007. № 2. С. 29–30.
7. Семенцов С.В., Михайлов А.В. Принципы сохранения исторической среды и принципы сохранения нематериальных атрибутов объектов культурного наследия // Сб. матер. межрег. науч.-практ. конф. «Магистерские слушания» в рамках VII Межрегионального творческого форума «Архитектурные сезоны в СПбГАСУ» [18–21 апреля 2017 г.]. СПб.: СПбГАСУ, 2017. С. 74–76.
8. Пунин А.Л. Архитектура Петербурга середины и второй половины XIX века. Том 2. Петербург 1860–1890-х годов в контексте градостроительства пореформенной России. СПб.: Крига, 2014. 600 с.
9. Щукина Е.П. Восстановление памятников садово-паркового искусства // Сб. статей «Вопросы охраны, реставрации и пропаганды памятников истории и культуры», 1979. С. 24–25.
10. Щукина Е.П. Охранные зоны памятников архитектуры // Сб. статей «Вопросы охраны, реставрации и пропаганды памятников истории и культуры», 1978. С. 25–26.
11. Регамэ С.К., Брунс Д.В., Омельяненко Г.Б. Сочетание новой и сложившейся застройки при реконструкции городов. М.: Стройиздат, 1989. 144 с.
12. Регамэ С.К., Якубович Е.М. Об оценке градостроительной роли рядовой застройки // Градостроительство, 1982. Вып. 33. С. 88–90.
13. Махровская А.В. Застройка и планировка набережных Невы // Градостроительные проблемы развития Ленинграда, 1960. С. 115–132.
14. Махровская А.В. Исторические зоны Санкт-Петербурга – Ленинграда // Сб. Санкт-Петербург на рубеже веков. СПб.: Науч.-исслед. центр «Экоград», 1999. 214 с.
15. Махровская А.В. Реконструкция старых жилых районов крупных городов. На примере Ленинграда. Л.: Стройиздат, 1986. 351 с.
16. Розадеев Б.А. Важный источник изучения застройки Ленинграда. Охрана памятников и вопросы истории русской архитектуры. Л.: Стройиздат, 1974. 365 с.
17. Розадеев Б.А., Сомина Р.А., Клещева Л.С. Кронштадт: архитектурный очерк. Л.: Стройиздат, 1977. 215 с.
18. Методические рекомендации оценки историко-культурной ценности поселения. Применение критериев историко-культурной ценности поселения в оценке недвижимости, расположенной в границах исторического поселения [Электронный ресурс]. URL: <http://www.iprbookshop.ru/35180.html> (дата обращения: 28.09.2020).
19. Шевченко Э.А. О проблемах сохранения исторических поселений и не только... СПб.: Зодчий, 2018. 367 с.
20. Шевченко Э.А., Никифоров А.А. Правовые аспекты охраны объектов культурного наследия (от единичных памятников к градостроительным комплексам). СПб.: Зодчий, 2014. С. 14–15.
21. Винокурова Н.Т., Покидова Б.И., Федоров В.П. Информационная система для исследования и сохранения силуэта города // Доклады 55-й науч. конф. профессоров, преподавателей, научных работников, инженеров и аспирантов университета. Ч. II. СПб.: СПбГАСУ, 1998. С. 33–35.
22. Винокурова Н.Т., Покидова Б.И.,

Федоров В.П. Силуэт Санкт-Петербурга: наследие и современность // Петербургские чтения 98–99; матер. Энциклопедической

библиотеки «Санкт-Петербург, 2003», 1999. С. 359–363.

Информация об авторах

Семенов Сергей Владимирович, доктор архитектуры, профессор кафедры архитектурного и градостроительного наследия. Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет. Россия, 190005, Санкт-Петербург, 2-я Красноармейская, д. 4.

Михайлов Алексей Владимирович, кандидат архитектуры, доцент кафедры архитектурного и градостроительного наследия. E-mail: mikhaylovaalex@yandex.ru. Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет. Россия, 190005, Санкт-Петербург, 2-я Красноармейская, д. 4. Заместитель председателя Комитета по государственному контролю использованию и охране памятников истории и культуры Санкт-Петербурга. Россия, 191023, Санкт-Петербург, пл. Ломоносова д. 1.

Поступила 16.02.2023 г.

© Семенов С.В., Михайлов А.В., 2023

¹*Sementsov S.V.*, ^{1,2,*}*Mikhailov A.V.*

¹*St. Petersburg State University of Architecture and Engineering*

²*Board for State Supervision and Protection of Historical and Cultural Monuments St. Petersburg*

**E-mail: mikhaylovaalex@yandex.ru*

URBAN PLANNING AND INTANGIBLE ASPECTS OF THE SUBJECT OF PROTECTION OF CULTURAL HERITAGE OBJECTS IN THE HISTORICAL ENVIRONMENT OF ST. PETERSBURG

Abstract. *The paper considers previously unexplored urban planning and intangible components (aspects) of the subject of protection of cultural objects. From the general analysis of the phenomenon of object preservation through the subject of protection, the authors consistently reveal the features of this mechanism, the evolution of its methodological support and structure. The least studied components are identified. The authors analyze the international analogue of the method of preserving the features of cultural heritage objects through the identification of its most outstanding features. The method of identifying and preserving outstanding universal value enshrined in the "Convention on the Protection of the World Cultural and Natural Heritage" is widely used in various countries of the world, both literally and with different interpretations. Based on the results of studies of the world and domestic experience, the article offers systematization and methods of identification and fixation of urban planning aspects. The components and structure of intangible aspects are revealed. In the methodology for determining urban planning aspects, they are divided into determining the role of an object in the historical environment ("view of the object") and determining the role of the environment in preserving the features of the object ("view from the object"). The paper considers the necessary legal changes to take into account the studied aspects in order to fully preserve the historical environment.*

Keywords: *objects of protection of cultural heritage objects, urban planning objects of protection, intangible objects of protection, methods of determining the subject of protection*

REFERENCES

1. Guidelines for the conduct of urban planning, historical, cultural and technical and economic expertise of immovable objects under state protection, in order to prepare them for privatization. St. Petersburg: LLP «Association of researchers of St. Petersburg» [Metodicheskie ukazaniia po provedeniiu gradostroitelnoi, istoriko-kulturnoi i tekhniko-ekonomicheskoi ekspertizy nedvizhimykh obiektov, sostoishchikh pod gosudarstvennoi okhranoi, v poriadke podgotovki ikh k privatizatsii. SPb.: TOO «Assotsiatsiia issledovatelei Sankt-Peterburga»], 1997. (rus)

2. Nikitin N.F. Architectural Workshop LLC Temporary guidelines for the implementation of

historical and cultural research to determine the objects of protection of cultural heritage sites [OOO «Arkhitektornaia masterskaia N.F. Nikitina» Vremennye metodicheskie rekomendatsii po vypolneniiu istoriko-kulturnykh issledovaniu dlia opredeleniia predmetov okhrany obiektov kulturnogo nasledia]: SPb., 2008. KGIOP archive (rus)

3. Krogus V.R. Historical cities of Russia as a phenomenon of its cultural heritage [Istoricheskie goroda Rossii kak fenomen ee kulturnogo nasledia]: Moscow: Progress-Tradition, 2009. 312 p. (rus)

4. Sementsov S.V. Town-planning development of St. Petersburg in 1703–2000 [Gradostroitelnoe razvitie Sankt-Peterburga v 1703–

2000 gody]: dis. ... Dr. Architect: 18.00.01. SPb., SPbGASU, 2007. 736 p. (rus)

5. Sementsov S.V. The cyclical nature of the urban development of St. Petersburg. Features of the development of master plans and urban management [Tsiklichnost gradostroitel'nogo razvitiia Sankt-Peterburga. Osobennosti razrabotki generalnykh planov i gradoupravleniia]: Vestnik grazhdanskikh inzhenerov. 2004. No. 1. Pp. 45–52. (rus)

6. Sementsov S.V. Stages of the spatial formation of St. Petersburg: crystallization of the urban genetic code, the unity of development and preservation [Etapy prostranstvennogo formirovaniia Sankt-Peterburga: kristallizatsiia gradostroitel'nogo geneticheskogo koda, edinstvo razvitiia i sokhraneniia]: Industrial and civil construction. 2007. No. 2. Pp. 29–30. (rus)

7. Sementsov S.V., Mikhailov A.V. Principles of preservation of the historical environment and principles of preservation of intangible attributes of objects of cultural heritage [Printsipy sokhraneniia istoricheskoi sredy i printsipy sokhraneniia nematerialnykh atributov obiektov kulturnogo nasledii]: Sat. mater. interreg. scientific-practical. conf. «Master's hearings» within the framework of the VII Interregional creative forum «Architectural seasons in SPbGASU» [April 18–21, 2017]. St. Petersburg: SPbGASU, 2017. Pp. 74–76. (rus)

8. Punin A.L. Architecture of St. Petersburg in the middle and second half of the XIX century [Arkhitektura Peterburga serediny i vtoroi poloviny XIX veka.]: Vol. 2. St. Petersburg in the 1860s–1890s in the context of urban planning in post-reform Russia. St. Petersburg: Kriga, 2014. 600 p. (rus)

9. Schukina E.P. Restoration of monuments of landscape art [Vosstanovlenie pamiatnikov sadovoparkovogo iskusstva]: Sat. articles «Issues of protection, restoration and propaganda of historical and cultural monuments», 1979. Pp. 24–25. (rus)

10. Shchukina E.P. Protection zones of architectural monuments [Okhrannye zony pamiatnikov arkhitektury]: Sat. articles «Issues of protection, restoration and propaganda of historical and cultural monuments», 1978. (rus)

11. Regame S.K., Bruns D.V., Omelyanenko G. B. Combination of new and established development during the reconstruction of cities [Sochetanie novoi i slozhivsheisia zastroiki pri rekonstruktsii gorodov]: M.: Stroyizdat, 1989. 144 p. (rus)

12. Regame S.K., Yakubovich E.M. On the assessment of the urban planning role of ordinary buildings [Ob otsenke gradostroitelnoi roli riadovoi zastroiki]: Kyiv: Budevelnik, 1982. Issue. 33. Pp. 88–90. (rus)

13. Makhrovskaya A.V. Development and

planning of the Neva embankments [Zastroika i planirovka naberezhnykh Nevy]: Town-planning problems of Leningrad development. Leningrad: State publishing house of literature on construction and architecture and building materials, 1960. Pp. 115–132. (rus)

14. Makhrovskaya A.V. Historical zones of St. Petersburg [Istoricheskie zony Sankt-Peterburga]. Leningrad: Sat. St. Petersburg at the turn of the century. SPb.: Nauch.-issled. Center «Ekograd», 1999. 214 p. (rus)

15. Makhrovskaya A.V. Reconstruction of old residential areas of large cities On the example of Leningrad [Rekonstruktsiia starykh zhilykh raionov krupnykh gorodov]: L.: Stroyizdat, 1986. 351 p (rus)

16. Rozadeev B.A. An important source for studying the development of Leningrad. Protection of monuments and questions of the history of Russian architecture [Vazhnyi istochnik izucheniia zastroiki Leningrada. Okhrana pamiatnikov i voprosy istorii russkoi arkhitektury]: L.: Stroyizdat, 1974 (rus)

17. Rozadeev B.A., Somina R.A., Kleshcheva L.S. Kronstadt: an architectural essay [Kronshtadt: arkhitekturnyi ocherk]: L.: Stroyizdat, 1977. 215 p. (rus)

18. Guidelines for assessing the historical and cultural value of the settlement. Application of the criteria of the historical and cultural value of the settlement in the assessment of real estate located within the boundaries of the historical settlement [Metodicheskie rekomendatsii otsenki istoriko-kulturnoi tsennosti poseleniia. Primenenie kriteriev istoriko-kulturnoi tsennosti poseleniia v otsenke nedvizhimosti, raspolozhennoi v granitsakh istoricheskogo poseleniia]. URL: <http://www.iprbookshop.ru/35180.html> (date of treatment: 28.09.2020). (rus)

19. Shevchenko E.A. On the problems of preserving historical settlements and not only ... [O problemakh sokhraneniia istoricheskikh poselenii i ne tolko...]: St. Petersburg: Architect, 2018. 367 p. (rus)

20. Shevchenko E.A., Nikiforov A.A. Legal aspects of the protection of objects of cultural heritage (from single monuments to urban complexes) [Pravovye aspekty okhrany obiektov kulturnogo nasledii (ot edinichnykh pamiatnikov k gradostroitel'nym kompleksam)]: St. Petersburg: Architect, 2014. Pp. 14–15. (rus)

21. Vinokurova N.T., Pokidova B.I., Fedorov V.P. Information system for the study and preservation of the city skyline [Informatsionnaia sistema dlia issledovaniia i sokhraneniia silueta goroda]: Reports of the 55th scientific. conf. professors, teachers, researchers, engineers and graduate students of the university. Part II. St.

Petersburg: SPbGASU, 1998. Pp. 33–35. (rus)
22. Vinokurova N.T., Pokidova B.I., Fedorov V.P. Silhouette of St. Petersburg: heritage and modernity [Siluet Sankt-Peterburga: nasledie i *Information about the authors*

sovremennost]: Petersburg Readings 98–99; mater. Encyclopedic Library «St. Petersburg, 2003». St. Petersburg: Petersburg Institute of Press, 1999. Pp. 359–363. (rus)

Sementsov, Sergey V. Doctor of Architecture, Professor of Architecture heritage. St. Petersburg State University of Architecture and Engineering. Russia, 190005, St. Petersburg, 2-ya Krasnoarmeyskaya, 4.

Mikhailov, Aleksey V. Candidate of Architecture, Associate Professor of the Department of Architectural and Urban Planning Heritage. E-mail: mikhaylovalex@yandex.ru. St. Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering. Russia, 190005, St. Petersburg, 2nd Krasnoarmeyskaya, 4. Deputy Chairman of the Board for State Supervision and Protection of Historical and Cultural Monuments St. Petersburg. Russia, 191023, St. Petersburg, Lomonosov square. 1.

Received 16.02.2023

Для цитирования:

Семенцов С.В., Михайлов А.В. Градостроительные и нематериальные аспекты предмета охраны объектов культурного наследия в исторической среде Санкт-Петербурга // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2023. № 5. С. 71–81. DOI: 10.34031/2071-7318-2023-8-5-71-81

For citation:

Sementsov S.V., Mikhailov A.V. Urban planning and intangible aspects of the subject of protection of cultural heritage objects in the historical environment of St. Petersburg. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2023. No. 5. Pp. 71–81. DOI: 10.34031/2071-7318-2023-8-5-71-81

DOI: 10.34031/2071-7318-2023-8-5-82-91

Калинкина Н.А., *Жданова И.В., Мязкова А.В., Пирогов Я.М.

Самарский государственный технический университет

*E-mail: zdanovairina@mail.ru

ОСОБЕННОСТИ ЦВЕТОВОГО ОФОРМЛЕНИЯ ПРОСТРАНСТВ В ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ОРГАНИЗАЦИЯХ. ВОСПРИЯТИЕ ЦВЕТА И ФОРМЫ ДЕТЬМИ РАЗНОГО ВОЗРАСТА

Аннотация. Данное исследование посвящено изучению вопросов восприятия цвета и формы детьми различного возраста. Рассмотрена специфика влияния данных средств архитектурной выразительности на различные сферы деятельности ребёнка (учебную, игровую и спортивную, отдых и т. п.). Поскольку цвет оказывает огромное влияние на наше чувственное восприятие мира, мышление и поступки, то актуальность данной темы неоспорима. Цветом можно влиять на настроение и работоспособность учащихся, что играет важнейшую роль в образовательном процессе. В работе изучены и обобщены результаты исследований в области психологии, педагогики, медицины, а также физиологии, посвященные изучению особенностей восприятия цвета и формы детьми разного возраста. Выделены возрастные группы с характерными психофизиологическими особенностями. На примере зарубежного опыта проектирования рассмотрены удачные варианты оформления учебных и общественных пространств образовательных организаций, даны рекомендации по проектированию и дизайну помещений различного функционального назначения, с учётом возрастных особенностей учащихся. Выявлены цвета, благоприятно влияющие на психоэмоциональное состояние детей, и цветовые комбинации, которых следует избегать. Определено процентное соотношение основных и дополнительных цветов при оформлении интерьеров учебных организаций. А также разработан экспериментальный проект общеобразовательной организации с комбинированным блоком начальных классов с учётом вышеизложенных рекомендаций.

Ключевые слова: цветовосприятие, формообразование, образовательная организация, цветовое оформление, color perception.

Введение. Цвет и форма являются одними из важнейших средств архитектурно-художественной выразительности [1, 2]. Цвет активно влияет не только на настроение человека, вызывая положительные или отрицательные эмоции, но и способен воздействовать на общее физическое состояние, работоспособность, успокаивать или возбуждать нервную систему. Форма окружающих элементов и её членение, а также формируемые архитекторами пространства, в не меньшей степени воздействует на людей, ещё более активируя воздействие цвета на человека [3, 4]. Таким образом, совместное воздействие цвета и формы активно влияет на психоэмоциональное состояние личности, производительность труда, может вызывать стресс, состояние беспокойства и раздражения. Форма помещений, их пропорции активно влияют на ощущение человека, находящегося в нём. Благодаря цвету и освещению можно добиться искажения восприятия пространства. Подобными приёмами издревле пользовались архитекторы, добиваясь желаемого восприятия среды в своих объектах. Благодаря таким приёмам – «обманкам» помещение может казаться длиннее и шире, в результате коммуникационное пространство будет восприниматься ясным и коротким, а можно добиться и противоположного эффекта. Всё это, в большинстве случаев, связано с формой и цветами, а точнее даже оттенками

цвета, применяемых при оформлении пространств [5].

Восприятие цвета в течении жизни человека существенно меняется, поэтому, проектируя объект, архитектор или дизайнер обязательно должен учитывать особенности цветовосприятия и восприятия формообразования определёнными возрастными группами. Геометрические формы и цвет влияют на ребёнка ничуть не меньше, чем на людей других возрастов. Поэтому, чтобы создать благоприятную среду для детей, нужно уметь мастерски апеллировать этими средствами художественной и архитектурной выразительности [6–8].

При формировании комфортной среды для детей нельзя говорить только о цвете. Формообразование пространств, форма элементов, насыщающих пространство для детей, важны в такой же степени, как и их цветовое решение [9, 10]. Важно отметить, что неправильные геометрические формы сложны для восприятия ребёнком. Здания для детей лучше формировать из понятных, правильных форм, сложно организованное пространство может запутать ребёнка, вызвать негативные эмоции [11, 12]. Необходимо также затронуть вопрос насыщения интерьеров и экстерьеров зданий различными декоративными элементами (модульные элементы фасадов, членения, рисунки и т.п.) [13]. Форма линий так же

оказывает активное влияние на восприятие информации [14]. Принято считать, что прямые линии (вертикальные или горизонтальные) вызывают чувство спокойствия, а ломаные наоборот, усиливают двигательную активность. Это утверждение верно лишь для определённых условий. Использование чрезмерного количества линий, а также применение активной цветовой палитры, вызывает неприятные ощущения, вплоть до головкружения и стресса.

Выше приведённые данные, несомненно, подтверждают актуальность данной темы исследования, и доказывают необходимость учёта особенностей цветового оформления пространств в образовательных организациях. Поэтому очень важно выявить восприятие цвета и формы детьми разного возраста для помещений разного функционального назначения в образовательных организациях.

Целью исследования является изучению вопросов восприятия цвета и формы детьми различного возраста, а также определение цветов, благоприятно влияющих на психоэмоциональное состояние детей, и цветовые комбинации, которых следует избегать. Для достижения поставленной цели в исследовании решаются следующие задачи: кратко рассмотреть современные подходы в области психологии и педагогики в решении проблем организации комфортной среды для детей; обобщить международный опыт по внедрению цвета в интерьеры образовательных организаций; определить использование цветового оформления и выявить определенные формы помещений. Объектом исследования являются интерьеры образовательных организаций. Предметом исследования стали пространственная и колористическая организация помещений образовательных организаций.

Методика. Основными методами исследования стали комплексный подход к анализу исследуемого материала со стороны психологии, физиологии, педагогики, медицины, а также колористики, сравнение результатов исследований, позволяющих обеспечить научный подход в решении проблем организации комфортной среды для детей. Существующие нормативные документы и требования регламентируют применение колористических решений в дошкольных и образовательных организациях, но в очень широком диапазоне. Необходимо более чётко выделить диапазон цветов, применяемых в оформлении помещений образовательных организаций, учитывающий особенности их восприятия детьми разного возраста.

Исследования влияния цвета и формы на их восприятие детьми велись многими видными педагогами, как в России, так и за рубежом. Так,

французский врач Ферре установил взаимосвязь цвета с производительностью труда. В своих исследованиях он выявил, что производительность и работоспособность, при выполнении краткосрочных задач, увеличивается, если в помещении присутствует красный цвет и снижается при наличии синего. Зелёный оказывает благотворное влияние на человека при длительной работе, а цвета сине-фиолетовой гаммы снижают эффективность деятельности. Это подтверждают и экспериментальные исследования Е.Б. Рабкина, установившего, что оттенки зелёного благотворно влияют на умственную деятельность человека. Интересны исследования, касающиеся интеллектуальной деятельности, немецкого учёного И. Ридель и Я.Л. Обухова. Они выявили, что легче и продуктивнее работать, если в помещении присутствуют элементы синего цвета (например, лампа или шторы и т.п.). В своих работах К. Ауэр и Г. Фрилинг выявили, что для помещений, предназначенных для умственного труда, нежелательна отделка тёмными «холодными» цветами. Это будет оказывать неблагоприятный эффект, снижать эффективность деятельности. «Тёплая» цветовая гамма, напротив, будет стимулировать мыслительную деятельность, повышая продуктивность работы. Фабер Биррен в своих исследованиях отмечал, что присутствие жёлтых оттенков в помещении способствует более эффективному и чёткому мышлению.

Основная часть. Для того чтобы грамотно спроектировать учебную образовательную организацию необходимы знания в области детской психологии и физиологии. Цвет может влиять на способность лучше сосредотачиваться и воспринимать информацию, на состояние организма в целом, вызывать усталость, повышать работоспособность, угнетённое эмоциональное состояние, провоцировать к фантазиям и т. п. В современном мире архитекторы и дизайнеры стали всё чаще обращаться к теме психологии цвета и его влияния на человека, поскольку недостаточное внимание к особенностям цветовосприятия детьми разного возраста может негативно влиять на развитие ребёнка [15, 16]. Поскольку в образовательных организациях ребёнок проводит достаточно много времени, необходимо тщательно продумывать цветовое оформление интерьеров и экстерьеров учебных зданий, стимулируя ребёнка к учебной, творческой и спортивной деятельности. Важно создать атмосферу, которая бы не вызвала у ребёнка чувство страха, отторжения, а была привлекательна, ассоциировалась с защищённостью, приносила радость. В школах Японии цветовой отделкой уделяется большое значение, поскольку цвет рассматривается как

фактор, влияющий на развитие гармоничной личности, формирующий визуальную и цветовую культуру детей с самого раннего возраста [17].

Уже в первый год жизни у ребёнка наблюдается эмоциональный отклик на цвет, формируется определённая эмоциональная реакция, и личностное отношение к цвету. С рождения дети неосознанно тянутся ко всему яркому. Простые понятные формы и яркие цвета вызывают у них положительные эмоции, побуждают к действиям, стимулируют умственную и физическую деятельность. Исследования показывают, что у детей раннего возраста положительные эмоции, в основном, связаны с жёлтым и красным цветами [18].

В возрасте 3–4 лет дети ещё плохо различают оттенки цвета и активно исследуют форму предметов. Наибольший эмоциональный отклик вызывает яркий интенсивный цвет, особенно в контрасте с другим цветом. Необходимо учитывать, что в пространстве для детей этого возраста обязательно должны присутствовать не только основные, но и дополнительные цвета, их оттенки, чтобы ребенок знакомился с цветами, умел называть их, давать характеристики и т. п. [18].

В возрасте 5–6 лет у детей наблюдается процесс выделения «красивого» и «некрасивого» цветов. По исследованиям В.С. Мухиной «красивыми» у детей считаются чистые яркие цвета. «Некрасивый» цвет – тёмный, приглушённые тона. Поэтому здание дошкольной образовательной организации должно быть выполнено в красочной «позитивной» палитре. Обязательно использование контрастных деталей на фасадах [19]. Использование простых, понятных ребёнку

форм и их сочетаний, вызывающих чувства радости и беззаботности. Необходимо исключить использование цветов, оказывающих негативное психоэмоциональное воздействие на ребёнка. При формировании фасадов и интерьеров дошкольных образовательных организаций необходимо около 80 % всей площади выполнять в нейтральных, светлых оттенках (белый, светлосерый), а остальную часть формировать из активных, контрастных элементов и деталей. При анализе примеров часто можно видеть спокойные пастельные оттенки в оформлении стен и контрастные, яркие, насыщенные цвета у мебели, штор и других элементов.

В младшем школьном возрасте происходит активное функциональное совершенствование мозга. Детям «нравятся» контрастные яркие цвета и формы. В этом возрасте ребята уже различают гораздо больше оттенков, чем дети меньшей возрастной группы, и это необходимо учитывать, формируя для них среду.

В дошкольных и общеобразовательных организациях большую роль при выборе цветового оформления интерьера играет ориентация помещения и его функциональное назначение [20]. В случае если помещение выходит на северные румбы, то его рекомендуется оформлять в тёплых оттенках. Коммуникационно-рекреационные пространства младшей школы должны быть выполнены с использованием насыщенных цветов (мебель, элементы на стенах и полу, шторы, игровые комплексы и т. п.). Здесь дети должны отдыхать от уроков и наполняться энергией, поэтому будут уместны практически любые цветовые сочетания (рис. 1).



Рис. 1. Цветовые решения рекреаций для блока детского сада и учащихся младших классов в St. Andrew's Scots School, 2019, арх. бюро Rosan Bosch Studio, Аргентина [<https://www.archdaily.com/934479/st-andrews-scots-school-rosan-bosch-studio>]

В подростковом периоде (11–14 лет) происходит физиологическая перестройка организма, общий подъём жизнедеятельности, повышается

возбудимость, сильно меняется цветовое восприятие. Положительные эмоции уже не связаны с яркой колористической гаммой, доступным для

восприятия становится широкий спектр оттенков разных цветов.

В более старшем возрасте (15–18 лет) школьник активно пытается выделиться, проявить свою индивидуальность, самоутвердиться. Для этого возраста характерно развитое абстрактное мышление, высокий уровень обобщения.



Рис. 2. Рекреационное пространство Ningbo Hanvos School, арх. бюро DC Alliance, Китай [https://www.archdaily.com/941219/ningbo-hanvos-school-dc-alliance]

В столовых рекомендуется использовать тёплые (жёлто-красная гамма) цвета, повышающие аппетит (рис. 4). Рекомендуется контрастное сочетание цветов: основной цвет - пастельный (тёплой гаммы), дополненный – яркий (сочные детали). В спортивных залах использование жёлто-оранжевой гаммы будет стимулировать двигательную активность детей. Для мастерских,



Рис. 4. Столовая средней школы Putney High School dining hall [https://www.pinterest.co.uk/pin/153263193557214004/]

Поскольку наибольшее количество времени дети проводят в учебных классах, то именно оформлению этих пространств должно быть уделено максимальное внимание. Цвет стен в учебных пространствах будет варьироваться в зависимости от возраста учащихся. При их грамотном цветовом решении эффективность труда у учащихся повышается на 12–17 %. Для младших

Коммуникационно-рекреационные пространства средней и старшей школы рекомендуется оформлять в холодных тонах голубых и зелёных оттенков, что оказывает успокаивающее действие, отдых от умственной деятельности, даёт отдых глазам. При этом рекомендуется введение контрастных, ярких акцентов, желательно тёплых (рис. 2–3).



Рис. 3. Рекреационное пространство Skälby School, 2018, арх. бюро Max Arkitekter, Швеция [https://www.archdaily.com/920110/skalby-school-max-arkitekter]

где происходит деревообработка, стены рекомендуется окрашивать в голубовато-зелёные тона, контрастные к тёплому тону дерева (рис. 5). Оборудование также выполняется в «холодной» цветовой гамме. Отделка мастерских по обработке металла напротив, выполняется в тёплых оттенках, контрастных к цвету металла.



Рис. 5. Мастерская Royal College of Art London [https://www.e-architect.com/london/camberwell-college-of-arts-building-in-london]

школьников рекомендуется использовать бежевые, кремовые и охристые оттенки, напоминающие им о теплой домашней атмосфере. Чистые яркие цвета всё ещё остаются в приоритете, поэтому оформление учебных пространств для учеников начальной школы по принципу: нейтральный фон и яркие сочные акценты.

Дизайн учебных пространств для средней школы рекомендуется выполнять в более спокойной цветовой гамме по сравнению с группой начальных классов. Возможно оформление интерьеров в «природных» оттенках, близких к естественным материалам (дереву, камню, песку), рекомендуются пастельные зеленовато-желтоватые оттенки. Отличным примером является Maidenhill Primary School & Nursery в Великобритании (рис. 6). Зелёный цвет, как говорилось ранее, оказывает успокаивающее действие на организм, благотворно влияет на самочувствие. В интерьере также необходимо использовать цвета,



Рис. 6. Учебные классы Maidenhill Primary School & Nursery, 2019, арх. бюро BDP, Великобритания [<https://www.archdaily.com/935513/maidenhill-primary-school-and-nursery-bdp>]

Самые опасные цвета в интерьере, чьё количество нужно чётко контролировать – это красный и синий. При наличии большого количества синего цвета, его воздействие становится угнетающим. Это способствует торможению различных физиологических функций, провоцирует



Рис. 8. Контраст синего в Longyuan School, 2018, арх. бюро ZHUBO-AAO + H DESIGN, Китай [<https://www.archdaily.com/908137/longyuan-school-affiliated-to-central-china-normal-university-zhubo-ao-plus-h-design>]

Красный цвет ассоциируется у старшеклассников с какой-либо силой и мощью, активизируя все функции в организме. Наличие большого количества красного в пространстве может на ко-

нцентрирующие внимание, улучшающие мозговую деятельность. При этом они должны успокаивать нервную систему подростка и вызывать положительные эмоции.

У старшеклассников – светлые прохладные оттенки отделки стен сочетаются с контрастными деталями (жалюзи, оформление наглядных пособий и т.п.) тёплых насыщенных тонов. Такое сочетание повышает работоспособность и улучшает их эмоциональное состояние (рис. 7). Наличие контрастной мебели не допускается, поскольку это будет отвлекать учащихся от процесса обучения.



Рис. 7. Учебные классы Skälby School, 2018, арх. бюро Max Arkitekter, Швеция [<https://www.archdaily.com/920110/skalby-school-max-arkitekter>]

рассеивание внимания, снижение работоспособности. В школе Longyuan School в Китае очень грамотно решается сочетание цветов с голубым и синим: их небольшое количество не угнетает, а контраст с другими цветами, благотворно влияет на детей, стимулируя креативную часть мозга (рис. 8).



роткое время увеличивать мышечное напряжение, ускорять ритм дыхания и повышать давление. Злоупотребление красными оттенками может привести к повышенной раздражительности ребенка и даже нервному истощению.

Исследование в рамках данной работы позволило выявить цвета и формы в оформлении пространств образовательных организаций и

обобщить подходы, применяемые при проектировании (табл.1).

Таблица 1

Цвета, рекомендуемые к применению в образовательных организациях

Возраст (лет) /Пространство	Групповые	Коммуникационно-рекреационные пространства	Столовая	Учебные пространства
3-4	Основной цвет - пастельный + контрастные, яркие			
5-6	Основной цвет - белый, светло-серый + контрастные, яркие			
7-10		Цвет стен – пастельный + яркая мебель и детали	Основной цвет - пастельный (тёплой гаммы) + яркие сочные детали	Цвет стен - бежевые, кремовые, охристые оттенки + яркие сочные акценты
11-14		Цвет стен - холодных голубых и зелёных оттенков + контрастные, яркие акценты тёплых цветов		Цвет стен - «природные» оттенки + контрастные детали
15-18		Цвет стен - светлые прохладные оттенки + контрасты теплых тонов		Цвет стен - светлые прохладные оттенки + контрасты теплых тонов

В данном исследовании разработан экспериментальный проект общеобразовательной организации с комбинированным блоком начальных классов в г. Самаре. При разработке экстерьера использовались пастельные тона основной массы стены с яркими акцентами в форме крупных деталей «тетриса». Так как пространство на улице

используется для отдыха и наполнения энергией, поэтому применяются насыщенные цвета, вызывающие положительные эмоции и побуждающие к действию. А простые и понятные формы стимулируют умственную и физическую активность.

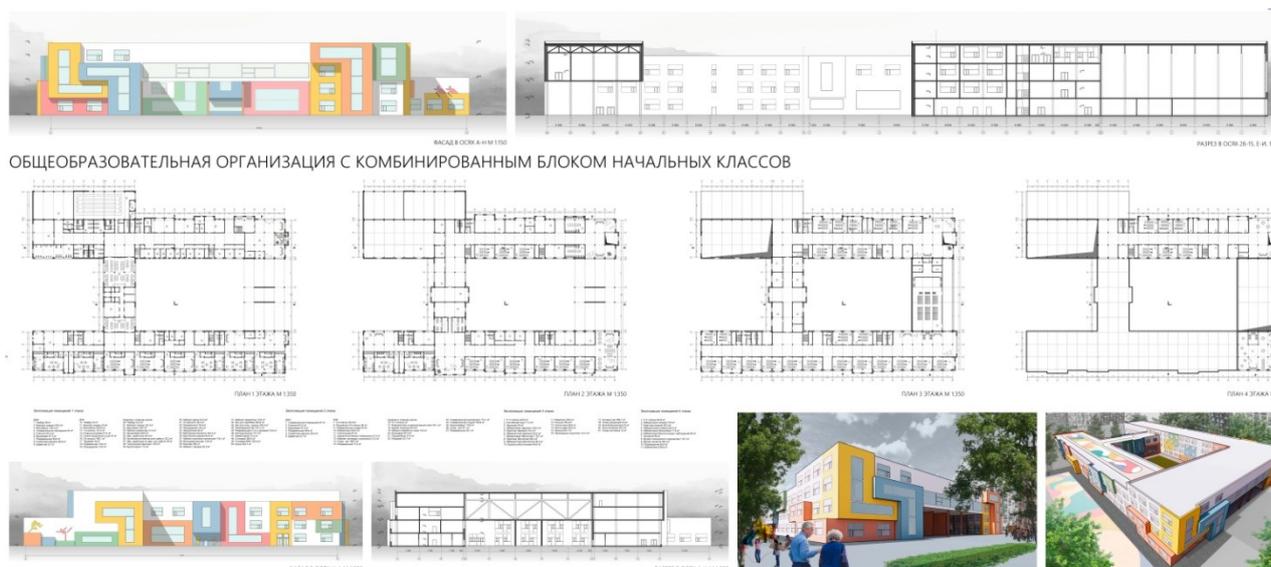


Рис. 9. Проект общеобразовательной организации с комбинированным блоком начальных классов в г. Самаре, выполненный на каф. АЖОЗ СамГТУ, студенты: Мягкова А.В., Пирогов Я.М., преподаватели: к. арх., доц. Жданова И.В., к. арх., доц. Калинкина Н.А.

Выводы. Таким образом, подводя итог всему вышесказанному, необходимо ещё раз отметить, что эффективность умственной работы учащихся непосредственно взаимосвязана с формой помещения и его цветовым решением. Необходимо помнить, что основы здоровья человека закладываются с детства, в период обучения в дошкольной и общеобразовательной организациях. Поэтому проведение мероприятий, направленных на формирование и поддержание здоровья учащихся является приоритетным направлением деятельности. Цвет и форма являются мощными средствами воздействия на детей. Необходимо понимать степень и принципы воздействия этих средств на детский организм, чтобы лучше ориентироваться в процессах формирования среды для детей. Обобщив все вышесказанное можно сделать следующие выводы:

1. При проектировании образовательных организаций обязательно необходимо учитывать возрастную категорию детей, психологические и физиологические особенности детей разных возрастов.

2. Цветовые решения подбираются исходя из функционального назначения помещений и ориентации помещений по сторонам света.

3. В качестве базового цвета в дошкольной и общеобразовательной организациях следует использовать нейтральные светлые оттенки (80 % всех поверхностей).

4. 20 % всех поверхностей и элементов учебного пространства должно быть наполнено акцентными деталями, подбирая акцентные цвета с учётом возрастной группы учащихся.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Дудченко М.Ю., Попов А.Д. Колористика как фактор эстетического переживания // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2019. № 10. С. 111–116. DOI:10.34031/article_5db3e5064806a9.03183140

2. Воронина И.И., Кузнецова А.А. Цветовое оформление интерьеров школ // Молодежь и наука: Шаг к успеху. 2019. С. 23–26.

3. Galimullina A., Korotkova S. Adapting the architecture of school buildings in the context of humanizing the environment // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020. 012008. DOI:10.1088/1757-899X/890/1/012008

4. Генералов В.П., Генералова Е.М. Образ жизни, архитектура и качество городской среды // Градостроительство и архитектура. 2021. Т. 11. № 1 (42). С. 160–168. DOI: 10.17673/Vestnik.2021.01.20

5. Shevchenko E., Thomashevskaya I. Ranslation: the puzzle of colour // Baltic Accent. 2019. Т.

10. № 3. С. 105–113. DOI:10.5922/2225-5346-2019-3-8

6. Алешина Т.Е., Наумова А.А., Наумова Т.А. Влияние цвета на работоспособность школьников // Современные технологии в мировом научном пространстве. 2016. С. 7–10.

7. Жоголева А.В., Кузнецова А.А., Терягова А.Н. Особенности формирования архитектурно-средовых пространств для обучения детей дошкольного и младшего школьного возраста в соответствии с задачами инклюзивного образования // Традиции и инновации в строительстве и архитектуре. Архитектура и градостроительство. 2019. С. 302–309.

8. Вавилова Т.Я., Матвеева О.М. Трансформация подходов к проектированию объектов образования в эпоху устойчивого развития // Традиции и инновации в строительстве и архитектуре. Архитектура и градостроительство. 2021. С. 424–433.

9. Kuznetsova A.A., Zhdanova I.V., Potienko N.D. Functional zoning of modern educational complexes // Materials Science and Engineering. International Science and Technology Conference. 2021. 022041. DOI:10.1088/1757-899X/1079/2/022041

10. Kurakova O. Methodological approaches to the development of public spaces in accordance with the concept of sustainable development // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. International Science and Technology Conference "FarEastCon 2019". 2020. 032021. DOI:10.1088/1757-899X/753/3/032021

11. Pronina T.V. New life of traditional finishing materials in architecture of facades of modern buildings // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. International Science and Technology Conference "FarEastCon 2019". 2020. 032002. DOI: 10.1088/1757-899X/753/3/032002

12. Подольский В.Г. Архитектура школьных зданий как элемент формирования архитектурно-пространственного решения города // Строительство и техногенная безопасность. 2022. № S1. С. 276–282.

13. Antonenko Ju.S., Zhdanova N.S., Mishukovskaya Yu.I. Research results of possibility of using non-traditional materials in design of furniture for children // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. International Science and Technology Conference. 2021. 022026. DOI:10.1088/1757-899X/1079/2/022026

14. Чикаев И.И. Формообразующая роль линии при формировании фасадных решений зданий // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2023. № 2. С. 77–84. DOI:10.34031/2071-7318-2022-8-2-77-84

15. Махова Н.С., Бакалдина Г.В. Особенности формирования цветоколористической среды

образовательных учреждений // НАУКА-2020. 2016. № 3 (9). С. 54–59.

16. Ческидова И.Б. Педагогика XIX–XX вв. О роли цвета в развитии ребенка // Символ Науки. 2015. №10 (1). С. 198–201.

17. Вавилова Т.Я. Обзор современных зарубежных концепций экологизации среды жизнедеятельности // Градостроительство и архитектура. 2019. Т. 9. № 3 (36). С. 113–125. DOI:10.17673/Vestnik.2019.03.15

18. Кузнецова А.А., Жданова И.В. К вопросу о развитии функциональной структуры школь-

ных форумных пространств // Градостроительство и архитектура. 2022. №4(49). С.147–156. DOI:10.17673/Vestnik.2022.04.18

19. Ильвицкая С.В., Михайлова И.В. Устойчивая архитектура как вектор развития в проектировании дошкольных образовательных организаций // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2020. Т. 22. № 6. С. 61–69. DOI:10.31675/1607-1859-2020-22-6-61-69

20. Кузнецова А.А., Жданова И.В. Современные тенденции проектирования образовательных комплексов // Приволжский научный журнал. 2020. №4(56). С. 271–277.

Информация об авторах

Калинкина Надежда Александровна, кандидат архитектуры, доцент кафедры Архитектуры жилых и общественных зданий. E-mail: nad_si@mail.ru. Самарский государственный технический университет. Россия, 443100, Самара, ул. Молодогвардейская, д. 244.

Жданова Ирина Викторовна, кандидат архитектуры, доцент кафедры Архитектуры жилых и общественных зданий. E-mail: zdanovairina@mail.ru. Самарский государственный технический университет. Россия, 443100, Самара, ул. Молодогвардейская, д. 244.

Мягкова Алёна Валерьевна, студентка кафедры Архитектуры жилых и общественных зданий. E-mail: alenadirikforever@gmail.com. Самарский государственный технический университет. Россия, 443100, Самара, ул. Молодогвардейская, д. 244.

Пирогов Ярослав Михайлович, студент кафедры Архитектуры жилых и общественных зданий. E-mail: plokfireswaq@yandex.ru. Самарский государственный технический университет. Россия, 443100, Самара, ул. Молодогвардейская, д. 244.

Поступила 24.03.2023 г.

© Калинкина Н.А., Жданова И.В., Мягкова А.В., Пирогов Я.М., 2023

Kalinkina N.A., *Zhdanova I.V., Myagkova A.V., Pirogov Ya.M.

Samara State Technical University

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

FEATURES OF COLOR DESIGN OF SPACES IN EDUCATIONAL ORGANIZATIONS. PERCEPTION OF COLOR AND SHAPE BY CHILDREN OF DIFFERENT AGES

Abstract. *This study is devoted to perception of color and shape by children of different ages. The article considers specificity of influence of these means of architectural expression on various spheres of activity of the child (educational, game and sports, rest, etc.). Since color has a huge impact on our sensory perception of the world, thinking and actions, the relevance of this topic is undeniable. Color can influence the mood and performance of students, which plays a crucial role in the educational process. The paper studies and summarizes the results of research in the field of psychology, pedagogy, medicine, as well as physiology, devoted to the study of the characteristics of the perception of color and shape by children of different ages. Age groups with characteristic psychophysiological features have been identified. On the example of foreign design experience, successful design options for educational and public spaces of educational organizations are considered, recommendations are given for the design and design of premises for various functional purposes, taking into account the age characteristics of students. Colors that have a positive effect on the psycho-emotional state of children, and color combinations that should be avoided have been identified. The percentage ratio of primary and secondary colors in the design of the interiors of educational organizations is determined. In addition, an experimental project of a general education organization with a combined block of primary classes is developed, taking into account the above recommendations.*

Keywords: *color perception, shaping, educational organization, color design, color perception.*

REFERENCES

1. Dudchenko M.Yu., Popov A.D. Coloring as a factor of aesthetic experience [Koloristika kak faktor esteticheskogo perezhivaniya]. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2019. No. 10. Pp. 111–116. DOI: 10.34031/article_5db3e5064806a9.03183140 (rus)
2. Voronina I.I., Kuznetsova A.A. Color design of school interiors [Cvetovoe oformlenie inter'eroov shkoll]. Youth and science: A step towards success. 2019. Pp. 23–26. (rus)
3. Galimullina A., Korotkova S. Adapting the architecture of school buildings in the context of humanizing the environment. IOP conference series. Materials Science and Engineering. 2020. 012008. DOI:10.1088/1757-899X/890/1/012008
4. Generalov V.P., Generalova E.M. Lifestyle, architecture and quality of the urban environment [Obraz zhizni, arhitektura i kachestvo gorodskoj sredy]. Urban planning and architecture. 2021. Vol. 11. No. 1 (42). Pp. 160–168. DOI: 10.17673/Vestnik.2021.01.20 (rus)
5. Shevchenko E., Thomashevskaya I. Ranslation: the puzzle of colour. Baltic Accent. 2019. Vol. 10. No. 3. Pp. 105–113. DOI:10.5922/2225-5346-2019-3-8
6. Aleshina T.E., Naumova A.A., Naumova T.A. Influence of color on the performance of schoolchildren [Vliyanie cveta na rabotosposobnost' shkol'nikov]. Modern technologies in the world scientific space. 2016. Pp. 7–10. (rus)
7. Zhogoleva A.V., Kuznetsova A.A., Teryagova A.N. Features of the formation of architectural and environmental spaces for teaching children of preschool and primary school age in accordance with the objectives of inclusive education [Osobennosti formirovaniya arhitekturno-sredovyh prostranstv dlya obucheniya detej doshkol'nogo i mladshego shkol'nogo vozrasta v sootvetstvii s zadachami inkluzivnogo obrazovaniya]. Traditions and innovations in construction and architecture. Architecture and urban planning. 2019. Pp. 302–309. (rus)
8. Vavilova T.Ya., Matveeva O.M. Transformation of approaches to the design of educational facilities in the era of sustainable development [Transformaciya podhodov k proektirovaniyu ob"ektov obrazovaniya v epohu ustojchivogo razvitiya]. Traditions and innovations in construction and architecture. Architecture and urban planning. 2021, Pp. 424–433. (rus)
9. Kuznetsova A.A., Zhdanova I.V., Potienko N.D. Functional zoning of modern educational complexes. Materials Science and Engineering. International Science and Technology Conference. 2021. 022041. DOI:10.1088/1757-899X/1079/2/022041
10. Kurakova O. Methodological approaches to the development of public spaces in accordance with the concept of sustainable development. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. International Science and Technology Conference "FarEastCon 2019". 2020. 032021. DOI: 10.1088/1757-899X/753/3/032021
11. Pronina T.V. New life of traditional finishing materials in architecture of facades of modern buildings. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. International Science and Technology Conference "FarEastCon 2019". 2020. 032002. DOI:10.1088/1757-899X/753/3/032002
12. Podolsky V.G. Architecture of school buildings as an element of the formation of the architectural and spatial solution of the city [Arhitektura shkol'nyh zdaniy kak element formirovaniya arhitekturno-prostranstvennogo resheniya goroda]. Construction and technogenic safety. 2022. No. S1. Pp. 276–282. (rus)
13. Antonenko Ju.S., Zhdanova N.S., Mishukovskaya Yu.I. Research results of possibility of using non-traditional materials in design of furniture for children. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. International Science and Technology Conference. 2021. 022026. DOI: 10.1088/1757-899X/1079/2/022026
14. Chikaev I.I. Shaping role of the line in the formation of facade solutions for buildings [Formoobrazuyushchaya rol' linii pri formirovanii fasadnyh reshenij zdaniy]. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2023. No. 2. Pp. 77–84. DOI: 10.34031/2071-7318-2022-8-2-77-84 (rus)
15. Makhova N.S., Bakaldina G.V. Features of the formation of the color and color environment of educational institutions [Osobennosti formirovaniya cvetokoloristicheskoy sredy obrazovatel'nyh uchrezhdenij]. SCIENCE-2020. 2016. No. 3 (9). Pp. 54–59. (rus)
16. Cheskidova I. B. Pedagogy XIX-XX centuries. On the role of color in child development [Pedagogika XIX-XX vv. O roli cveta v razvitiu rebenka]. Symbol of Science. 2015. No. 10 (1). Pp. 198–201. (rus)
17. Vavilova T.Ya. Review of modern foreign concepts of ecologization of the living environment // Urban planning and architecture. 2019. Vol. 9. No. 3 (36). Pp. 113–125. DOI: 10.17673/Vestnik.2019.03.15 (rus)
18. Kuznetsova A.A., Zhdanova I.V. To the question of the development of the functional structure of school forum spaces [K voprosu o razvitiu funkcional'noj struktury shkol'nyh forumnyh prostranstv]. Urban planning and architecture. 2022. No. 4 (49). Pp. 147–156. (rus) DOI:10.17673/Vestnik.2022.04.18
19. Il'vitskaya S.V., Mikhailova I.V. Sustainable architecture as a vector of development in the design

of preschool educational organizations [Ustojchivaya arhitektura kak vektor razvitiya v proektirovanii doshkol'nyh obrazovatel'nyh organizacij]. Bulletin of the Tomsk State University of Architecture and Civil Engineering. 2020. Vol. 22. No. 6. Pp. 61–69. DOI:10.31675/1607-1859-2020-22-6-61-69 (rus)

20.Kuznetsova A.A., Zhdanova I.V. Modern trends in the design of educational complexes [Sovremennye tendencii proektirovaniya obrazovatel'nyh kompleksov]. Privolzhsky scientific journal. 2020. No. 4 (56). Pp. 271–277. (rus).

Information about the authors

Kalinkina, Nadezhda A. PhD, Assistant professor. E-mail: nad_si@mail.ru. Samara State Technical University. Russia, 443100, Samara, str. Molodogvardeiskaya, 244.

Zhdanova, Irina V. PhD, Assistant professor. E-mail: zdanovairina@mail.ru. Samara State Technical University. Russia, 443100, Samara, str. Molodogvardeiskaya, 244.

Myagkova, Alena V. Bachelor student. E-mail: alenadirikforever@gmail.com. Samara State Technical University. Russia, 443100, Samara, str. Molodogvardeiskaya, 244.

Pirogov, Yaroslav M. Bachelor student. E-mail: plokfireswaq@yandex.ru. Samara State Technical University. Russia, 443100, Samara, str. Molodogvardeiskaya, 244.

Received 24.03.2023

Для цитирования:

Калинкина Н.А., Жданова И.В., Мягкова А.В., Пирогов Я.М. Особенности цветового оформления пространств в образовательных организациях. Восприятие цвета и формы детьми разного возраста // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2023. № 5. С. 82–91. DOI: 10.34031/2071-7318-2023-8-5-82-91

For citation:

Kalinkina N.A., Zhdanova I.V., Myagkova A.V., Pirogov Ya.M. Features of color design of spaces in educational organizations. Perception of color and shape by children of different ages. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2023. No. 5. Pp. 82–91. DOI: 10.34031/2071-7318-2023-8-5-82-91

DOI: 10.34031/2071-7318-2023-8-5-92-104

¹Шуплей А.,^{1,2,*}Ладик Е.И.¹Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова²Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

*E-mail: krushelnitskaya.lena@yandex.ru

РЕГИОНАЛЬНЫЕ ОСОБЕННОСТИ И СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ИСТОРИЧЕСКОЙ ЗАСТРОЙКИ СИРИЙСКИХ ГОРОДОВ (НА ПРИМЕРЕ Г. ДАМАСК)

Аннотация. В современный период города Сирии столкнулись с беспрецедентными разрушениями исторической застройки, обусловленными военными действиями на территории страны. В этой связи исторические города Сирии нуждаются в исследовании современного состояния архитектурной среды с целью определения перспективных направлений и принципов ее восстановления с учетом региональных особенностей. В статье рассматривается специфика планировочной структуры исторических городов Сирии и их современные градостроительные проблемы на примере города Дамаск. Авторами исследования проведен ретроспективный анализ и выделены основные этапы исторического развития центральной части города Дамаск (римский, исламский, французский и современный), проведен сравнительный анализ этапности развития исторических городов Сирии - Алеппо и Латакии. Проанализирована планировочная структура исторического городского центра г. Дамаск, его современное расположение в структуре города, состояние объектов культурного наследия, а также транспортно-пешеходная доступность. В ходе анализа выявлен ряд градостроительных проблем, среди которых: распространение разрушений в структуре города, разрушение объектов культурного наследия, сформировавшаяся нелегальная жилая застройка, недостаточное количество зеленых зон, проблемы, связанные с транспортной инфраструктурой, предложены перспективные направления их решения.

Ключевые слова: исторические города, исторический центр города, объекты культурного наследия, нелегальная жилая застройка.

Введение. Одни города растут и расширяются, другие деградируют и исчезают, при этом градостроительное планирование является важнейшей основой, обеспечивающей устойчивое развитие населенных мест, а также доступ населения к социальной инфраструктуре. Значительное влияние на процессы градостроительного развития оказывает региональная специфика, которая включает в себя культурно-исторические, природно-климатические, этнографические и другие особенности территории. В процессе расширения и изменения планировочной структуры городов неизбежно возникают градостроительные проблемы, в том числе связанные с региональными характеристиками. Градостроительные проблемы являются результатом ряда нерациональных планировочных решений и негативного влияния комплекса внешних и внутренних факторов (внешнеэкономических, социальных, политических и др.). В данной статье авторами рассмотрены современные градостроительные проблемы в структуре исторической застройки городов Сирии на примере г. Дамаск.

В настоящее время население Сирии составляет 17 миллионов человек. Большая часть населения сосредоточена вдоль берегов Евфрата и на побережье Средиземного моря. Городское население Сирии составляет – 55 %, сельское – 45 %.

Политическая нестабильность в стране, усиленная боевыми действиями и внешним экономическим давлением в виде санкций, неизбежно повлекла за собой ухудшение состояния сирийской экономики, жилищного строительства и состояния городских территорий. Современная история еще не была свидетелем такого масштабного разрушения историко-культурного градостроительного наследия. Пострадавшие города, такие как Дамаск, Алеппо и Латакия, нуждаются в исследовании современного состояния их планировочной структуры с целью выявления степени разрушений и утраты городской идентичности. Необходимо проанализировать исторические основы планирования данных городов, характеристики и принципы организации их планировочной структуры для определения перспективных направлений ее восстановления и развития.

Целью настоящего исследования является анализ особенностей формирования исторической планировочной структуры г. Дамаск, оценка ее современных проблем и поиск возможных перспективных направлений их решения. *Объект исследования* – историческая городская застройка Сирии на примере г. Дамаск. Задачи исследования: 1) анализ этапов становления планировочной структуры исторических центров сирийских городов на примере городов Дамаск, Алеппо, Латакия; 2) выявление региональных

особенностей планировочной структуры крупных сирийских городов и анализ ее современного состояния на примере г. Дамаск; 3) выделение перспективных направлений восстановления планировочной структуры г. Дамаск.

Материалы и методы исследования: В исследовании проводился сравнительный анализ планировочной структуры группы древних сирийских городов, включая Дамаск, Латакию, Алеппо различных исторических периодов (римского, исламского, современного и др.); использованы методы ретроспективного анализа формирования планировочной структуры города Дамаск, картографический анализ, проводились исследования современного состояния планировочной структуры города Дамаск, а также анализ типологии и современного состояния объектов культурного наследия.

Современные проблемы реконструкции исторических городов отражены в трудах российских исследователей С.В. Семенцова, А.Г. Вайтенса, Х.Г. Надыровой, Ю.И. Курбатова. Особенности архитектуры исторических городов Сирии были рассмотрены в работах исследователей: М. Хомс, Аль-Хайс, С. Паванелло, С. Аль-Каттан, Н. Элкахлаут, Г. Якоби, Т. Баракат, С. Зик, С.А. Блэк., Р. Буссау., К. Брандиерс,

К. Одерматт, А. Бернс, А. Каин, Баннуд Г. Вопросы формирования архитектурной среды г. Дамаск освещены в исследованиях В.В. Мельник и Абас Х.С. Однако, современное состояние объектов культурного наследия крупных исторических городов Сирии и сохранность их планировочной структуры являются малоизученными на текущий момент времени. Существующие исследования г. Дамаск главным образом сосредоточены на истории его архитектурных памятников, а не на процессах формирования планировочной структуры и выявлении современных градостроительных проблем, что и обуславливает актуальность данного исследования.

Основная часть. Сирия расположена в географической зоне, важной с религиозной и коммерческой точек зрения. Первые сирийские города были основаны на Шелковом пути, а затем через них проходили паломнические маршруты в Иерусалим (рис. 1). Дамаск является одной из древнейших населенных столиц с момента его основания около 9000 г. до н.э. [1]. Город сформировался как крупный транспортный узел на стыке значимых торговых путей в Египет, Мекку и Вавилон [2]. В настоящее время в нем проживает около 5 миллионов человек.

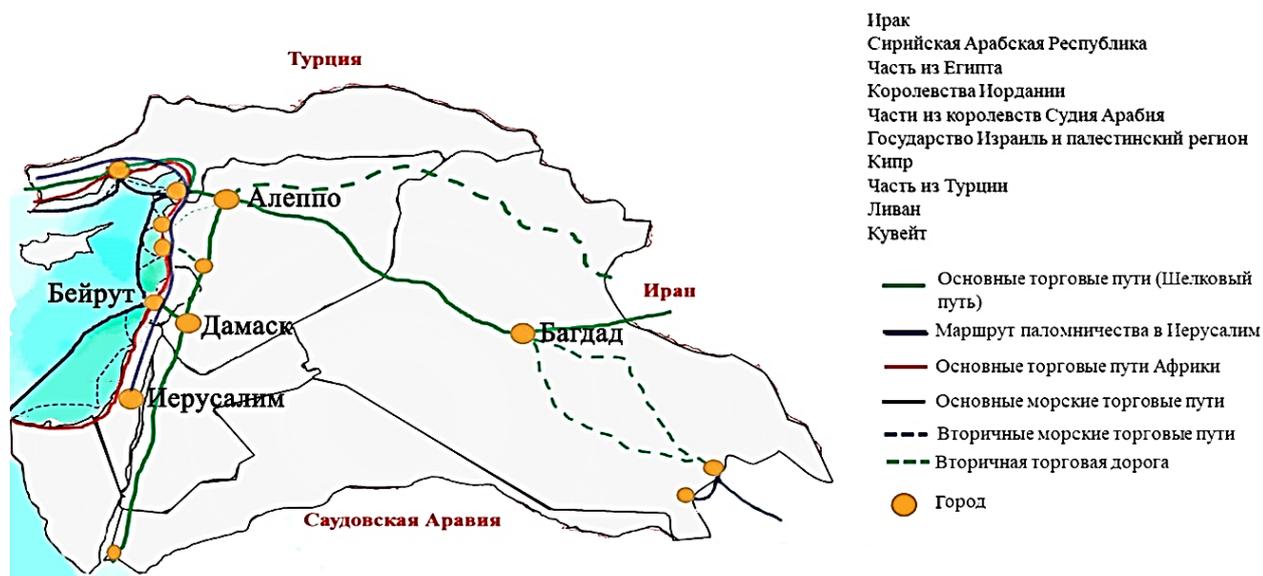


Рис. 1. Схема расположения исторических городов Сирии. Сост. А. Шиплей

Город Дамаск прошел множество исторических этапов развития. Первые сведения о Дамаске относятся к XV веку до нашей эры (рис. 2). Мы сосредоточились на наиболее важных периодах, которые в большей степени повлияли на формирование современной планировочной структуры города. В качестве наиболее значимых исторических этапов развития города выделяются: арамейский, эллинистический, римский, исламский, период французского мандата и современный периоды.

Арамейский период. Данный этап охватывает временные рамки с XII по VIII вв. до н.э., в этот период сформировались несколько арамейских царств, одним из которых стал Арам-Дамаск. Анализ градостроительного развития города Дамаск этого периода затрудняет недостаточность археологических данных для определения его точного местоположения. Несмотря на это имеются сведения, что он был расположен на местности в пределах «старого города». Предпо-

лагается, что арамейское поселение было расположено на возвышенной местности в восточной части на вершине холма в районе Баб Тоума (рис.3) [1, 2].

Эллинистический период (IV в. до н.э. и I в. н.э.). В эллинистический период планировочная структура города развивалась к северу от арамейского поселения (прилагается карта на рис. 2). В этот период происходит становление

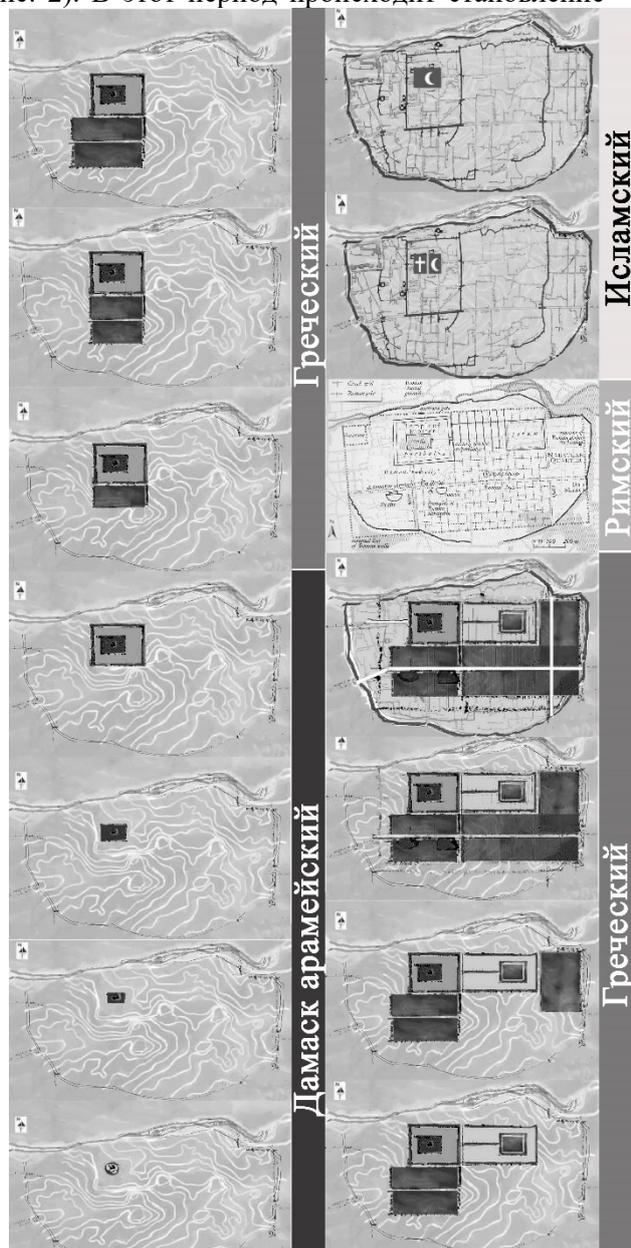


Рис.

2. Переодизация развития г. Дамаска от железного века до эллинистического периода. Сост. А. Шиплей

Римский период (I в до н.э – IV в. н.э.). В 64 году до н. э. римский полководец Гней Помпей присоединил город к Римской империи, здесь размещалась штаб-квартира римских легионов. Можно сказать, что город действительно расши-

градостроительной структуры Дамаска, определяется формирование его городского центра. Эллинистический период оказал значительное влияние на организацию архитектурной среды города, именно он отмечен началом развития прямоугольной сетки улиц и типологии общественных зданий, таких как храмы, театры, агоры и стадионы [3].

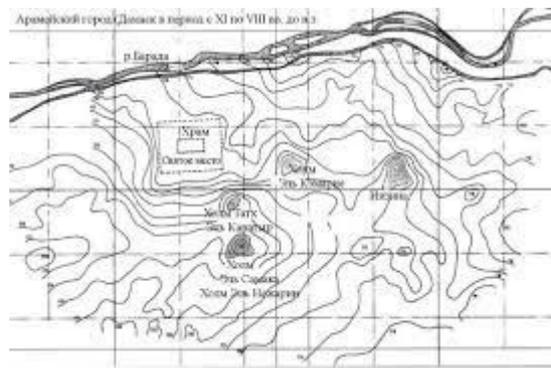


Рис. 3. Дамаск Арамейского периода (из архива Французского Центра Ближнего Востока в Дамаске (IFPO) под редакцией Абасс Х.С.

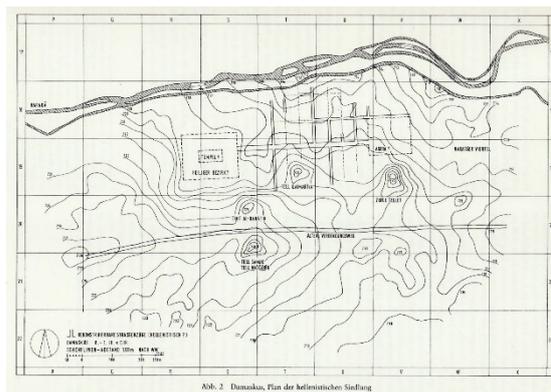


Рис. 4. Топография Дамаска эллинистического периода

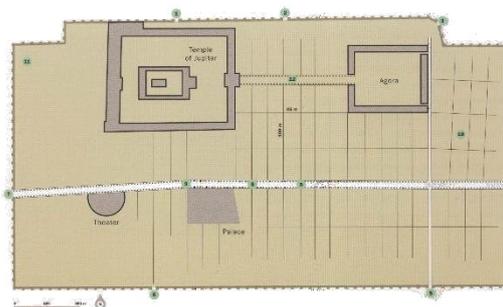


Рис. 5. План Дамаска эллинистического периода

рялся в римскую эпоху, когда была принята общая планировка: укрепленный город с прямоугольной сеткой улиц [4, 5, 6], и главной прямой улицей, обрамленной колоннадой и замыкающими воротами Баб Шарки, одними из семи ворот Дамаска (другие шесть ворот: Тума, Кисан,

аль-Джабия, аль-Салам, аль-Фарадис, аль-Сагир многократно перестраивались (рис. 6, рис. 7). Различные исторические события, в том числе и конфликты оказывали влияние на состояние планировочной структуры города и древних памятников архитектуры. Так, камни храма Юпитера использовались при строительстве древней церкви, строительные материалы которой впоследствии также использовались в здании мечети Омейядов. Храм Юпитера частично сохранился до наших дней: колонны, ворота и внешняя структура, однако состояние памятника в насто-

ящий момент времени ухудшился из-за отсутствия надлежащего содержания (рис.8, рис. 9).

Таким образом, планировочная структура Дамаска схожа со структурой других исторических городов Сирии, активно развивавшихся в римский период, таких как Латакия (Лаодика) и Алеппо (Парвайя). Планировка этих городов также представляет собой характерный каркас с прямоугольной сеткой улиц, идущих с одинаковым шагом [7] (рис. 10, рис. 11). Историческая регулярная планировка сохранилась в центральной части г. Алеппо до настоящего времени [8].

Римский период
Планировочная структура г. Дамаск

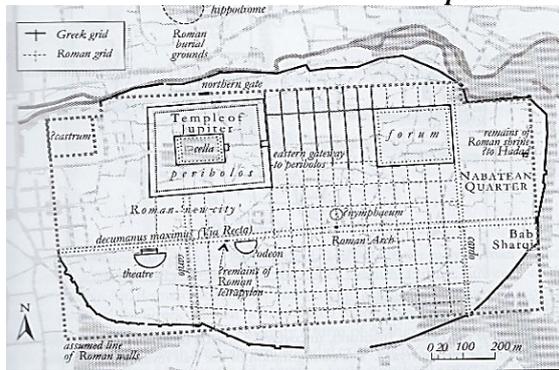


Рис. 6. План г. Дамаска в римский период [4]

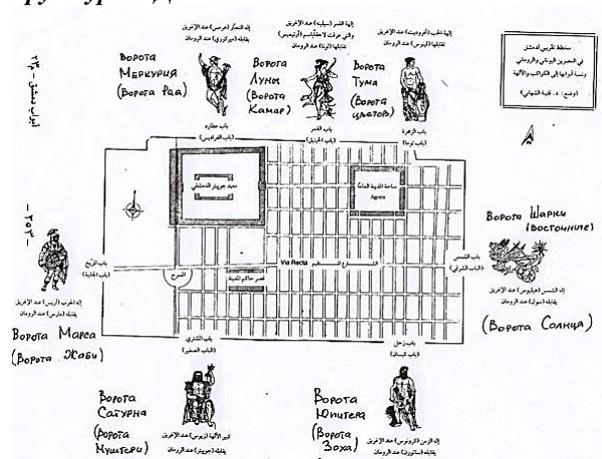


Рис. 7. Ворота Дамаска римского периода [5]

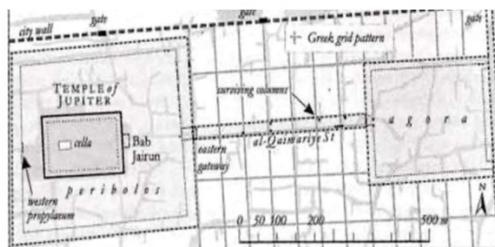


Рис. 8. Греческий храм Юпитера и карта улиц г. Дамаск. Из архива Французского Центра Ближнего Востока в Дамаске (IFPO) [6]
Планировочная структура г. Латакия



Рис. 10. План Латакии в римский период [7]



Рис. 9. Руины Храма Юпитера. Фото

Планировочная структура г. Алеппо

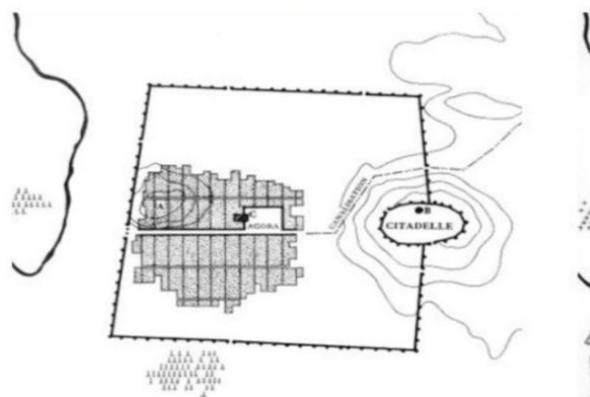


Рис. 11. План Алеппо в римский период [8]

Исламский период возможно подразделить на несколько этапов, начиная с 634 г. по 1920 г.: 1) период Омейядов; 2) период Аббасидов; 3) мамлюкский период; 4) османский период. В данные периоды в результате стремления к демографическому контролю над Дамаском начались первые этапы перенаселения. После чего город от прямоугольной сетки улиц перешел к нерегулярной планировочной структуре. Некоторые города, такие как Алеппо и Латакия, сохранялись в течение более длительного периода времени в регулярной планировочной структуре, рост их городской ткани происходил за пределами исторических центров.

Используемые планировочные приемы и архитектурные элементы (окна, двери и купола) в зданиях различной типологии (мечетях, домах, развлекательных заведениях, общественных банях, дворцах) различались, сохраняя при этом исламские черты (приватность планировки и растительные мотивы в декоративном убранстве). В рассматриваемые периоды мусульмане начинают селиться в городе и менять функциональное использование исторических зданий. Например, использование общественных зданий для жилья

вследствие перенаселения города в результате исламской иммиграции, а также разделение использования культовых зданий между этническими группами, что можно наблюдать на примере Церкви Иоанна Крестителя, которая была разделена на две части между мусульманами и христианами.

Период Омейядов (634 и 750 гг.) можно рассматривать как этап разрушения регулярной планировочной структуры города и формирования сети расчлененных извилистых улиц. Еще одной характерной особенностью данного периода является формирование жилых кварталов по этнической принадлежности (рис. 12) [9].

В архитектуре периода Омейядов широко применялись традиции ближневосточных цивилизаций и византийской империи, но также использовались новые типы зданий, такие как мечети с михрабами и минаретами. В 706–715 гг. халифом аль-Валидом I была возведена Великая мечеть Дамаска. Великая мечеть была построена в районе римских храмов первого столетия. Внешние стены более раннего здания, храма Юпитера, а затем и церкви, были сохранены, интерьер был полностью изменен.

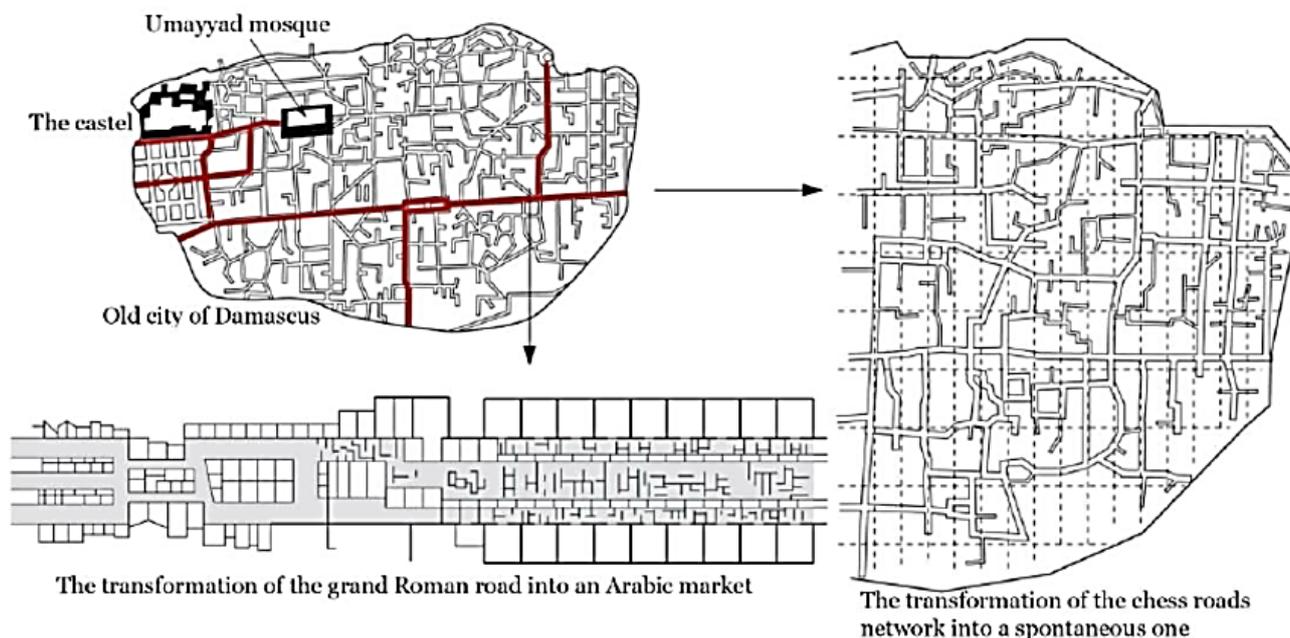


Рис. 12. План Дамаска в исламский период. Сост. Хасан Мансур [9]

Период Аббасидов охватывает временные рамки 750–1250 гг. На данном этапе можно наблюдать те же направления градостроительных изменений, которые были характерны для эпохи Омейядов, но с большим отличием, поскольку Аббасиды в восточной части Сирии, которая в настоящее время является территорией Ирака, построили город Багдад, ставший новой столицей (рис. 13) [10]. Город был сформирован на плодородной местности на международном торговом пути Шелковый путь. Также был возведен сирийский город Ракка, чтобы соединиться с

городом Алеппо и его портом (рис. 14) [11, 12]. Миграция в города Багдад и Ракка сформировала их рост, но Дамаск, Алеппо, Хомс и Иерусалим не утратили своего значения. Дамаск оставался важным религиозным и экономическим центром на торговых путях, а мечети, церкви и первые исламские школы оставались центрами привлечения иммигрантов. Для зданий периода Аббасидов, таких как дворцы и мечети, характерны крупные масштабы и расширенные пространства по сравнению со зданиями периода Омейядов. Среди отличительных архитектурных элементов

периода Аббасидов выделяются архитектурные формы, такие как «луки» (арки периода Аббасидов) декоративные арки «раскол», декоративные ниши (рис.15, рис. 17–18) [13, 14].

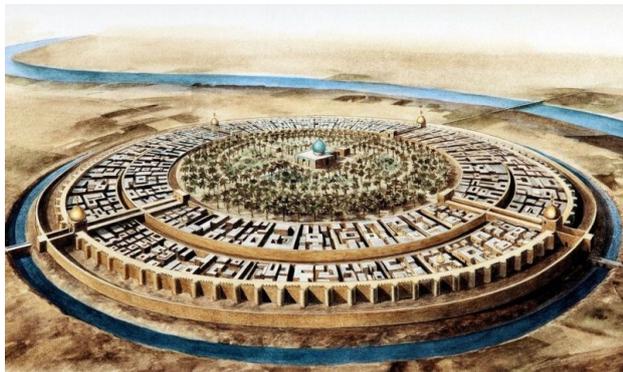


Рис. 13. Город Багдад X век, период Аббасидов [10]

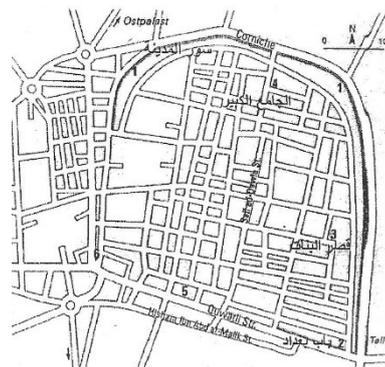


Рис. 14. Рака (Рафика) – модель города Аббасидов в Сирии [11]

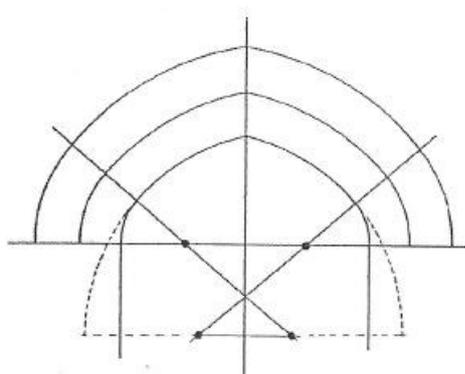


Рис. 15. Арка периода Аббасидов

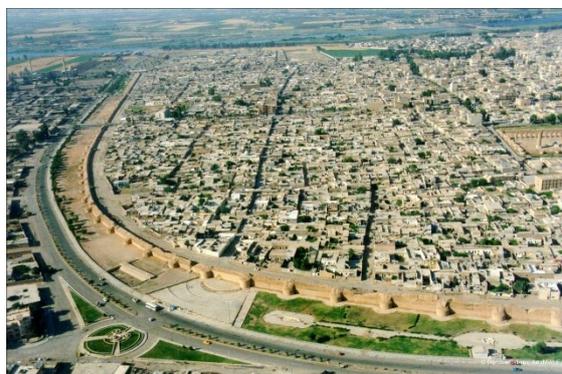


Рис. 16. Стена старой Раки [12]



Рис. 17. Бимаристан Нур ад-Дина в Дамаске, внутренний двор [13]



Рис. 18. Мотивы Аббасидов во дворцах [14]

Мамлюкский период (1250–1517 гг.). Мамлюкская архитектура была расцветом исламского искусства во времена правления Султаната Мамлюка. Архитектура Мамлюка представлена в религиозных зданиях, таких как мечети (рис. 19–21), школы и ханки, а также в гражданской и жилой архитектуре: дворцы, частные дома, общественные учреждения и больницы [15, 16, 17]. Хотя архитектура Мамлюка была результатом направления, возникшего до этой эпохи,

она характеризовалась зрелостью декоративного убранства и использованием камня, кирпича и мраморного декора с повышенным интересом к стилю оформления колонн из мрамора и гранита, а также успешным использованием древних колонн в своих постройках. Среди старейших примеров гражданской архитектуры – дворцы Айюбид, дворец Аль-Эйр в замке и дворец Наджм ад-Дин на острове Эр-Рауда.

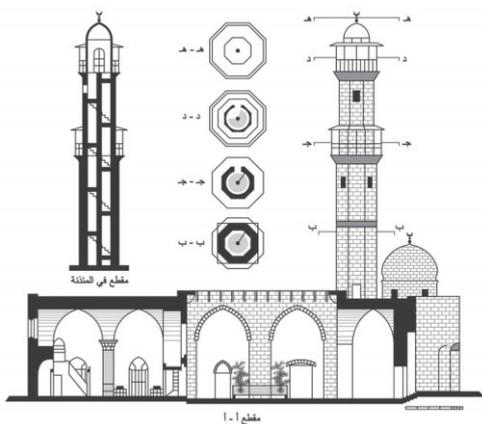


Рис. 19. Мечеть Аль-Атруш, разрез [19]

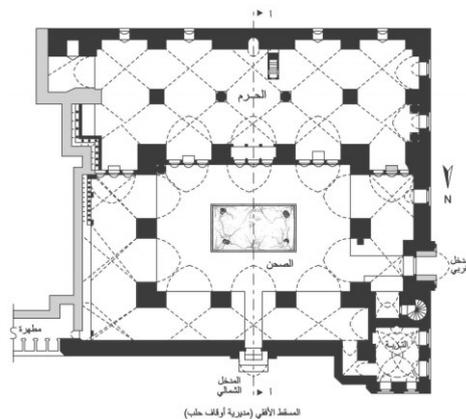


Рис. 20. Мечеть Аль-Атруш, план [15]

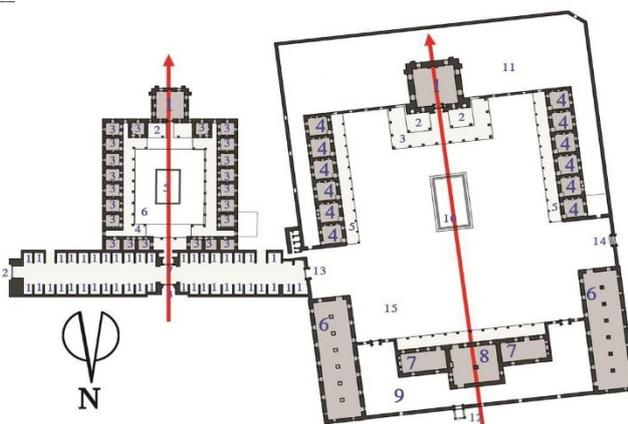


Рис. 21. Мечеть Такие Сулеймания в Дамаске [16], [17]

Османский период (1516–1920 гг.). Османская архитектура возникла из традиций, унаследованных от Византии и территории Леванта и Египта. Османские здания, особенно мечети, характеризовались массивным внешним видом и включали в свою композицию множество куполов и полукуполов, обернутых вокруг центрального купола, крупные окна, а также опоры стен, минареты преимущественно цилиндрической формы, вертикальные канавки.

Османский период в истории Дамаска отмечен стремительным расширением пригородных зон. Район Майдан, расположенный на юге, близ старого города входит в состав Дамаска в качестве жилого пригорода. Последние 60 лет Османского периода представляют собой этап реорганизации планировочной структуры города. В конце XIX в. планировочная структура Дамаска становилась менее плотной за счет развития новых пригородных территорий с широкими улицами и парковыми зонами (рис. 21).



Рис. 21. Направление расширения кварталов Дамаска вне стен. Сост. А. Шиплей

Период Французского Мандата (1920–1946 гг.). Французский мандат начал свое действие после Первой мировой войны и распада Османской империи и распространялся на территорию современных государств Ливан, Сирия и современной территории Турции. Французский мандат стал новым этапом развития архитектуры и градостроительства в Сирии, соединившим в себе региональные традиции и тенденции европейской архитектуры. Рассматриваемый период в Дамаске характеризуется продолжающимся расширением городской ткани, началом анализа состояния сирийских городов, попытками отменить принцип закрытых микрорайонов («малые форты»), где одна характеристика контролирует жилой район, например, этническая либо религиозная характеристика населения. В этот период градостроителями было изучено расширение го-

рода Дамаска как экономического коммерческого центра и предприняты попытки восстановления статуса города как крупного транспортного узла, возобновления контроля над транспортными маршрутами, были построены новые международные магистрали, связывающие Дамаск с Багдадом, Бейрутом и Иерусалимом. Французский период характеризуется также строительством дорог в исторических кварталах в военных и туристических целях, организацией новой застройки с регулярной прямоугольной сеткой улиц. Часть исторических зданий была восстановлена и использована для проживания армейских офицеров и армейских постов [18].

В целом можно сказать, что Французский Мандат явился новым этапом развития градостроительства Дамаска, который привнес множество изменений в формирование архитектурной среды города.

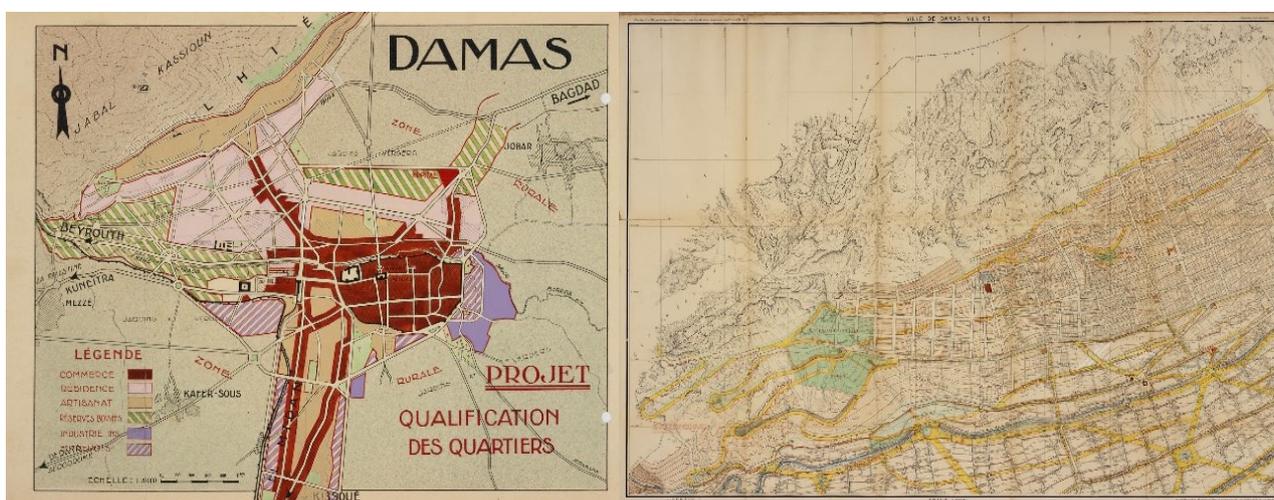


Рис. 24. План развития Дамаска 1936 г.:

- 1 – торговля; 2 – резиденция; 3 – зона искусства и ремесла; 4 – лесные заповедники; 5 – промышленность; 6 – рекреационная зона [18]

Современный период (1946 г. – по н.в.). Создание независимого сирийского государства (1946 г.) стимулировало рост строительства. В 1950-х гг. – 1970-х гг. XX в. архитектура и планировочная структура Дамаска отвечала требованиям современного общества. Однако, в настоящее время градостроительная ситуация демонстрирует крупные разрушения и потери городской идентичности, обусловленные повторяющимися военными действиями и ошибками городского управления, которые со временем привели к разрушению градостроительной ткани [19]. Анализируя современную ситуацию, мы можем выделить условное разделение города Дамаск на две части: «старый город» и «новый город». «Новый город» в свою очередь также разделен на множество частей - которые геометрически организованы в виде радиально-кольцевой

структуры, а другая часть представляет собой хаотичную застройку, которая сформировалась в городе и пригородной зоне. Историческая часть города в настоящее время представляет собой плотную застройку, в ней по большей части отсутствуют открытые общественные пространства, за исключением пространств, прилегающих к зданию мечети Омейядов, остаткам исторических ворот и части стены. Использование исторических зданий воюющими сторонами в качестве военного центра привело к широкомасштабным разрушениям памятников архитектуры в исторических районах, которые могут быть подразделены на: частичное разрушение исторических зданий (здания может быть отреставрировано) и непоправимое полное разрушение. В тоже время стремительный рост города в современный период привел к распространению незаконной жилой застройки.

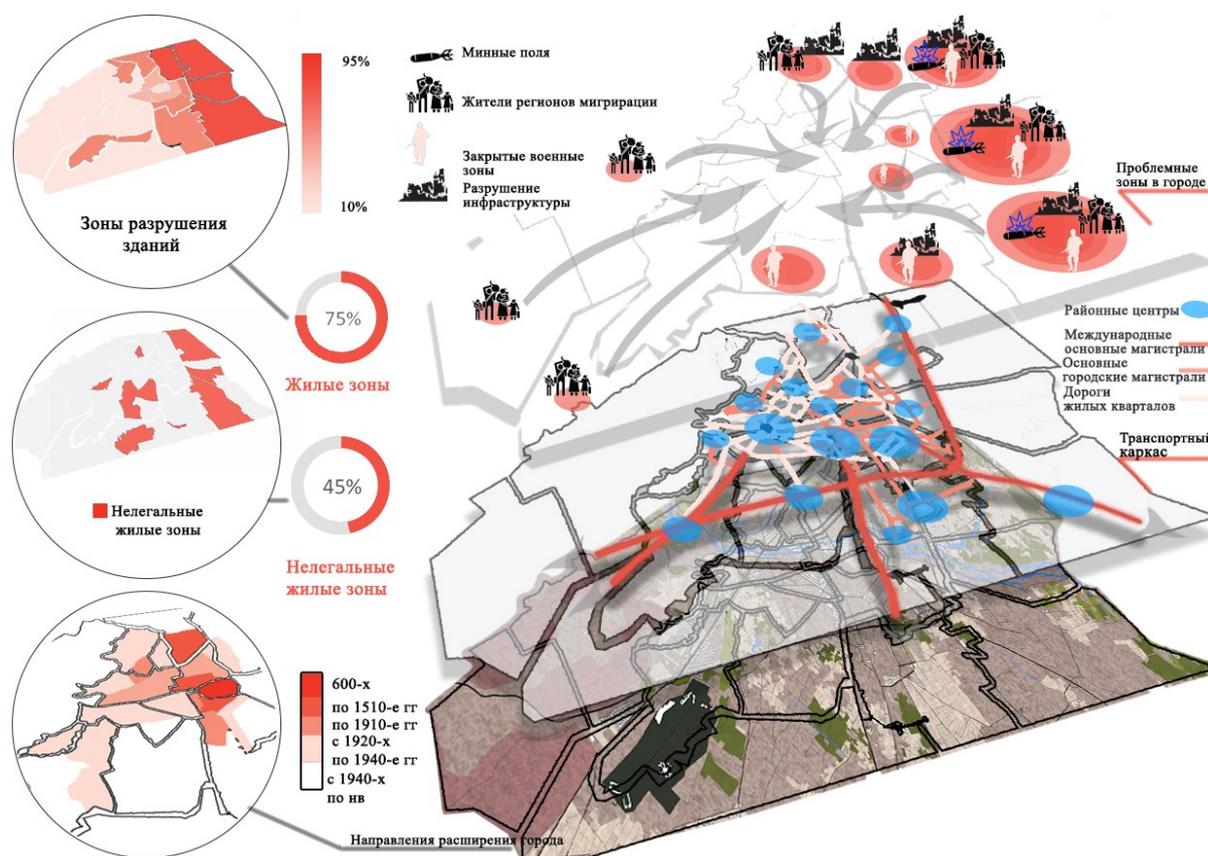


Рис. 25. Анализ современного состояния планировочной структуры Дамаска. Сост. А. Шиплей

В ходе анализа современного состояния планировочной структуры г. Дамаск были выявлены следующие виды градостроительных проблем.

Проблемы планировочной структуры города:

- распространение разрушений по городу в целом (различные уровни разрушений, более 40 000 поврежденных зданий);
- недостаточное количество открытых общественных пространств;
- распространение военных пунктов в пределах города (военная автомобильная техника наносит ущерб археологическим объектам).

Землепользовательские проблемы:

- близкое расположение промышленных и гражданских зон;
- распространение незаконных жилых образований;
- недостаток жилых зон.

Проблемы в структуре исторического каркаса города:

- разрушение объектов культурного наследия;
- распространение туннелей под историческими зданиями в результате нелегальных раскопок, что приводит к ослаблению фундаментов зданий;
- отсутствие культуры реставрации объектов культурного наследия и региональных научно-обоснованных принципов реставрации;

– наличие диссонирующих объектов в структуре исторической застройки;

– несоответствие обслуживания объектов культурного наследия (например, использование строительных материалов, не соответствующих оригинальным).

Проблемы природного каркаса территории:

- недостаток зеленых зон;
- низкий уровень реки Барада и деградация прибрежной территории.

Проблемы транспортного и пешеходного движения:

- недостаточное количество пешеходных переходов;
- нехватка парковочных мест.

Управленческие проблемы:

- отсутствие последовательной политики в области городского планирования.

В качестве перспективного направления восстановления планировочной структуры сирийских исторических городов возможно прежде всего обозначить восстановление их историко-культурного каркаса. Реставрацию, восстановление, в некоторых случаях воссоздание объектов культурного наследия и их адаптацию к современным функциям. Необходимо восстановление и развитие пешеходной инфраструктуры, организация открытых общественных пространств и зеленых зон. На примере г. Дамаск выделяется про-

блема распространения незаконных жилых образований, требующих легализации, в некоторых случаях – расселения [20].

Вывод. Сирийские исторические города входят в число древнейших городов мира. Военные действия способствовали изменению планирования этих городов и слабому правительственному контролю над несанкционированными расширениями. В современный период планировочная структура древнейшего исторического города Дамаск была подвержена разрушению и нуждается в реконструкции и восстановлении, с учетом региональных исторических особенностей и потребностей местного населения. В ходе анализа современного состояния городской ткани выделяется ряд основных существенных градостроительных проблем, среди которых: планировочные; землепользовательские; проблемы, связанные с необходимостью восстановления исторического каркаса города; проблемы природного каркаса; организации транспортного и пешеходного движения, а также проблемы управленческого характера. Исходя из этого в качестве перспективных направлений восстановления развития планировочной структуры г. Дамаск могут рассматриваться: реконструкция и восстановление разрушенных зданий и с формированием дополнительных открытых общественных пространств и зеленых зон, взятие под контроль незаконных жилых образований, планирование жилых зон с повышением этажности и уменьшением площади квартир.

Еще одним перспективным направлением градостроительного развития Дамаска является восстановление коммерческих функций за счет сосредоточения внимания на торговых зонах и транспортных маршрутах (организация пешеходного движения и дополнительных парковочных мест).

Важнейшим этапом развития планировочной структуры города является восстановление его историко-культурного каркаса, включающее реконструкцию зданий в историческом центре города, снос незаконных построек в исторических районах и превращение их в центры туристического притяжения. Восстановление исторических районов должно вестись с учетом специфики местности, необходима разработка региональных научно-обоснованных принципов реставрации объектов культурного наследия и организации прилегающих к ним пространств. Реставрация исторических зданий должна осуществляться в соответствии с Венецианской хартией от 1964 г, что включает не только историческое здание, но и окружающее пространство (здания являются частью их окружения). Возвраще-

ние старому Дамаску роли исторического, религиозного и туристического центра является приоритетным направлением развития города, поскольку он содержит объекты культурного наследия мирового значения и обладает значительным потенциалом для развития культурно-познавательного туризма.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ibesch A., Hajjar I. Damascus Levant: The story of 9000 years of civilization. Daaboul Industrial Group. 2008. 496 p.

2. Абасс Х.С. Исторические периоды формирования и особенности архитектурно-градостроительной системы Дамаска (XI в. до н. э.–XIX в. н. э.) // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2019. № 12. С. 77–84. doi:10.34031/2071-7318-2019-4-12-77-84.

3. Abass H., Perkova M.V., Kolesnikova L.I. Architectural features of ancient Damascus // Research Journal of Applied Sciences. 2015. Vol. 10, № 10. Pp. 706–713. doi:10.3923/rjasci.2015.706.713.

4. Burns R. Damascus: A History (Cities of the Ancient World). London. Routledge. 2019. 438 p.

5. Мельник В.В. Особенности архитектуры древнего Дамаска // Архитектон: известия вузов. 2007. №1(17). URL: http://archvuz.ru/2007_1/9 (дата обращения 10.09.2022).

6. Шахин Н.К. Особенности развития городской жилой среды города Дамаска (Сирия) // Особенности развития региональной архитектуры: сборник материалов международной научно-практической конференции, Брест, 14–15 декабря 2020 г. / Министерство образования Республики Беларусь, Брестский государственный технический университет, Кафедра архитектуры; редкол.: Н. Н. Шалобыта [и др.]. Брест: БрГТУ, 2020. С. 182–189.

7. Kader I. Propylon und Bogentor. Untersuchungen zum Tetrapylon von Latakia und anderen frühkaiserzeitlichen Bogenmonumenten im nahen Osten. Damaszener Forschungen, Band 7. Hrsg.: Deutsches Archäologisches Institut, Orient-Abteilung. 1996. 208 p.

8. Баннуд Г. Этапы исторического развития планировочной системы г. Алеппо // Вестник гражданских инженеров. 2018. №. 1(66). С. 5–9. doi:10.23968/1999-5571-2018-15-1-5-9.

9. Mansour H. The lost identity of the city: The case of Damascus / CITTA 8th ANNUAL CONFERENCE ON PLANNING RESEARCH / AESOP TG Public Spaces & Urban Cultures. 2015. Vol. 8. Pp. 1–21. URL: <https://researchgate.net/publica>

tion/286252741_The_lost_identity_of_the_city_The_case_of_Damascus (дата обращения 10.09.2022).

10. Marozzi J. Story of cities #3: the birth of Baghdad was a landmark for world civilizations. URL: <https://www.theguardian.com/cities/2016/mar/16/story-cities-day-3-baghdad-iraq-world-civilisation>, 2016 (дата обращения 10.09.2022).

11. Heidemann S. The history of the industrial and commercial area of (Abbarsid Al-Raqqā, called Al-Raqqā Al-MuhDтариqā). Bulletin of the School of Oriental and African Studies. 2006. № 69(1). Pp. 33–52. doi:10.1017/S0041977X06000024.

12. Daiber V. City walls of Rafiqa (Raqqā) and the Baghdad Gate. URL: http://islamicart.museumwnf.org/database_item.php?id=monument;ISL;sy;Mon01;29;en (дата обращения 10.09.2022).

13. Eyad. Bimarstan al nuri in Damascus, photo URL: <https://www.marefa.org/%D9%85%D9%84%D9%81:Bymarstan.jpg> (дата обращения 10.09.2022).

14. Tabbā Y. The Production of Meaning in Islamic Architecture and Ornament. Edinburgh University Press. 2021. 536 p. doi: 10.3366/edinburgh/9781474482189.001.0001.

15. Ghazwan Y. Monuments of Islamic Civilization in Syria. The Islamic Education, Sciences & Culture Organization. Morocco. 2011. 63 p.

16. Baladi E. A project of the Ministry of Tourism worth one billion pounds to restore the “Suleimaniyah Tekkeh” in Damascus. 2016. URL: <https://www.enabbaladi.net/archives/98403#ixzz6utiile71> (дата обращения 10.09.2022).

17. Ahmad Al-Muhammad. An Archaeological Origin Study, Sulaymaniyah Hospice as a Model, 2017. URL: <http://ahmadarrawi.blogspot.com/2017/05/blog-post.html> (дата обращения 10.09.2022).

18. Écochard M. Development Plan for Damascus copyright Aga Khan Trust for Culture. 1936. URL: https://arch-net.org/sites/10303/media_contents/95409 (дата обращения 10.09.2022).

19. Шиплей А. Влияние военных конфликтов на градостроительное развитие городов Сирии // Сборник трудов XIII Международного молодежного форума «Образование. Наука. Производство». Издательство: БГТУ им. В.Г. Шухова. Белгород. 2021. С. 359–362

20. Альмасри А. Периодизация формирования нелегальной жилой застройки г. Дамаска // Сборник докладов Национальной конференции с международным участием «Международная научно-техническая конференция молодых ученых БГТУ им. В.Г. Шухова, посвященная 300-летию Российской академии наук. Том Часть 1. Белгород. 2022. С. 29–33.

Информация об авторах

Ладик Елена Игоревна, кандидат архитектуры, доцент высшей школы дизайна и архитектуры, доцент кафедры архитектуры и градостроительства. E-mail: krushelnitskaya.lena@yandex.ru. Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого. Россия, 195251, Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д. 29. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Шиплей Амин, аспирант. E-mail: shipleu.amin@mail.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Поступила 03.03.2023 г.

© Шиплей А., Ладик Е.И., 2023

^{1,*}Shipleu A., ^{1,2}Ladik E.I.

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

²Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University

*E-mail: Shipleu.amin@mail.ru

REGIONAL FEATURES AND CURRENT STATUS OF HISTORICAL DEVELOPMENT OF SYRIAN CITIES (ON THE EXAMPLE OF DAMASCUS)

Abstract. In the modern period, the cities of Syria are faced with unprecedented destruction of historical buildings due to military operations in the country. In this regard, it is important to study the historical cities of Syria, the current state of the urban environment in order to determine the promising directions and principles for its restoration, considering regional characteristics. The article discusses the specifics of the planning structure of the historical cities of Syria and their modern urban planning issues on the example of the

city of Damascus. The authors carries out a retrospective analysis and identifies the main stages of the historical development of the central part of the city of Damascus (Roman, Islamic, French and modern), conducted a comparative analysis of the development stages of the historical Syrian cities of Aleppo and Latakia. The planning structure of the historical city center, its current location in the city structure, the state of cultural heritage sites, as well as transport and pedestrian accessibility are analyzed. The analysis revealed a number of urban planning problems, including: the spread of destruction in the structure of the city, the destruction of cultural heritage sites, the formed illegal residential development, the insufficient number of green areas in the central part of the city, problems associated with transport infrastructure, etc., promising directions for their solutions are proposed.

Keywords: *historical cities, historical city center, cultural heritage sites, illegal residential development*

REFERENCES

1. Ibesch A., Hajjar I. Damascus Levant: The story of 9000 years of civilization. Daaboul Industrial Group. 2008. 496 p.
2. Abass H. Historical periods of formation and features of the architectural and urban planning system of Damascus (XI century BC - XIX century AD) [Istoricheskie periody formirovaniya i osobennosti arhitekturno-gradostroitel'noj sistemy Damaska (XI v. do n. e. – XIX v. n. e.)]. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2019. No. 12. Pp. 77-84. doi:10.34031/2071-7318-2019-4-12-77-84 (rus)
3. Abass H., Perkova M.V., Kolesnikova L.I. Architectural features of ancient Damascus. Research Journal of Applied Sciences. 2015. Vol. 10. No. 10. Pp. 706–713. doi:10.3923/rjasci.2015.706.713.
4. Burns R. Damascus: A History (Cities of the Ancient World). London. Routledge. 2019. 438 p.
5. Melnik V.V. Features of the architecture of ancient Damascus [Osobennosti arhitektury drevnego Damaska]. Architecton: Proceedings of Higher Education. 2007. No. 1(17). URL: http://archvuz.ru/2007_1/9 (accessed 10.09.2022). (rus)
6. Shahin N.K. Features of the development of the urban residential environment of the city of Damascus (Syria) [Osobennosti razvitiya gorodskoj zhiloy sredy goroda Damaska (Siriya)]. Features of the development of regional architecture: collection of materials of the international scientific and practical conference, Brest, December 14–15, 2020 / Ministry of Education of the Republic of Belarus, Brest State Technical University, Department of Architecture; editorial board: N.N. Shalobyta [and others]. Brest: BrGTU, 2020. Pp. 182–189. (rus)
7. Kader I. Propylon und Bogentor. Untersuchungen zum Tetracylon von Latakia und anderen frühkaiserzeitlichen Bogenmonumenten im nahen Osten. Damaszener Forschungen, Band 7. Hrsg.: Deutsches Archäologisches Institut, Orient-Abteilung. 1996. P. 208.
8. Bannood G. Stages of the historical development of the planning system of Aleppo [Etapy istoricheskogo razvitiya planirovochnoj sistemy g. Aleppo]. Bulletin of Civil Engineers. 2018. No. 1(66). Pp. 5–9. doi:10.23968/1999-5571-2018-15-1-5-9 (rus)
9. Mansour H. The lost identity of the city: The case of Damascus / CITTA 8th ANNUAL CONFERENCE ON PLANNING RESEARCH / AESOP TG Public Spaces & Urban Cultures. 2015. Vol. 8. P. 21. URL: https://researchgate.net/publication/286252741_The_lost_identity_of_the_city_The_case_of_Damascus (accessed 10.09.2022).
10. Marozzi J. Story of cities #3: the birth of Baghdad was a landmark for world civilizations. URL: <https://www.theguardian.com/cities/2016/mar/16/story-cities-day-3-baghdad-iraq-world-civilisation,2016> (accessed 10.09.2022).
11. Heidemann S. The history of the industrial and commercial area of (Abbarsid Al-Raqqa, called Al-Raqqa Al-MuhDtariqa). Bulletin of the School of Oriental and African Studies. 2006. No. 69(1). Pp. 33–52. doi: 10.1017/S0041977X06000024.
12. Daiber V. City walls of Rafiqa (Raqqa) and the Baghdad Gate. URL: http://islamicart.museumwnf.org/database_item.php?id=monument;ISL;sy;Mon01;29;en (accessed 10.09.2022).
13. Eyad. Bimarstan al nuri in Damascus, photo URL: <https://www.marefa.org/%D9%85%D9%84%D9%81:Bymarstan.jpg> (accessed 10.09.2022).
14. Tabbaa Y. The Production of Meaning in Islamic Architecture and Ornament. Edinburgh University Press. 2021. 536 p. doi:10.3366/edinburgh/9781474482189.001.0001
15. Ghazwan Yaghi. Monuments of Islamic Civilization in Syria. The Islamic Education, Sciences & Culture Organization. Morocco. 2011. P. 63.
16. Baladi E. A project of the Ministry of Tourism worth one billion pounds to restore the “Suleimaniyah Tekkeh” in Damascus. 2016. URL: <https://www.enabbaladi.net/archives/98403#ixzz6utiile71>
17. Ahmad Al-Muhammad. An Archaeological Origin Study, Sulaymaniyah Hospice as a Model, 2017. URL: <http://ahmadarrawi.blogspot.com/2017/05/blog-post.html> (accessed 10.09.2022).

18. Écochard M. Development Plan for Damascus copyright Aga Khan Trust for Culture. 1936. URL: https://arch-net.org/sites/10303/media_contents/95409 (accessed 10.09.2022).

19. Shipley A. The influence of military conflicts on the urban development of Syrian cities [Vliyaniye voennykh konfliktov na gradostroitel'noe razvitiye gorodov Sirii]. Proceedings of the XIII International Youth Forum "EDUCATION. THE SCIENCE. PRODUCTION". Publisher: BSTU named

after V.G. Shukhov. Belgorod. 2021. Pp. 359–362. (rus)

20. Almasri A. Periodization of the formation of illegal residential development in Damascus [Periodizatsiya formirovaniya nelegal'noj zhiloz zastrojki g. Damaska]. Collection of reports of the National Conference with international participation "International Scientific and Technical Conference of Young Scientists of BSTU named after V.G. Shukhov, dedicated to the 300th anniversary of the Russian Academy of Sciences. Volume Part 1. Belgorod. 2022. Pp. 29–33. (rus)

Information about the authors

Ladik, Elena I. PhD. E-mail: krushelnitskaya.lena@yandex.ru. Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University. Russia, St. Petersburg, 195251, Polytechnicheskaya St. 29. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Shipley, Amin. Graduate student. E-mail: shipley.amin@mail.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Received 03.03.2023

Для цитирования:

Шиплей А., Ладик Е.И. Региональные особенности и современное состояние исторической застройки сирийских городов (на примере г. Дамаск) // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2023. № 5. С. 92–104. DOI: 10.34031/2071-7318-2023-8-5-92-104

For citation:

Shipley A., Ladik E.I. Regional features and current status of historical development of syrian cities (on the example of Damascus). Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2023. No. 5. Pp. 92–104. DOI: 10.34031/2071-7318-2023-8-5-92-104

DOI: 10.34031/2071-7318-2023-8-5-105-116

Банникова Л.А.

Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина

E-mail: bannikovalar@gmail.com

ПРОСТРАНСТВЕННАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ УЧАСТКА УЛИЦЫ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ХАРАКТЕРА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

Аннотация. Данная статья посвящена вопросу оптимизации поперечного профиля улиц крупнейших городов с целью создания комфортной городской среды. Актуальность темы обусловлена переосмыслением роли улично-дорожной сети городов и трансформация их из зоны перемещения в общественное пространство и места средоточия городской жизни. В статье приведен анализ нормативной литературы и исследований по теме проектирования и размещения элементов поперечного профиля. Описаны результаты натурного обследования и градостроительного анализа улиц Екатеринбурга, проведенных с целью выявления проблем современной улично-дорожной сети крупнейшего города и фактического распределения пространства улиц между пользователями. Приведены основные пользователи улиц крупнейшего города и требования к элементам поперечного профиля. Предложен подход к реорганизации пространства улиц через присвоение «индекса важности» пользователей, в соответствии с которым предусматриваются элементы поперечного профиля. «Индекс важности» представляет собой характеристику использования участка улицы конкретным пользователем. Описаны критерии, по которым определяется «индекс важности» каждой группы пользователей участка улицы. В заключительной части приведен один из поперечных профилей, разработанный для Екатеринбурга с использованием описанного подхода, а также апробация данного исследования в процессе работы над Стандартом комплексного благоустройства улично-дорожной сети Екатеринбурга.

Ключевые слова: улично-дорожная сеть, поперечный профиль, пользователи участка улицы, общественное пространство, комфортная городская среда.

Введение. В настоящее время все крупнейшие города Российской Федерации ставят перед собой стратегическую задачу создания комфортной городской среды. Количественно решение этой задачи можно оценить с помощью Методики формирования индекса качества городской среды, утвержденной распоряжением Правительства Российской Федерации от 23 марта 2019 года N 510-р. Качественно же каждый город формулирует эту задачу по-разному. Новосибирск описывает ее как «улучшение качества городской среды, развитие дорожной сети и транспортной системы» [1], Екатеринбург как «эффективное, рациональное и бережливое использование городского пространства, приоритет комфортного городского транспорта, создание системы качественных общественных пространств» [2], Казань – как «комфортные условия для жизни, здоровая окружающая среда, наличие зеленых и иных общественных пространств, безопасность» [3], Нижний Новгород – «формирование общегородской системы озеленения и рекреации» [4], Челябинск – «создание комфортной городской среды и удобного общественного транспорта» [5]. Необходимость создания системы рекреационных общественных пространств звучит в каждом стратегическом документе.

Стратегические цели объединяет с одной стороны задача по совершенствованию системы

общественного транспорта и системы перемещений, с другой – комфортная городская среда и система рекреационных общественных пространств, важной составляющей которой являются связи, представленные в структуре города улично-дорожной сетью. Таким образом, улица перестает быть территорией транзита и трансформируется в общественное пространство. Положительный результат может быть достигнут только при учете интересов всех пользователей пространства улицы путем обеспечения безопасного и комфортного расположения элементов поперечного профиля.

Вопросами преобразования пространства улиц занимались многие ученые. Наиболее известными зарубежными авторами, изучающими транспортные аспекты устойчивого и комфортного города, являются Вукан Вучик [6], Ян Гейл [7] и Джеф Спек [8]. Среди российских ученых в последние годы, помимо технических параметров, рассматриваются философский аспект транспортных проблем модернизации городского пространства [9], визуальный аспект городского пространства с точки зрения городской идентичности [10], объектное наполнение и рекомендации по организации пространства улицы, не занятого зоной транзитного движения транспорта [11].

Объектом данного исследования является поперечный профиль участка улицы. Цель исследования – определение оптимального наполнения и пространственной организации элементов поперечного профиля в зависимости от характера использования участка улицы различными группами пользователей.

Для выявления текущих проблем и особенностей наполнения элементами поперечного профиля улиц крупнейшего города было проведено натурное обследование улично-дорожной сети Екатеринбурга, по итогам которого можно сделать следующие выводы:

1. транзитное движение личного транспорта по участкам улиц, не предназначенных для обслуживания транзита, приводит к транспортным заторам и увеличению интенсивности движения, что, в свою очередь, требует увеличения количества полос проезжей части, занимая пространство улицы;

2. ширина полос движения транспорта на улицах города избыточна, что провоцирует нарушение скоростного режима и не позволяет использовать пространство улицы более эффективно для комфорта и безопасности всех групп пользователей;

3. полосы для движения общественного транспорта имеют фрагментарное обособление, что приводит к его неэффективной работе вследствие задержек на не обособленных участках;

4. существующая сеть велодорожек фрагментарна и не позволяет организовать движение велосипедистов между центром города и крупными районами города в режиме «дом-работа» и в рекреационных целях;

5. отсутствия единых требований к размещению велодорожек и велополос в поперечном профиле улиц приводит к возникновению конфликтных ситуаций между велосипедистами и другими группами пользователей улицы;

6. большое количество препятствий на пути движения пешеходов в виде опор освещения, рекламных конструкций, станций проката самокатов и велопарковок приводит к непрямолинейности пути и нарушению условий безопасности движения;

7. единая разрешенная скорость движения на улицах разных категорий и отсутствие планировочных мероприятий по снижению скорости движения снижает комфорт и безопасность всех групп пользователей;

8. отсутствия интеллектуальной системы обеспечения приоритетного проезда перекрестков на сети общественного транспорта приводит к задержкам движения перед перекрестками;

9. существующее высотное и планировочное решение остановочных пунктов общественного

транспорта в поперечном профиле и на плане участка улицы приводит к задержкам при посадке-высадке пассажиров.

Указанные выше проблемы можно разделить на два блока – административно-технологические и планировочные. Приведенное исследование направлено на решение планировочных проблем путем разработки мероприятий по оптимизации элементов поперечного профиля в условиях реконструкции и нового строительства улиц крупнейшего города.

Материалы и методы. Основными методами проведенного исследования является: обзор нормативных документов, отечественного и зарубежного опыта преобразования улично-дорожной сети и разработки документов, закрепляющих методический подход к этому преобразованию; комплексный градостроительный анализ участков улиц Екатеринбурга, позволивший определить текущее распределение пространства между различными группами пользователей с учетом характера поведения, которое было использовано для описания положения участков улиц в плане города, определения основных характеристик застройки, примыкающей к рассматриваемым улицам.

Метод натурального обследования территории позволил выявить текущие проблемы в размещении элементов поперечного профиля улиц, с которыми сталкиваются пользователи пространства улиц.

Градостроительная классификация улично-дорожной сети Екатеринбурга, данные о перспективных маршрутах общественного транспорта, перспективных веломаршрутах и первоочередным мероприятиям по формированию пешеходного каркаса приведены в соответствии с Генеральным планом развития городского округа – муниципального образования «город Екатеринбург».

Данные об утвержденных красных линиях улиц предоставлены МБУ «Мастерская генерального плана Екатеринбурга». Текущая частота движения общественного транспорта приведена по данным официального сайта «Городские маршруты» [12].

Основная часть. Мероприятия по перераспределению пространства улицы между пользователями должны быть направлены на увеличение эффективности ее использования.

Пользователей пространства улицы можно разделить по способу передвижения на четыре основные группы – личный транспорт, общественный транспорт, велотранспорт и средства индивидуальной мобильности, пешеходы.

Состав необходимых элементов поперечного профиля и требования к проектированию

инфраструктуры для различных групп пользователей представлены в таблице 1.

Дополнительно пространство улицы используется для прокладки магистральных инженерных сетей, озеленения, создания инфраструктуры сферы обслуживания в прифасадной зоне, установки знаков дорожного движения, опор освещения и контактной сети, навигации и ре-

кламных конструкций, нестационарных торговых объектов, объектов инженерной инфраструктуры.

Таким образом, в пространстве улицы в соответствии с характером использования и потребностями различных групп пользователей можно выделить восемь основных функциональных зон (рис. 1).

Таблица 1

Состав необходимых элементов поперечного профиля и требования к проектированию инфраструктуры для различных групп пользователей

Группа пользователей	Необходимая инфраструктура	
	Транзитное движение	Статичное использование
Пешеходы	Тротуар достаточной ширины, свободный от препятствий	Места отдыха, площадки накопления перед переходами и перекрестками
Велосипедисты и средства индивидуальной мобильности	Велодорожки или велополосы достаточной ширины, свободные от препятствий	Парковки, станции проката, площадки накопления перед пересечениями
Городской пассажирский транспорт	Выделенные полосы для движения, обособленные полосы для движения, полосы для движения в общем потоке, контактная сеть	Остановочные пункты, отстойники и конечные остановочные пункты (как правило, размещаются вне красных линий на отдельных земельных участках)
Индивидуальный транспорт	Проезжая часть достаточной ширины и пропускной способности	Места временного хранения у объектов соцкультбыта, места постоянного хранения

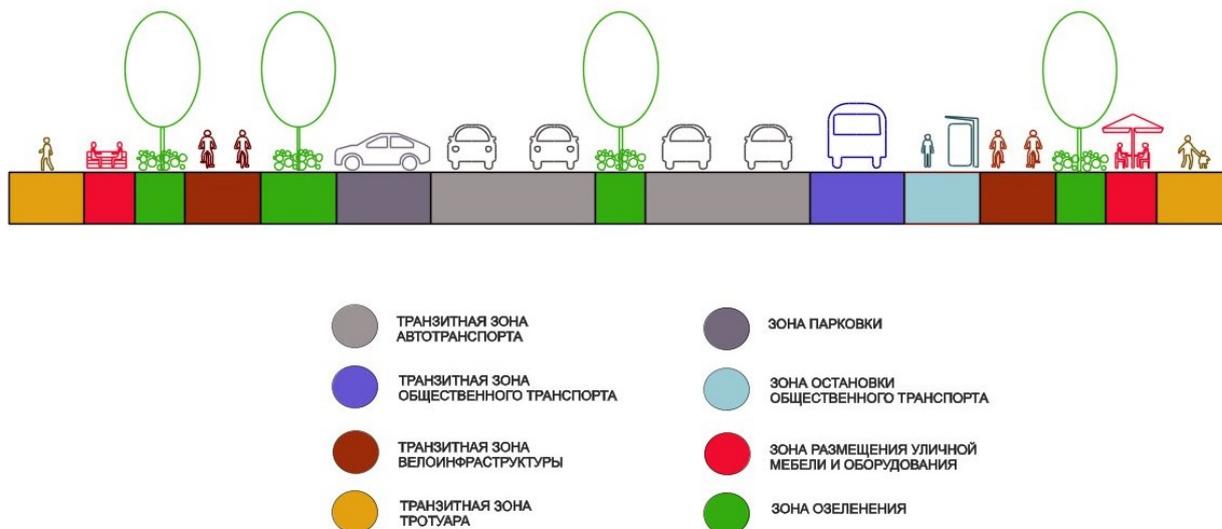


Рис. 1. Гранулометрический состав техногенного грунта

Основным исходным данным при проектировании участка улицы является градостроительная категория. В условиях реконструкции ограничивающим фактором является ширина в красных линиях, которая зависит от положения существующей застройки и положения линии регулирования застройки.

Градостроительная категория улицы или дороги устанавливается Генеральным планом муниципального образования. При назначении градостроительной категории учитывается ее роль в планировочной структуре города [13]. Магистральные направления связывают кратчайшим

образом основные фокусы тяготения, местная сеть обслуживает застройку [14]. Основными нормативными документами, определяющими параметры проектирования элементов поперечного профиля улиц, являются СП 42.13330.2016 «Градостроительство. Планировка и застройка городских и сельских поселений», СП 396.1325800.2018 «Улицы и дороги населенных пунктов». Этими документами нормируется размещение в поперечном профиле проезжей части и тротуара. Размещение выделенных полос для движения общественного транспорта, велополос

и велодорожек, размещение озеленения не является обязательным, и не содержится критериев, по которым возможно объективно оценить важность этих элементов. Так как улично-дорожная сеть муниципального образования относится к объектам местного значения [15], Муниципалитет сам формирует политику по размещению этих элементов на тех или иных участках улиц. Реализация этой политики – процесс длительный и капиталоемкий, в связи с чем в крупнейших городах России отсутствуют комплексные одномоментные преобразования улично-дорожной сети, позволяющие перейти на качественно новый уровень транспортного обслуживания населения и создание линейных общественных пространств, учитывающих интересы всех жителей города.

С целью выявления текущих проблем в размещении элементов поперечного профиля улиц, с которыми сталкиваются пользователи пространства улиц, были проанализированы улицы Екатеринбурга. В ходе анализа была выявлена следующая особенность: на протяжении улицы одной градостроительной категории, на разных участках наблюдается разное сочетание пользователей. Набор и характеристики элементов поперечного профиля этого не учитывают.

Примером может служить улица Луначарского, которая располагается в Центральном планировочном районе Екатеринбурга. Протяженность улицы составляет 4,3 км. В соответствии с Генеральным планом развития городского округа – муниципального образования «город Екатеринбург», улица имеет разную градостроительную категорию на разных участках: магистральная улица районного значения на участке от ул. Шевченко до ул. Азина, протяженностью 0,8 км и магистральная улица общегородского значения 3 класса на участке от ул. Ткачей до ул. Шевченко, протяженностью 3,5 км, который рассматривается в данном исследовании. Участок состоит из 12 перегонов (перегон – расстояние между перекрестками). Анализ перегонов показал несущественную разницу в ширине в красных линиях, при этом различное количество полос проезжей части, различное сочетание и частоту движения общественного транспорта, отсутствие велодорожек и велополос, а также ненормативную ширину тротуара и размещение препятствий на пути пешеходов.

Таким образом, можно сделать вывод, что при изменении состава пользователей на смежных участках улиц при неизменной ширине улицы в красных линиях обычно происходит увеличение количества полос проезжей части, и остальные функциональные зоны также располагаются по остаточному принципу. Необходимо

менять подход к проектированию разных участков улиц одной градостроительной категории.

Для выявления фактического распределения улицы между пользователями были исследованы участки улиц Екатеринбурга отдельно по каждой градостроительной категории. В исследовании не рассматривались: магистральные дороги и магистральные улицы общегородского значения 1 класса в связи с тем, что они чаще всего располагаются вне территории жилой и общественно-деловой застройки и имеют специфический поперечный профиль по сравнению с улицами других категорий; пешеходные улицы - в связи с тем, что улицы данной категории призваны решать иные задачи и не содержат в своем профиле всего набора элементов. На основании данного анализа получено фактическое распределение пространства улицы между различными пользователями: личный транспорт использует 40 % площади, пешеходы 27 %, зона парковки составляет 11 %, озеленение 17 %, общественный транспорт 4 %, зона озеленения занимает 17 %. Таким образом, 51 % пространства рассмотренных улиц Екатеринбурга используется владельцами личного транспорта и пользователями парковочных мест [16].

В основе предложенного подхода к реорганизации пространства улиц лежит присвоение «индекса важности» пользователей, в соответствии с которым предусматриваются элементы поперечного профиля. Основными пользователями улиц являются пешеходы, велосипедисты и средства индивидуальной мобильности, общественный транспорт и индивидуальный транспорт. «Индекс важности» представляет собой характеристику использования участка улицы конкретным пользователем.

В данном исследовании были приняты следующие «индексы важности»: 0 - пользователь отсутствует; 0,5 - использование конкретным пользователем выражено слабо, мероприятия могут быть реализованы не в полном объеме, 1 – присутствие ярко выражено, требует проведения мероприятий в полном объеме.

Следующим шагом в исследовании были выявлены параметры и критерии, по которым назначался «индекс важности» каждого пользователя участка улицы.

Для упрощения типологии «индекс важности» автомобильного транспорта принят равным 1 для улиц всех рассматриваемых категорий. При текущем уровне развития общественного транспорта Екатеринбурга и качества сервиса, недостаточной развитости велоинфраструктуры, большой территорией города личный транспорт часто служит единственно-возможным способом

перемещения. При дальнейшем совершенствовании улично-дорожной сети города «индекс важности» автомобильного транспорта может быть пересмотрен.

При очевидных преимуществах передвижения на общественном транспорте для города, вопрос обеспечения приоритета общественного транспорта не решен в действующих нормативных и методических документах. В таблице 11.1 СП 42.13330.2016 «Градостроительство. Планировка и застройка городских и сельских поселений» дано указание на возможность устройства выделенной полосы для наземного общественного транспорта при соответствующем обосновании для магистральных улиц общегородского значения 3 класса. В СП 396.1325800.2018 «Улицы и дороги населенных пунктов» пункт 6.8 говорит о том, что допускается предусматривать выделенные полосы для наземного пассажирского транспорта при соответствующем технико-экономическом обосновании с учетом интенсивности движения транспорта, наличия заторовых и предзаторовых ситуаций, интенсивности движения транспорта. Уточнения по значениям этих показателей в документе отсутствуют. В 2016 году Институтом транспортного планирования Российской академии транспорта были выпущены Методические рекомендации «Обоснование целесообразности выделения полос для движения маршрутных транспортных средств на улично-дорожной сети города» [17]. Методика основана на определении участков улично-дорожной сети, где есть возможность сокращения общего времени задержек в пересчете на всех участников дорожного движения, путем выделения отдельных полос для движения городского пассажирского транспорта общего пользования. Они оценивают экономическую эффективность введения выделенной полосы для общественного транспорта и оценку провозной способности участка улично-дорожной сети, не принимая во внимание качественное улучшение пространства улицы и транспортного обслуживания города в целом при применении данного мероприятия. В 2022 на кафедре Городского строительства Уральского федерального университета в рамках подготовки магистерской диссертации данная методика была применена для оценки целесообразности выделения полос на 9 участках улиц Екатеринбурга, непосредственно примыкающих к Центральному планировочному району, в котором размещено большинство рабочих мест города [18]. Данное исследование показало, что это мероприятие экономически неэффективно на 2 участках и не эффективно с точки зрения провозной способности на 8 участках. Выделение полосы для движения общественного транспорта

признано эффективным только на 1 участке. Тем временем в утренний «час-пик» заторовые ситуации выявлены на всех улицах, ведущих к Центральному планировочному району.

Таким образом, ни один из указанных документов не содержит критериев для обоснования «индекса важности» общественного транспорта. Показатели интенсивности движения транспорта общего пользования и интенсивность движения прочих транспортных средств рассматривается в «Указаниях по организации приоритетного движения транспортных средств общего пользования», утвержденных в 1984 году и не имеющие последующих редакций. Выделение полосы движения для общественного транспорта предполагается в том случае, если интенсивность движения общественного транспорта более 40 физических единиц при наличии заездного кармана и более 50 единиц при его отсутствии, а также интенсивность движения прочего транспорта более 400 и 500 приведенных единиц при наличии и отсутствии заездного кармана соответственно. Данные рекомендации были использованы для назначения «индекса важности» общественного транспорта. Для определения количественных показателей интенсивности движения общественного транспорта были использованы данные фактической частоты движения общественного транспорта отдельно по маршрутам и видам и перспективные маршруты общественного транспорта в соответствии с Генеральным планом развития городского округа – муниципального образования «город Екатеринбург». «Индекс важности» 0 присваивался в случае, когда на участке улицы движение общественного транспорта не предусмотрено; 0,5 – суммарная интенсивность движения по всем видам общественного транспорта составляет менее 40 ед/час, 1 – суммарная интенсивность движения по всем видам общественного транспорта составляет 40 ед/час и более [19].

Критерием для присвоения «индекса важности» велосипедистов и средств индивидуальной мобильности была определена роль участка улицы в формировании велокаркаса города в соответствии со «Схемой развития велоинфраструктуры», разработанной в составе Материалов по обоснованию Генерального плана развития городского округа – муниципального образования «город Екатеринбург» Значение «индекса важности» равного 0 присваивался в том случае, когда движение велосипедистов и средств индивидуальной мобильности не предусмотрено, есть дублирующие пути; 0,5 в том случае, когда нет существующей инфраструктуры и ее создание предусматривается на расчетный срок реализа-

ции мероприятий Генерального плана; 1 - размещение участка улицы в рамках опорной сети веломаршрутов в соответствии с Генеральным планом, основных рекреационных маршрутов. Велоинфраструктура на участке либо существует, либо планируется к созданию на первую очередь реализации мероприятий Генерального плана.

Для присвоения «индекса важности» пешеходному движению в пределах красных линий участка улицы была использована «Схема развития рекреационных и общественных пространств» Екатеринбурга, разработанная в составе Материалов по обоснованию Генерального плана развития городского округа – муниципального образования «город Екатеринбург». Значение «индекса важности» равного 0 присвоено в том случае, когда пешеходное движение не предусмотрено, есть дублирующие пути. В пределах исследуемых категорий улиц такое положение не предусмотрено. Значение «индекса важности» 0,5 назначается в том случае, когда участку улицы не присвоено значение «зеленого маршрута» - коммуникационного коридора. Обычно такой участок представляет собой путь от остановок общественного транспорта до дома и связь с основными пешеходными маршрутами. Значение «индекса важности» 1 – участок располагается в рамках туристических маршрутов, основных рекреационных маршрутов, на нем предусмотрены массовые гуляния в период проведения городских событий.

Еще одним элементом поперечного профиля улиц, влияющим на создание комфортной городской среды, является прифасадная зона или зона размещения уличной мебели и оборудования, необходимость выделения и размеры которой зависят от «активности фронта» застройки участка улицы. Для учета «индекса важности» данного элемента были проанализированы методики расчета данного показателя. Методики формирования индекса качества городской среды, утвержденной распоряжением Правительства Российской Федерации от 23 марта 2019 года N 510-р содержит индикатор «Количество улиц с развитой сферой услуг». Он выражается в количестве улиц, не менее 75 процентов протяженности которых имеет плотность объектов торговли и услуг не менее 1 единицы на 100 м. Учитываются функции в 50-метровой зоне от осевой линии улично-дорожной сети по обе стороны, за исключением объектов мелкорозничной торговли. Еще один подход к определению данного показателя описан в [7] в виде пятибалльной шкалы оценки нижних этажей зданий, формирующих фронт улиц. Деление на пять типов, характеризующих активность фронта, производится в зависимости от количества дверей на 100 м участка

улицы, разнообразия сервисов и выразительности фасадов. В рамках данного исследования не рассматривается архитектурная составляющая фасадов зданий, формирующих фронт улицы. В связи с этим наибольший интерес представляет количественная оценка наличия дверей на 100 м длины улицы. Для присвоения «индекса важности» «активности фронта» в пределах красных линий участка улицы было проведено обследование участков улиц Екатеринбурга учет специфики или фактическое распределение сервисов. 0 назначается в том случае, когда на всем протяжении участка улицы отсутствуют объекты сферы обслуживания. 0,5 назначается в том случае, когда на участке улицы присутствуют предприятия сферы обслуживания, не требующие размещения уличной мебели или мест встреч, но которые могут являться целью самостоятельного перемещения. 1 назначается в том случае, когда на участке улицы присутствуют сервисы в количестве 15-20 дверей на 100 м участка улицы, в том числе требующих размещения уличной мебели в пространстве улицы.

Для каждого пользователя были определены физические размеры элементов поперечного профиля в соответствии с нормативными требованиями и с учетом присвоенных «индексов важности». Например, при «индексе важности» велоинфраструктуры и средств индивидуальной мобильности равном 0, организация велодорожки не требуется. При достаточной ширине тротуара на нем может быть выделена велополоса шириной 1,0 м при организации одностороннего движения без физического обособления от других функциональных зон. «Индекс важности» равный 0,5 предполагает создание двусторонней велодорожки шириной 2,0 м с одной стороны профиля, либо двух односторонних велодорожек с двух сторон от оси поперечного профиля шириной 1,0 м каждая. При значении «индекса важности» равного 1 должна предусматриваться двусторонняя велодорожка шириной 3,0 м, что превышает минимальную нормативную ширину, но является более удобной с точки зрения пользования, с одной стороны от оси поперечного профиля или с двух сторон, если имеется физическая возможность. Такая велодорожка должна быть отделена от других элементов поперечного профиля полосами озеленения для ограничения выхода на нее пешеходов.

Следующей стадией исследования стало определение типологии участков улиц Екатеринбурга с целью определения возможного сочетания пользователей и разработки рекомендаций по формированию поперечного профиля.

Для определения типологии участков улиц по характеру использования были проанализированы улицы Екатеринбурга. Для более детального изучения улицы разбивались на участки, исследовалось сочетание пользователей на перегонах. Для анализа участков улиц была выбрана застроенная часть города. Территории перспективной застройки при анализе не учитывались. Крупные производственные территории, представляющие собой одну планировочную единицу, при анализе не учитывались. Участки индивидуальной жилой застройки, расположенные обособленно, при анализе не учитывались. Протяженность участков не является определяющим показателем в данной исследовании.

Общее количество участков улиц каждой исследуемой категории в пределах территории, выбранной для анализа, производился по материалам, предоставленным МБУ «Мастерская Генерального плана» Екатеринбурга с помощью Инструментальной геоинформационной системы «ИнГео». Общее количество участков улиц каждой категории в пределах территории, выбранной для анализа, представлено в таблице 2. Для исследуемых участков улиц каждой градостроительной категории была определена величина необходимого объема репрезентативной выборки [20]. Данная величина также указана в таблице 2.

Таблица 2

Общее количество участков улиц каждой категории в пределах территории, выбранной для анализа, и объем репрезентативной выборки для исследуемых участков улиц каждой градостроительной категории

Категория улицы	Количество участков, шт	Объем репрезентативной выборки, шт
Магистральная улица общегородского значения 2 класса	170	118
Магистральная улица общегородского значения 3 класса	242	149
Магистральная улица районного значения	235	146
Улицы местного значения	779	258

Далее для каждой градостроительной категории были выбраны участки улиц. Плотность улично-дорожной сети Екатеринбурга неравномерна. Наибольшая плотность наблюдается в пределах Центрального планировочного района и убывает по мере отдаления от него.

Были обследованы все участки улиц в Центральном планировочном районе, что составляет 33 % выборки для магистральных улиц районного значения и 28 % для местных улиц. По остальным районам исследованные участки распределялись равномерно.

Каждому участку улиц были присвоены «индексы важности» пользователей: личный транспорт, общественный транспорт, велосипедисты и средства индивидуальной мобильности, пешеходное движение, «активный фронт».

После присвоения «индексов важности» пользователям на каждом участке было получено 13 сочетаний для магистральных улиц общегородского значения 2 класса, 23 сочетания для магистральных улиц общегородского значения 3 класса, 37 сочетаний для магистральных улиц районного значения и 23 сочетания для местных улиц в пределах рассматриваемой территории.

Участки магистральных улиц с одинаковым сочетанием индексов и участки местных улиц с одинаковым сочетанием индексов были объединены в один тип в связи со схожестью нормативов проектирования.

Таким образом, для магистральных улиц было выделено 40 сочетаний, для местных улиц

было выделено 24 сочетания, при этом по 24 участкам местных улиц, что составляет 9 % всей выборки, осуществляется движение одного вида уличного общественного транспорта с небольшой частотой движения, что не требует устройства выделенной полосы движения. Эти участки в отдельный тип не выделялись.

Для дальнейшей разработки рекомендаций по реконструкции и упрощения типологии характеристика «активный фронт» была выделена в подпункт типологии: «а» для значения 1; «б» для значения 0,5; «в» для значения 0.

В итоге было выделено 17 типов участков для магистральных улиц и 10 типов участков для местных улиц, каждому из которых может быть присвоен подпункт в соответствии с характеристикой сервисов, расположенных вдоль улицы.

Для всех элементов поперечного профиля попарно была составлена матрица сопряжения с учетом минимальных размеров элементов, соответствующих нормативам и «индексам важности» равном 0,5 и рекомендуемых размеров элементов, соответствующих значениям, принятым как удобные и комфортные для использования для «индекса важности» равного 1.

Для каждого участка улицы, помимо характеристики использования, была определена ширина в красных линиях, являющаяся границей возможного размещения всех элементов поперечного профиля. Она варьируется от 140 до 23 м для магистральных улиц общегородского значе-

3. Стратегия социально-экономического развития муниципального образования г. Казани до 2030 года. Утверждена решением Казанской городской думы № 2-12 от 14.12.2016 г. Казань, 2016. 81 с.

4. Стратегия социально-экономического развития города Нижнего Новгорода на 2017-2022 годы. Утверждена постановлением администрации города Нижнего Новгорода № 190 от 25.01.2017 г. Нижний Новгород, 2017. 70 с.

5. Стратегия социально-экономического развития города Челябинска на период до 2035 года. Утверждена решением Челябинской городской думы № 20/2 от 29.06.2021 г. Челябинск, 2021. 85 с.

6. Вукан, Р. Вучик. Транспорт в городах, удобных для жизни. Москва: Территория будущего, 2011. 576 с.

7. Ян Гейл. Города для людей. Москва: Альпина Паблицер, 2012. 276 с.

8. Джеф Спек. Город для пешехода. Москва: Искусство XXI век, 2015 г. 352 с.

9. Ковалева Т. Н. Транспортные проблемы современного города в контексте модернизации городского пространства // Гуманитарные и социальные науки. 2013. № 4. С. 26–34.

10. Горнова Г.В. Конфликтность городской идентичности: визуальные аспекты // Праксема. Проблемы визуальной семиотики. 2020. № 3(25). С. 27–40. DOI 10.23951/2312-7899-2020-3-27-40.

11. Теплова И.Д. Градостроительный подход к формированию общественных пространств городских улиц (опыт Берлина и Москвы) // Биосферная совместимость: человек, регион, технологии. 2021. № 1(33). С. 101–112. DOI 10.21869/2311-1518-2021-33-1-101-112.

12. Городские маршруты. Пассажирский транспорт в городах России. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.24tr.ru/ekaterinburg/route/1713/> (дата обращения 05.02.2023)

13. Сигаев А. В. Автотранспорт и планировка городов. Москва : Издательство литературы по строительству, 1972. 223 с.

14. Фишельсон М.С. Транспортная планировка городов: учебное пособие для вузов. Москва : Высшая школа, 1985. 239 с.

15. О видах объектов регионального значения и местного значения, подлежащих отображению на документах территориального планирования Свердловской области и муниципальных образований, расположенных на территории Свердловской области. Закон Свердловской области № 76-ОЗ от 04.06.2016 г. Принят Законодательным Собранием Свердловской области 29 июня 2016 года. Екатеринбург, 2016.

16. Могильникова Ю.А. Анализ распределения пространства улицы по характеру использования на примере города Екатеринбурга // Актуальные проблемы строительства, ЖКХ и техносферной безопасности. Материалы IX Всероссийской (с международным участием) научно-технической конференции молодых исследователей (18–23 апреля 2022 г.). Волгоград: ВолГТУ, 2022. С. 55–56.

17. Обоснование целесообразности выделения полос для движения маршрутных транспортных средств на улично-дорожной сети города. Методические рекомендации / сост. М.Р. Якимов. Москва: Институт транспортного планирования общероссийской общественной организации Российская академия транспорта, 2016. 27 с.

18. Селиванов В.В. Анализ пропускной способности улично-дорожной сети Екатеринбурга с точки зрения передвижений по трудовым целям // Актуальные проблемы строительства, ЖКХ и техносферной безопасности. Материалы IX Всероссийской (с международным участием) научно-технической конференции молодых исследователей (18–23 апреля 2022 г.). Волгоград: ВолГТУ, 2022. С. 67-68.

19. Указания по организации приоритетного движения транспортных средств общего пользования. Утверждены МВД СССР 30.06.83, Минавтотрансом РСФСР 28.06.83. М. : Транспорт, 1984. 32с.

20. Батракова Л.Г. Теория статистики: учеб. пособие. М.: КНОРУС, 2010. 528 с.

21. Стандарта комплексного благоустройства улично-дорожной сети Екатеринбурга. Утвержден Приказом Администрации города Екатеринбурга №2/41/0132 от 05.07.2021 г. [Электронный ресурс]. URL: <https://cloud.mail.ru/public/JJtz/DgXv7K2bS> (дата обращения 15.02.2023).

Информация об авторах

Банникова Лариса Александровна, старший преподаватель кафедры Городского строительства. E-mail: bannikovalar@gmail.com. Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина. Россия, 620002, Екатеринбург, ул. Мира, д. 19.

Поступила 21.03.2022 г.

© Банникова Л.А., 2023

Bannikova L.A.

Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin

E-mail: bannikovalar@gmail.com

SPATIAL ORGANIZATION OF A STREET SECTION DEPENDING ON THE NATURE OF USE

Abstract. This Article considers ways of optimization of street cross-section profiles in big cities in order to create comfortable urban environment. Importance of the topic has arisen from reconsideration of the role of street-and-road networks in cities, and their transformation from zones of transit into public space and city-life concentration zones. The article presents an analysis of regulatory documents and research works on design and layout of cross-section profile elements. It includes results of field survey and urban development analyses of Yekaterinburg city streets carried out with the purpose to identify problems of current street-and-road networks in major cities and actual street space distribution among users. The Article shows key users of the city streets, as well as requirements to cross-section profile elements. The proposed approach to street-space reorganization offers assignment of 'user importance index', which determines the cross-section profile elements. The 'user importance index' characterizes use of a street section by a specific user. The criteria by which the «index of importance» of each group of street section users is determined are described. The concluding part of the Article describes one of the cross-section profiles developed for Yekaterinburg using the given approach. It also includes approbation of the mentioned research in the course of work on Standards for Complex Street-and-Road Network Improvement in Yekaterinburg.

Keywords: street-and-road network, cross-section profile, street section users, public space, comfortable urban environment.

REFERENCES

1. Strategy for socio-economic development of the city of Novosibirsk for the period up to 2030. Approved by the decision of the Council of Deputies of the city of Novosibirsk No. 726 of December 24, 2018 Novosibirsk, 2018. 57 p. [Strategiya sotsial'no-ekonomicheskogo razvitiya goroda Novosibirsk na period do 2030 goda. Utverzhdena resheniyem so-veta deputatov goroda Novosibirsk No. 726 ot 24.12.2018 g. Novosibirsk, 2018. 57 s.] (rus)
2. Lopatkin D.S., Nikolaeva S.G. Analysis of Spatial Development Strategy of Yekaterinburg for the Period up to the Year 2030. Russian Regions in the Focus of Changes: Conference proceedings. 2018. Yekaterinburg: LLC Publishing office EMC UPI. Pp. 89–95. (rus)
3. Strategy for socio-economic development of the municipality of Kazan until 2030. Approved by the decision of the Kazan City Duma No. 2-12 of December 14, 2016 Kazan, 2016. 81 p. [Strategiya sotsial'no-ekonomicheskogo razvitiya munitsipal'nogo obrazovaniya g. Kazani do 2030 goda. Utverzhdena resheniyem Kazanskoy gorodskoy dumy No. 2-12 ot 14.12.2016 g. Kazan', 2016. 81 s.] (rus)
4. Strategy for socio-economic development of the city of Nizhny Novgorod for 2017-2022. Approved by the Decree of the Administration of the city of Nizhny Novgorod No. 190 dated January 25, 2017. Nizhny Novgorod, 2017. 70 p. [Strategiya sotsial'no-ekonomicheskogo razvitiya goroda Nizhnego Novgoroda na 2017-2022 gody. Utverzhdena postanovleniyem administratsii goroda Nizhnego Novgoroda No. 190 ot 25.01.2017 g. Nizhniy Novgorod, 2017. 70 s.] (rus)
5. Strategy for the socio-economic development of the city of Chelyabinsk for the period up to 2035. Approved by the decision of the Chelyabinsk City Duma No. 20/2 dated June 29, 2021. Chelyabinsk, 2021. 85 p. [Strategiya sotsial'no-ekonomicheskogo razvitiya goroda Chelyabinska na period do 2035 goda. Utverzhdena resheniyem Chelyabinskoy gorodskoy dumy No. 20/2 ot 29.06.2021 g. Chelyabinsk, 2021. 85 s.] (rus)
6. Vukan R. Vuchic. Transportation for livable city [Transport v gorodakh, udobnykh dlya zhizni]. Trans. from English. Moscow: Territory of Future, 2011. 576 p.
7. Jan Gehl. Cities for people [Goroda dlya lyudey]. Trans. from English. Moscow: Alpina Publisher, 2012. 276 p.
8. Jeff Speck. Walkable City [Gorod dlya peshekhoda]. Trans. from English. Moscow: Art of the 21st century, 2015. 352 p.
9. Kovaleva T.N. Transport problems of the modern city in the context of urban space modernization. Humanities and social sciences. 2013. No. 4. Pp. 26–34. (rus)
10. Gornova G.V. The conflict of urban identity: visual aspects. ПРАΞΗΜΑ. Journal of visual semiotics. 2020. No. 3(25). Pp. 27–40. DOI:10.23951/2312-7899-2020-3-27-40. (rus)
11. Teplova I. D. Urban planning approach to the formation public spaces of city streets (experience of Berlin and Moscow). Biospheric compatibility: human, region, technologies. 2021. No. 1(33). Pp. 101–112. DOI 10.21869/2311-1518-2021-33-1-101-112. (rus)
12. City routes. Passenger transport in Russian cities. [Gorodskiy marshrut. Passazhirskiy

transport v gorodakh Rossii]. URL: <https://www.24tr.ru/ekaterinburg/route/1713/> (date of the treatment: 05.02.2023) (rus)

13. Sigaev A.V. Road transport and urban planning [Avtotransport i planirovka gorodov]. Moscow: Building Literature Publishing House, 1972. 223 p. (rus)

14. Fishelson M.S. Transport planning of cities: textbook for universities [Transportnaya planirovka gorodov: uchebnoye posobiye dlya vuzov]. Moscow: Vicshaya shkola, 1985. 239 p. (rus)

15. On the types of objects of regional significance and local significance to be displayed on the territorial planning documents of the Sverdlovsk Region and municipalities located on the territory of the Sverdlovsk Region. Law of the Sverdlovsk Region No. 76-OZ dated June 4, 2016 Adopted by the Legislative Assembly of the Sverdlovsk Region June 16, 2016 Yekaterinburg [O vidakh ob'yektov regional'nogo znacheniya i mestnogo znacheniya, podlezhashchikh otobrazheniyu na dokumentakh territorial'nogo planirovaniya Sverdlovskoy oblasti i munitsipal'nykh obrazovaniy, raspolozhennykh na territorii Sverdlovskoy oblasti No. 76-OZ dated June 4, 2016. Prinyat Zakonodatel'nym Sobraniyem Sverdlovskoy oblasti]. (rus)

16. Mogilnikova Y.A. Analysis of the distribution of street space by the nature of use on the example of the city of Yekaterinburg [Analiz raspredeleniya prostranstva ulitsy po kharakteru ispol'zovaniya na primere goroda Yekaterinburga]. Aktual'nyye problemy stroitel'stva, ZHKKH i tekhnosfernoy bezopasnosti. Materialy IX Vserossiyskoy (s mezhdunarodnym uchastiyem) nauchno-tekhnicheskoy konferentsii molodykh issledovateley (18-23 april 2022). Volgograd: VolgGTU, 2022. Pp. 55–56. (rus)

17. Justification of the expediency of allocating lanes for the movement of route vehicles on the street

and road network of the city. Guidelines [Obosnovaniye tselesoobraznosti vydeleniya polos dlya dvizheniya marshrutnykh transportnykh sredstv na ulichno-dorozhnoy seti goroda. Metodicheskiye rekomendatsii] comp. M.R. Yakimov. Moscow: Institute of Transport Planning of the All-Russian Public Organization Russian Academy of Transport, 2016. 27 p. (rus)

18. Selivanov V.V. Analysis of the capacity of the road network of Yekaterinburg in terms of movement for labor purposes [Analiz propusknoy sposobnosti ulichno-dorozhnoy seti Yekaterinburga s tochki zreniya peredvizheniy po trudovym tselyam]. Aktual'nyye problemy stroitel'stva, ZHKKH i tekhnosfernoy bezopasnosti. Materialy IX Vserossiyskoy (s mezhdunarodnym uchastiyem) nauchno-tekhnicheskoy konferentsii molodykh issledovateley (18-23 april 2022). Volgograd: VolgGTU, 2022. Pp. 67–68. (rus)

19. Guidelines for organizing the priority movement of public transport vehicles [Ukazaniya po organizatsii prioritetnogo dvizheniya transportnykh sredstv obshchego pol'zovaniya]. Approved by the Ministry of Internal Affairs of the USSR on 06/30/83, by the Ministry of Autotransport of the RSFSR on 06/28/83. M.: Transport, 1984. 32 p. (rus)

20. Batrakova L.G. Theory of Statistics: textbook [Teoriya statistiki: uchebnoye posobiye]. Moscow: KNORUS, 2010. 528 p. (rus)

21. Standard for the comprehensive improvement of the road network of Yekaterinburg. Approved by the Order of the Administration of the city of Yekaterinburg No. 2/41/0132 dated July 5, 2021 [Standarta kompleksnogo blagoustroystva ulichno-dorozhnoy seti Yekaterinburga. Utverzhden Prkazom Administratsii goroda Yekaterinburga No. 2/41/0132 ot 05.07.2021 g]. URL: <https://cloud.mail.ru/public/JJtz/DgXv7K2bS> (date of treatment: 15.02.2023). (rus)

Information about the authors

Bannikova, Larisa A. Senior Lecturer. E-mail: bannikovalar@gmail.com. Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin. Russia, 620002, Yekaterinburg, Mira st., 19.

Received 21.03.2022

Для цитирования:

Банникова Л.А. Пространственная организация участка улицы в зависимости от характера использования // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2023. № 5. С.105–115. DOI: 10.34031/2071-7318-2023-8-5-105-115

For citation:

Bannikova L.A. Spatial organization of a street section depending on the nature of use. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2023. No. 5. Pp. 105–115. DOI: 10.34031/2071-7318-2023-8-5-105-115

МАШИНОСТРОЕНИЕ И МАШИНОВЕДЕНИЕ

DOI: 10.34031/2071-7318-2023-8-5-116-125

Дуюн И.А., Кабальянц П.С., Зувев С.В., Дуюн Т.А., Малышев Д.И.Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова***E-mail: duyun77@mail.ru*

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИНДЕКСА УПРАВЛЯЕМОСТИ И ВЫЯВЛЕНИЕ ОСОБЫХ ПОЛОЖЕНИЙ ПАРАЛЛЕЛЬНОГО МАНИПУЛЯТОРА

Аннотация. В статье представлена модель, инструментарий, методика и результаты выявления особых положений при планировании движения параллельного манипулятора типа платформы Гью-Стюарта. Под особыми положениями понимаются положения, имеющие геометрическую неопределенность, сингулярность. Сингулярные положения оцениваются посредством анализа матрицы Якоби с использованием ее сингулярного разложения. Вычисление матрицы Якоби и ее сингулярных значений выполняется с применением специальных библиотек высокоуровневого языка программирования Python. Наличие особых положений в рабочей области анализируется с использованием индекса управляемости, характеризующего соотношения сингулярных значений сингулярного разложения матрицы Якоби. Выполнены серии вычислительных экспериментов для расчета индекса управляемости, выявления и анализа особых положений в рабочей зоне. Представлены результаты вычислительного эксперимента для различных конструктивных исполнений платформы, отличающихся соотношением радиусов подвижной платформы и неподвижного основания. Выполнен анализ характерных особенностей формирования зон сингулярности в их рабочих зонах и выявлены конструктивные варианты, имеющие максимальный индекс управляемости рабочей области. Представленный подход применим в рамках разработки, модернизации, оптимизации конструктивных элементов манипуляторов параллельной структуры.

Ключевые слова манипуляторы параллельной структуры, особые положения, индекс управляемости, сингулярность, планирование движения, платформа Гью-Стюарта.

Введение. Параллельные манипуляторы, имеющие несколько кинематических звеньев, параллельно передающих движение подвижной платформе относительно неподвижного основания, обладают рядом преимуществ по сравнению с механизмами с последовательной конфигурацией звеньев: простота элементов механизма и их сборки, возможность простого масштабирования схемы устройства, высокая жесткость конструкции при относительно малом весе и низкой металлоёмкости, способность манипулировать большими нагрузками при низкой энергоёмкости, высокая точность перемещения и позиционирования, хорошие динамические характеристики, большие скорости и ускорения [1–5]. Однако, конструктивная особенность в виде параллельных звеньев является также причиной серьезных недостатков. Нелинейная зависимость кинематики и динамики механизма в зависимости от точки рабочей области приводит к анизотропии и неоднородности динамических, упругих и скоростных свойств, а также возможности интерференции (пересечения) отдельных кинематических цепей. Это в свою очередь является причиной особых положений в виде геометрической неопределенности, в которых может произойти потеря устойчивости. Геометрическая неопределенность ставит под угрозу работу манипулятора, при прохождении таких зон существенно

снижается производительность, а в худшем случае может произойти полный отказ при заклинивании механизма. Поэтому усилия ряда ученых направлены на разработку надежных алгоритмов планирования движения [6–10].

Планирование движения параллельного манипулятора связано с решением прямой задачи кинематики, заключающейся в определении координат рабочего органа в зависимости от длин выдвижения штоков, и обратной задачи кинематики – определения длин выдвижения штоков по заданным координатам рабочего органа [11–15]. Ряд исследователей применяют аналитический подход, при этом прямая задача кинематики не имеет четко формализованного решения и требует применения более сложных математических методов по сравнению с решением обратной задачи, решение которой в общем случае сводится к решению шести нелинейных уравнений для шестистепенных манипуляторов типа платформы Гью-Стюарта 6-6. Математические подходы, применяемые для решения прямой задачи кинематики, можно условно разделить на две группы: использование аппарата векторной алгебры и аналитической геометрии. При использовании аппарата векторной алгебры координаты рабочего органа выражаются через орты подвижной системы координат посредством векторов, связывающих основание и подвижную платформу,

или через составляющие матрицы поворота. При использовании аналитической геометрии конструкция представлена в виде геометрических соотношений пространственной конфигурации. Решение задачи прямой кинематики для параллельного манипулятора считается сложным в вычислительном отношении и трудоемким процессом из-за связанных нелинейных уравнений, которые сложно решать аналитически. В данной работе предлагается применить искусственные нейронные сети (ИНС) для решения прямой кинематики параллельного манипулятора. ИНС известны своей способностью представлять нелинейные отношения между входными и выходными данными, они обладают большими способностями к обучению и способны учиться на примерах.

В настоящее время существуют две стратегии решения проблемы геометрической неопределенности манипулятора при прохождении зоны сингулярности: методы, основанные на безопасном прохождении зоны сингулярности, и алгоритмы планирования движения в обход зон сингулярности. В рамках первого варианта стратегии предложены методы: ограничения крутящего момента двигателей при прохождении зоны сингулярности и установлении критериев устойчивости в виде определения производных высших порядков кинематических величин или создания оптимальных динамических условий [14, 15]; использования активных масс посредством отключения основных приводов исполнительных механизмов и включения массовых приводов в близости зон сингулярности; применения физических критериев для прохождения зон сингулярности [16]. Однако наиболее надежными, по мнению ряда исследователей, являются алгоритмы планирования движения с целью исключения и обхода зон сингулярности.

Виейра и другие в своей статье [10] представили следующую методику планирования движения параллельного манипулятора: для определения положений платформы, в которых возникает неопределенность, используется моделирование методом Монте-Карло, на основе этого моделирования вычисляются вероятности отказа для нескольких конфигураций рабочего пространства манипулятора и полученные результаты используются для обучения искусственной нейронной сети. Нейронная сеть применена в этой методике с целью преодоления вычислительной неэффективности метода Монте-Карло. Полученная модель оценивается с помощью итеративной стратегии, которая использует генетические операторы для вычисления оптимальных траекторий,

избегая областей, на которые в значительной степени влияют неопределенности. В качестве примера применения и обработки предложенной методики используется манипулятор 3RRR.

Мерле [14] пишет о концепциях матрицы Якоби (Jacobian matrix), манипулируемости (manipulability) и числах обусловленности (condition number) как о показателях точности параллельных роботов с учетом оптимальности конструкции, заключающейся в исключении таких положений платформы, при которых могут возникнуть ошибки позиционирования платформы. Основным критерием вероятности возникновения неопределенности в текущей работе принят индекс управляемости (dexterity index). Шанг [15] производит сравнение двух параллельных манипуляторов по критерию точности, базирываясь, в том числе, на индексе управляемости.

В данной работе применена идея Виейра, заключающаяся в использовании результатов моделирования в виде положений платформы и вероятностей возникновения в них неопределенностей, для последующего обучения нейронной сети с целью быстрой работы по планированию оптимальной траектории платформы с избеганием положений, которые могут привести к отказу манипулятора. Представлена методика, инструментарий и результаты первого этапа: моделирования особых положений манипулятора типа платформы Гью-Стюарта с использованием расчета индекса управляемости по методике, описанной в работе Шанга.

Основная часть. Целью работы является создание интеллектуальной системы (ИС) для планирования движения роботизированной платформы Гью-Стюарта, а первым этапом реализации поставленной цели – разработка модели платформы, с использованием которой можно выполнять исследование особых положений. Модель платформы должна осуществлять возможность решения прямой и обратной задачи кинематики, а также проведения статического анализ сил. Поскольку эта задача является достаточно трудоемкой, было принято решение использовать специализированную библиотеку Basic robotics [17], реализующую перечисленные функции на высокоуровневом языке программирования Python. Также были использованы другие необходимые библиотеки: Numpy [18], Pandas [19], Matplotlib [20].

Используя библиотеку Basic robotics [17], представляется возможным создать объект платформы по заданным параметрам, после чего вызывать функции для сгенерированного объекта платформы, например, изменять положение подвижного основания (рис. 1).

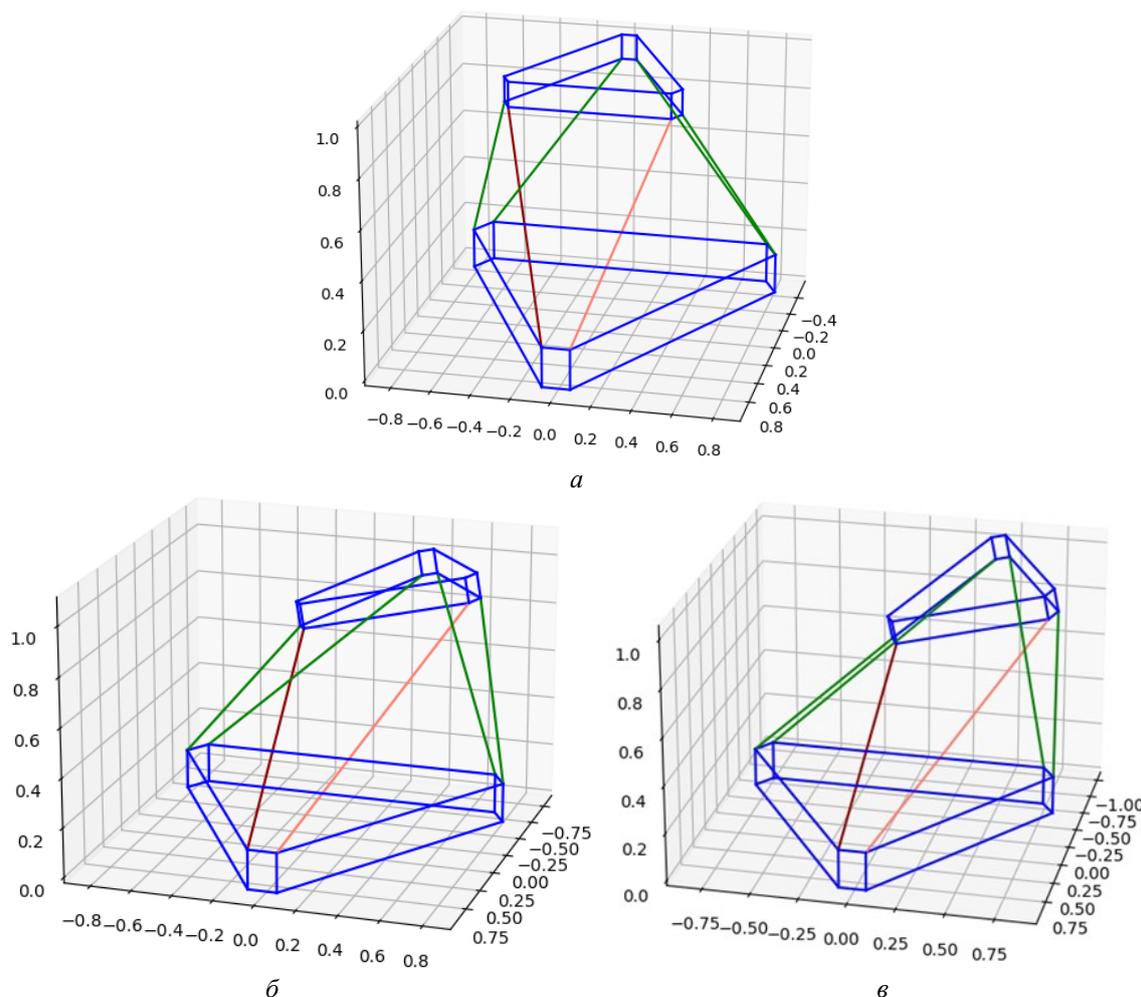


Рис. 1. Визуализация изменения положения верхней платформы:

a – начальное положение, *б* – промежуточное положение, *в* – конечное положение

Анализ сингулярных положений платформы, то есть положений, в которых происходит геометрическая неопределённость, выполняют обычно по матрице Якоби. Матрица Якоби связывает скорости обобщенных координат и рабочего органа. Содержание и структура матрицы Якоби зависит от конструктивных параметров робота и изменяется в каждом новом положении при осуществлении движения по заданной траектории. Сингулярные положения могут быть вызваны различными причинами, например, бесконечным множеством решений в уравнениях обратной задачи кинематики или располагаться в

окрестности границы рабочей области. В сингулярных конфигурациях ограниченные значения скорости, силы и вращающего момента рабочего органа могут соответствовать неограниченным значениям обобщенных скоростей и вращающих моментов. Нулевое значение определителя матрицы Якоби говорит о том, что соответствующая конфигурация является сингулярной.

Матрица Якоби для платформы Гью-Стюарта в общем виде выглядит следующим образом:

$$A[x'n \ y'n \ z'n \ \varphi' \ \beta' \ \gamma']^T = (-B)[\theta'_1 \ \theta'_2 \ \theta'_3 \ \theta'_4 \ \theta'_5 \ \theta'_6]^T,$$

где *A* и *B* – матрицы частных производных от неявной функции по *xn, yn, zn, φ, β, γ* и от неявной функции по обобщенным координатам θ_i ; $[x'n \ y'n \ z'n \ \varphi' \ \beta' \ \gamma']^T$ – абсолютные скорости центра выходного звена; $[\theta'_1 \ \theta'_2 \ \theta'_3 \ \theta'_4 \ \theta'_5 \ \theta'_6]^T$ – обобщенные скорости во вращательных шарнирах $B_1, B_2, B_3, B_4, B_5, B_6$.

Неявная функция между обобщенными и абсолютными координатами имеет вид:

$$F_i(xn, yn, zn, \varphi, \beta, \gamma, \theta_i) = 0.$$

Для решения задачи необходимо учесть положения входных звеньев, описываемых углами $\theta_1, \theta_2, \theta_3, \theta_4, \theta_5, \theta_6$, а также значения координат *xn, yn, zn* положения центра платформы A_0 и углов Эйлера φ, β, γ поворота платформы.

В общем случае может возникнуть три вида сингулярности: сингулярной является матрица B (первый тип), сингулярной является матрица A (второй тип), сингулярными являются обе матрицы A и B (третий тип). В любом из вариантов сингулярность является препятствием движению манипулятора и ее необходимо избегать при планировании движения манипулятора. Существуют различные способы анализа сингулярности матрицы Якоби. В данной работе для этой цели применяется сингулярное разложение, декомпозиция вещественной матрицы и приведение ее к каноническому виду.

Предлагается генерировать множество точек пространства, после чего для каждой точки вычислять и анализировать соответствующую этому положению матрицу Якоби при условии нахождения центра верхней платформы в сгенерированной точке.

От количества точек будет зависеть точность результатов: чем больше будет точек и чем ближе они будут друг к другу, тем большее количество возможных положений платформы будет проанализировано. Однако с ростом количества точек растет и трудоемкость вычислений. Была написана функция для генерации пространства точек в виде куба. Предполагается, что все точки данного пространства находятся в рабочей области. Такое допущение связано с тем, что рабочая область платформы Стюарта представляет собой сложное пространство и для упрощения анализа механизма робота используется не все пространство, а только некоторая кубическая область, каждая точка которой входит в рабочую зону. На рисунке 2 представлены сформированные области с разным количеством точек.

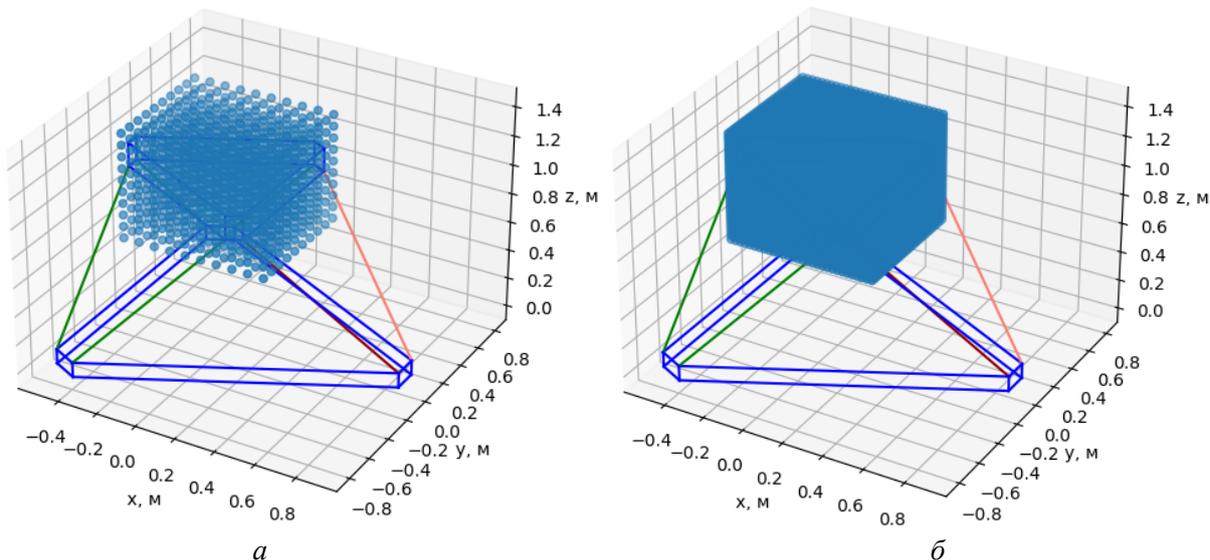


Рис. 2. Сгенерированные области точек: a – 1000 точек, b – 27000 точек

Далее основная идея заключается в том, чтобы для каждой точки сгенерированного пространства рассчитать индекс управляемости. Существуют разные способы расчета данного индекса, однако в данной работе был использован следующий метод:

$$di_i = \frac{SVD_{min}}{SVD_{max}}$$

где SVD_{min} и SVD_{max} – это минимальное и максимальное сингулярные значения матрицы Якоби.

Для получения матрицы Якоби была использована соответствующая встроенная функция

библиотеки Basic robotics, а для расчета сингулярных значений матрицы Якоби – функция svd из библиотеки NumPy.

Для примера приведем указанные параметры для положений платформы, представленных на рисунке 1. Координаты центра платформы соответственно в начальном, промежуточном и конечном положениях – $[0, 0, 0, 0, 0, 0]$, $[-0.3, 0.3, 1, 0.2, 0, 0]$, $[-0.5, 0.4, 1, 0.2, 0.15, -0.05]$.

Матрицы Якоби соответственно для начального, промежуточного и конечного положений:

$$\begin{bmatrix} -0.018 & -0.711 & -0.343 & -0.602 & -0.335 & 0.725 \\ 0.018 & -0.711 & 0.343 & -0.602 & 0.335 & 0.725 \\ 0.6245 & 0.340 & -0.343 & 0.591 & -0.354 & 0.725 \\ 0.607 & 0.371 & 0.343 & 0.011 & -0.688 & 0.725 \\ -0.607 & 0.371 & -0.343 & 0.011 & 0.688 & 0.725 \\ -0.625 & 0.340 & 0.343 & 0.5907 & 0.354 & 0.725 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} -0.040 & -0.655 & -0.068 & -0.811 & -0.012 & 0.586 \\ -0.0332 & -0.636 & 0.467 & -0.656 & 0.469 & 0.591 \\ 0.771 & 0.418 & -0.256 & 0.342 & -0.057 & 0.939 \\ 0.694 & 0.377 & 0.460 & -0.324 & -0.431 & 0.842 \\ -0.548 & 0.254 & -0.570 & -0.223 & 0.792 & 0.568 \\ -0.643 & 0.302 & -0.021 & 0.304 & 0.692 & 0.654 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} -0.043 & -0.563 & -0.009 & -0.880 & 0.0590 & 0.471 \\ -0.041 & -0.568 & 0.483 & -0.716 & 0.482 & 0.505 \\ 0.795 & 0.406 & -0.136 & 0.142 & 0.052 & 0.988 \\ 0.656 & 0.343 & 0.502 & -0.495 & -0.266 & 0.827 \\ -0.528 & 0.225 & -0.640 & -0.336 & 0.767 & 0.546 \\ -0.630 & 0.250 & -0.257 & 0.057 & 0.782 & 0.621 \end{bmatrix}$$

Сингулярные значения матрицы Якоби соответственно для начального, промежуточного и конечного положений:

$$[1.776 \ 1.654 \ 1.654 \ 0.840 \ 0.451 \ 0.451],$$

$$[1.900 \ 1.752 \ 1.564 \ 0.706 \ 0.466 \ 0.285],$$

$$[2.013 \ 1.746 \ 1.445 \ 0.578 \ 0.433 \ 0.187].$$

Индекс управляемости соответственно для начального, промежуточного и конечного положений: 0.254, 0.145, 0.093. Из представленных результатов явно прослеживается, что индекс управляемости снижается при движении от центра к периферии рабочей области, что соответствует традиционным представлениям.

В общем случае индекс управляемости может принимать значения в диапазоне [0, 1]. Чем

более индекс управляемости приближен к нулю, тем сильнее возникает геометрическая неопределенность. Таким образом, нулевое значение индекса управляемости представляет собой сингулярность, а единичное значение изотропное положение.

Результаты. По представленной выше методике выполнен вычислительный эксперимент и на рисунке 3 приведены его результаты: визуализация рассчитанных значений индексов управляемости в кубическом пространстве для 27000 точек. Зоны высокой сингулярности отмечены темно синим цветом и расположены симметрично относительно исследуемой рабочей зоны, что связано с геометрической симметричностью конструкции.

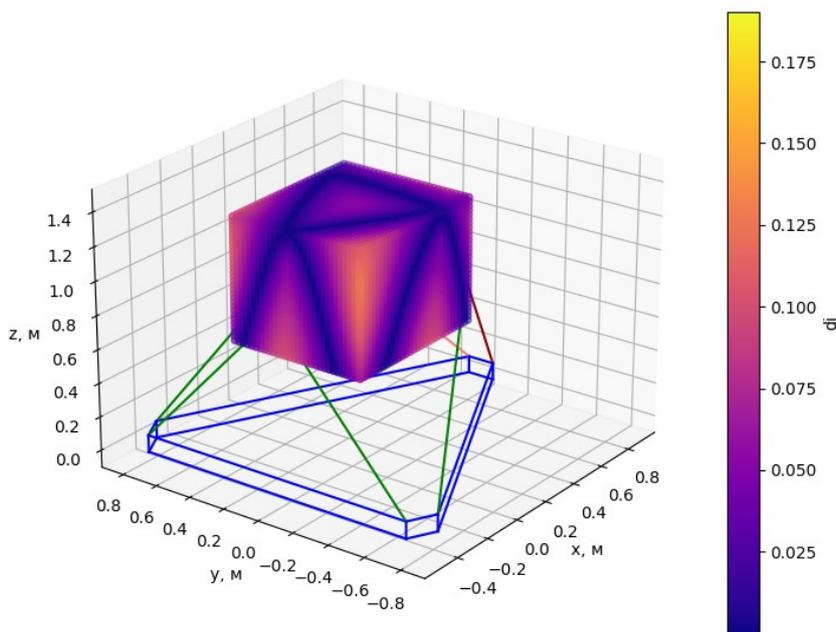


Рис. 3. Рассчитанные значения индекса управляемости для 27 000 точек

Для более детального понимания полученного результата была написана подпрограмма для возможности “рассечения” куба, результат работы которой представлен на рисунке 4.

Результаты по полученным индексам управляемости для 27000 точек обобщены в таблице 1, где sw – это выраженное в процентах соотношение области точек, в которых платформа имеет допустимый индекс управляемости, то есть выполняется условие $di > cdi$.

В качестве критического значения индекса управляемости принято значение 0,1 [12]. Исходя

из полученных результатов, можно сделать вывод о том, что только 22 % точек находятся в допустимом значении индекса управляемости для исследуемого конструктивного исполнения.

Как отмечалось ранее, сингулярные положения обусловлены конструктивными параметрами платформы, в данном случае важно обратить внимание на соотношение радиусов основания к подвижной платформе. Было сделано предположение, что от этого соотношения зависит объем пространства с допустимым индексом управляемости. Оставляя прежними все другие параметры платформы, а также, рассчитывая аналогичным

образом пространство с точками в количестве 27000, была проведена серия экспериментов, в

которых изменялся радиус подвижной платформы. Результаты эксперимента представлены в таблице 2.

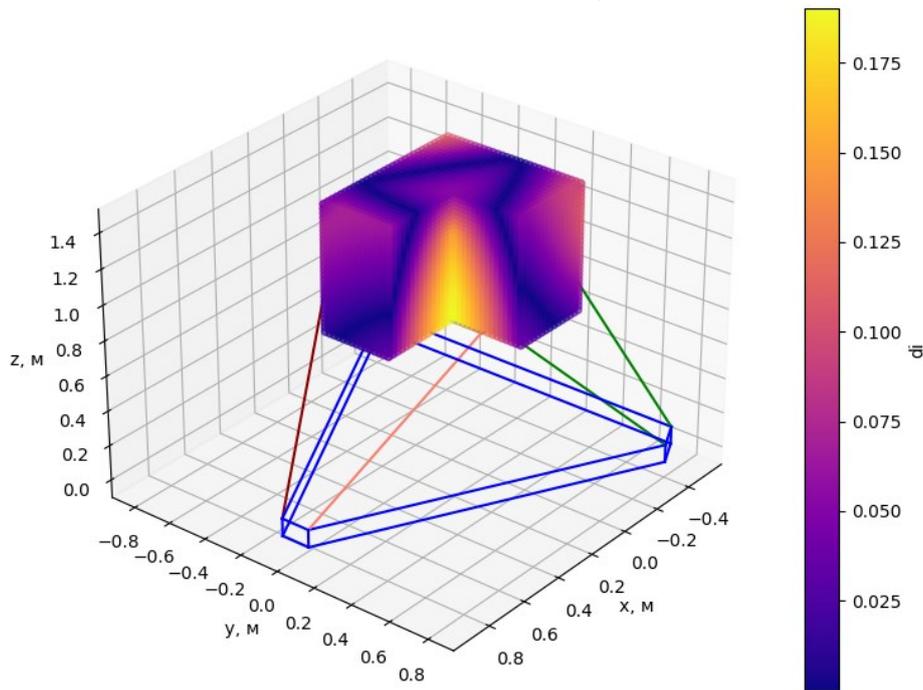


Рис. 4. Визуализация значений индексов управляемости для 27000 точек с разрезом

Таблица 1

Результаты вычисления индексов управляемости

di_{min}	di_{max}	di_{avg}	$cw, \%$	r_b/r_t
0,19	6,4510-6	0,07	22	1,8

Таблица 2

Результаты эксперимента с изменением радиуса подвижной платформы

r_b/r_t	0,75	0,80	0,85	0,90	0,95	1,00	1,05	1,10	1,15	1,20	1,25
$cw, \%$	49,70	53,44	56,73	58,99	60,60	61,19	59,83	58,57	55,80	53,07	50,13
di_{avg}	0,12	0,13	0,15	0,17	0,19	0,2	0,19	0,17	0,16	0,14	0,13

Для более наглядной демонстрации результатов серий экспериментов были построены графики, представленные на рисунке 5.

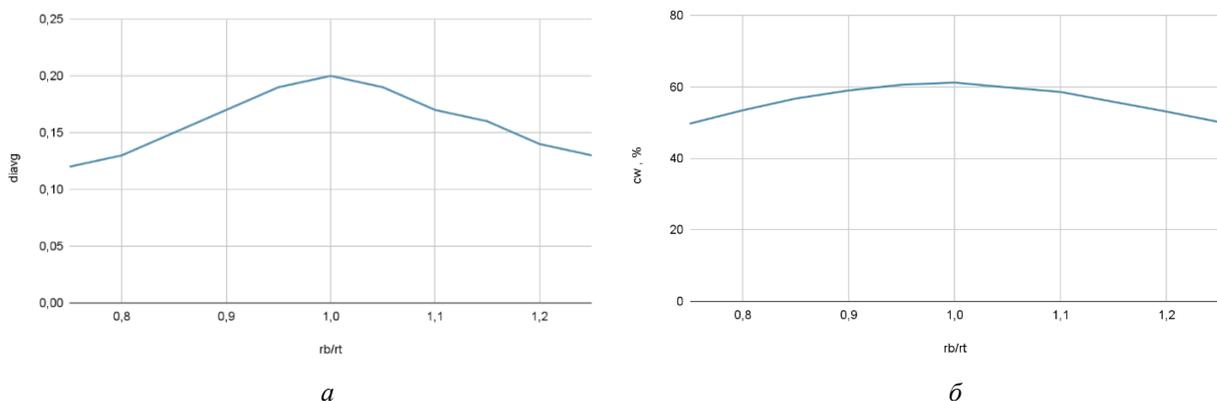


Рис. 5. Результаты вычислительного эксперимента по исследованию конструктивных исполнений соотношений радиусов подвижного и неподвижного оснований конструктивных исполнений платформы: а – график зависимости di_{avg} от r_b/r_t , б – график зависимости cw от r_b/r_t

Анализируя полученные зависимости, можно сделать вывод о том, что при заданных геометрических параметрах платформы, наиболее удовлетворительными показателями с точки зрения среднего индекса управляемости и процентного соотношения количества точек, в которых платформа имеет допустимый индекс управляемости, обладает конструкция платформы с

равными радиусами подвижной платформы и основания. Далее в работе будет использована именно такая конфигурация.

Кроме того, представляет интерес визуализация значений индексов управляемости для 27000 точек для случая равенства нижней и верхней платформ (рис. 6).

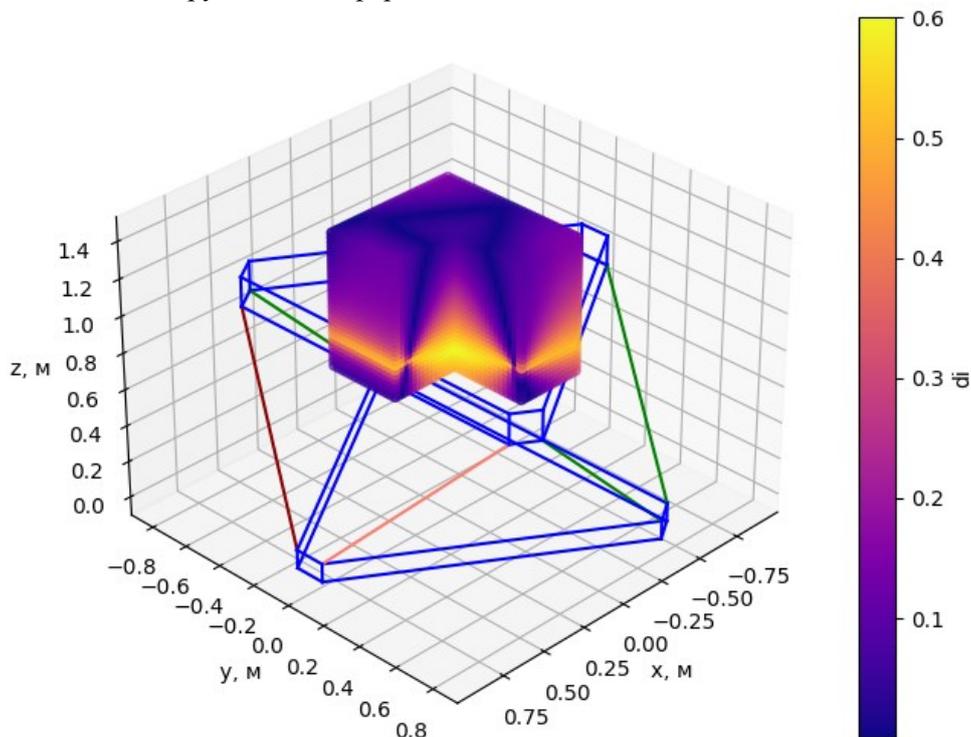


Рис. 6. Визуализация значений индексов управляемости для 27000 точек с разрезом для конструктивного исполнения при равенстве радиусов подвижной платформы и неподвижного основания

Выводы. Представленная модель манипулятора типа платформы Гью-Стюарта и методика определения особых положений посредством вычисления индекса управляемости показывает хорошие результаты и может использоваться при планировании движения параллельного манипулятора с целью обхода зон высокой сингулярности, что повысит надежность его функционирования. Методика позволяет прорабатывать конструктивные варианты параллельного манипулятора, оценивать влияние отдельных конструктивных элементов на особенности формирования рабочей зоны, выявлять проблемные зоны с высокой сингулярностью, выполнять оптимизацию конструкции по критерию максимального индекса управляемости рабочей зоны. Представленный подход применим в рамках разработки, модернизации, оптимизации конструктивных элементов манипуляторов параллельной структуры.

Источник финансирования. Работа выполнена в рамках Программы «Приоритет 2030» на базе Белгородского государственного техно-

логического университета им. В.Г. Шухова с использованием оборудования на базе Центра высоких технологий БГТУ им. В.Г. Шухова.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ермилов Г.С. Разработка систем управления тренажера на основе платформы Стюарта // Colloquium-Journal. 2020. № 12-1 (64). С. 11–21. DOI:10.24411/2520-6990-2020-11786.
2. Лопатин А.А. Разбор механизмов с шестью степенями свободы и практического применения на примере платформы Гью-Стюарта // Современные проблемы теории машин. 2020. № 9. С. 33–36. DOI:10.26160/2307-342X-2020-9-33-36.
3. Грешняков П.И. Совершенствование пневматической системы управления платформы Стюарта // Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета имени академика С.П. Королёва (национального исследовательского университета). 2016. Т. 15. № 1. С. 151–162.
4. Кольцов А.Г., Блохин Д.А., Хабаров А.В. Влияние кинематических характеристик плат-

формы Стюарта на точность перемещения измерительного механизма // Динамика систем, механизмов и машин. 2014. № 2. С. 296–299.

5. Сопин П.К., Гайнуллина Я.Н. Разработка конструкции стенда-симулятора на основе платформы Стюарта-Гауфа // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. 2015. № 5(313). С. 142–145.

6. Ider S.K. Inverse dynamics of parallel manipulators in the presence of drive singularities // Mech. Mach. Theory. 2005. Vol 40. Pp. 33–44. DOI:10.1016/j.mechmachtheory.2004.05.007.

7. Briot S., Arakelian V. Optimal force generation in parallel manipulators for passing through the singular positions // Int. J. Robot. Res. 2008. Vol 27. pp. 967–983. DOI: 10.1177/0278364908094403.

8. Parsa S.S., Boudreau R., Carretero J.A. Reconfigurable mass parameter s to cross direct kinematic singularities in parallel manipulators // Mech. Mach. Theory. 2015. Vol 85. Pp. 53–63. DOI:10.1016/j.mechmachtheory.2014.10.008

9. Briot S., Pagis G., Bouton N., Martinet P. Degeneracy conditions of the dynamic model of parallel robots // Multibody Syst. Dyn. 2006. Vol 37. pp. 371–412. DOI:10.1007/s11044-015-9480-9.

10. Vieira H.L., da Silva M.M., Beck A.T. Reliable motion planning for parallel manipulators // Mech. Mach. Theory. 2019. Vol 140. Pp. 553–566. DOI:10.1016/j.mechmachtheory.2019.06.022.

11. Дуюн И.А., Корнилов А.В., Дуюн Т.А. Применение интерфейса Python-Adams для моделирования работы платформы Гью-Стюарта // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2022. № 10. С. 96–106. DOI:10.34031/2071-7318-2022-7-10-96-106.

12. Дуюн И.А., Горлов А.С., Дуюн Т.А. Совместное моделирование движения параллельного манипулятора с использованием Adams-Matlab // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2022. № 11. С. 108–119. DOI:10.34031/2071-7318-2022-7-11-108-119.

13. Дуюн И.А., Дуюн Т.А. Моделирование траектории движения роботизированной платформы с использованием виртуального прототипа и интерфейса Python-Adams // СТИН. 2022. № 12. С. 34–37.

14. Merlet J. P. Jacobian, Manipulability, Condition Number, and Accuracy of Parallel Robots // Journal of Mechanical Design. 2006. Vol. 128. Pp. 199–206. DOI:10.1115/1.2121740.

15. Shang W., Cong S. Dexterity and Adaptive Control of Planar Parallel Manipulators With and Without Redundant Actuation // Journal of Computational and Nonlinear Dynamics 2015. Vol. 10. Pp. 12–23. DOI:10.1115/1.4027581.

16. Vieira H.L., de Carvalho Fontes J.V., Beck A.T., da Silva M.M. Robust Critical Inverse Condition Number for a 3RRR Robot Using Failure Maps // Springer International Publishing. Pp. 285–294. DOI:10.1007/978-3-319-67567-1_27.

17. Библиотека Basic robotics [Электронный ресурс]. URL: https://github.com/64-B1T/basic_robotics (дата обращения: 09.01.2023).

18. Библиотека Numpy [Электронный ресурс]. URL: <https://numpy.org/> (дата обращения: 09.01.2023).

19. Библиотека Pandas [Электронный ресурс]. URL: <https://pandas.pydata.org/> (дата обращения: 09.01.2023).

20. Библиотека Matplotlib [Электронный ресурс]. URL: <https://matplotlib.org/> (дата обращения: 09.01.2023).

Информация об авторах

Дуюн Иван Александрович, студент кафедры программного обеспечения вычислительной техники и автоматизированных систем. E-mail: duyun77@mail.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Кабалянц Петр Степанович, кандидат технических наук, доцент кафедры программного обеспечения вычислительной техники и автоматизированных систем. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Зуев Сергей Валентинович, кандидат физико-математических наук, доцент кафедры программного обеспечения вычислительной техники и автоматизированных систем. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Дуюн Татьяна Александровна, доктор технических наук, заведующий кафедрой технологии машиностроения. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Малышев Дмитрий Иванович, кандидат технических наук, младший научный сотрудник. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. E-mail: malyshev.d.i@ya.ru. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Поступила 07.01.2023 г.

© Дуюн И.А., Кабелянц П.С., Зуев С.В., Дуюн Т.А., Мальшев Д.И., 2023

***Duyun I.A., Kabalyants P.S., Zuev S.V., Duyun T.A., Malyshev D.I.**

Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhova

**E-mail: duyun77@mail.ru*

DETERMINATION OF THE DEXTERITY INDEX AND DETECTION OF SPECIAL POSITIONS OF THE PARALLEL MANIPULATOR

Abstract. *The article presents a model, tools, methodology and results of identifying special provisions when planning the movement of a parallel manipulator such as the Gough-Stewart platform. Special positions are understood as positions having geometric uncertainty, singularity. Singular positions are estimated by analyzing the Jacobian matrix using its singular value decomposition. The calculation of the Jacobi matrix and its singular values is performed using special libraries of the high-level Python programming language. The presence of special positions in the workspace is analyzed using the dexterity index, which characterizes the ratios of the singular values of the singular value decomposition of the Jacobian matrix. A series of computational experiments are carried out to calculate the dexterity index, identify and analyze special positions in the working area. The results of a computational experiment for various design versions of the platform, which differ in the ratio of the radii of the movable platform and the fixed base, are presented. The analysis of the characteristic features of the formation of singularity zones in their working zones is carried out and design options are identified that have the maximum dexterity index of the working area. The presented approach is applicable in the framework of the development, modernization, optimization of structural elements of parallel structure manipulators.*

Keywords: *parallel structure manipulators, special positions, dexterity index, singularity, motion planning, Gough-Stewart platform.*

REFERENCES

1. Ermilov G.S. Development of simulator management systems based on the Stuart platform [Razrabotka sistem upravleniya trenazhera na osnove platformy Styuarta]. Colloquium-Journal. 2020. No. 12-1 (64). Pp. 11–21. DOI:10.24411/2520-6990-2020-11786. (rus)
2. Lopatin A.A. Parsing of mechanisms with six degrees of freedom and practical application on the example of the Gew-Stewart platform [Razbor mekhanizmov s shest'yu stepenyami svobody i prakticheskogo primeneniya na primere platformy G'yu-Styuarta]. Modern problems of machine theory. 2020. No. 9. Pp. 33–36. DOI:10.26160/2307-342X-2020-9-33-36. (rus)
3. Greshnyakov P.I. Stewart platform pneumatic control system development and characteristic research [Sovershenstvovanie pnevmaticheskoy sistemy upravleniya platformy Styuarta]. Bulletin of the Samara State Aerospace University named after Academician S.P. Korolev (National Research University). 2016. Vol. 15. No. 1. Pp. 151–162. DOI:10.18287/2412-7329-2016-15-1-151-162 (rus)
4. Koltsov A.G., Blokhin D.A., Khabarov A.V. Influence of the kinematic characteristics of the Stuart platform on the accuracy of movement of the measuring mechanism [Vliyaniye kinematicheskikh harakteristik platformy Styuarta na tochnost' peremeshcheniya izmeritel'nogo mekhanizma]. Dynamics of systems, mechanisms and machines. 2014. No 2. Pp. 296–299. (rus)
5. Sopin P.K., Gaynullina Ya.N. Design booth-simulation based on the stewart-gough platform [Razrabotka konstrukcii stenda-simulyatora na osnove platformy Styuarta-Gaufa]. Fundamental and applied problems of engineering and technology. 2015. No. 5(313). Pp. 142–145. (rus)
6. Ider S.K. Inverse dynamics of parallel manipulators in the presence of drive singularities. Mech. Mach. Theory. 2005. Vol. 40. Pp. 33–44. DOI:10.1016/j.mechmachtheory.2004.05.007.
7. Briot S., Arakelian V. Optimal force generation in parallel manipulators for passing through the singular positions. Int. J. Robot. Res. 2008. Vol. 27. Pp. 967–983. DOI:10.1177/0278364908094403.
8. Parsa S.S., Boudreau R., Carretero J.A. Reconfigurable mass parameter s to cross direct kinematic singularities in parallel manipulators. Mech. Mach. Theory. 2015. Vol. 85. Pp. 53–63. DOI:10.1016/j.mechmachtheory.2014.10.008
9. Briot S., Pagis G., Bouton N., Martinet P. Degeneracy conditions of the dynamic model of parallel robots. Multibody Syst. Dyn. 2006. Vol. 37. Pp. 371–412. DOI:10.1007/s11044-015-9480-9.
10. Vieira H.L., da Silva M.M., Beck A.T. Reliable motion planning for parallel manipulators. Mech. Mach. Theory. 2019. Vol. 140. Pp. 553–566. DOI:10.1016/j.mechmachtheory.2019.06.022.

11. Duyun I.A., Kornilov A.V., Duyun T.A. Evaluation of kinematic and dynamic parameters of the Hough-Stewart platform using a virtual prototype [Primenenie interfejsa Python-Adams dlya modelirovaniya raboty platformy G'yu-Styuarta]. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2022. Vol. 7. No. 10. Pp. 96–106. DOI:10.34031/2071-7318-2022-7-10-96-106. (rus)

12. Duyun I.A., Gorlov A.S., Duyun T.A. Co-simulation parallel manipulator movements using Adams-Matlab [Sovmestnoe modelirovanie dvizheniya parallel'nogo manipulyatora s ispol'zovaniem Adams-Matlab]. Bulletin of the Belgorod state technological university named after V.G. Shukhova. 2022. Vol. 7. No 11. Pp. 108–119. DOI:10.34031/2071-7318-2022-7-11-108-119. (rus)

13. Duyun I.A., Gorlov A.S., Duyun T.A. Modeling the trajectory of a robotic platform using a virtual prototype and the Python-Adams interface [Modelirovanie traektorii dvizheniya robotizirovannoj platformy s ispol'zovaniem virtual'nogo prototipa i interfejsa Python-Adams]. STIN. 2022. No. 12. Pp. 34–37. (rus)

14. Merlet J. P. Jacobian, Manipulability, Condition Number, and Accuracy of Parallel Robots. Journal of Mechanical Design. 2006. Vol. 128. Pp. 199–206. DOI: 10.1115/1.2121740.

15. Shang W., Cong S. Dexterity and Adaptive Control of Planar Parallel Manipulators With and Without Redundant Actuation. Journal of Computational and Nonlinear Dynamics 2015. Vol. 10. Pp. 12–23. DOI:10.1115/1.4027581.

16. Vieira H.L., de Carvalho Fontes J.V., Beck A.T., da Silva M.M. Robust Critical Inverse Condition Number for a 3RRR Robot Using Failure Maps, Springer International Publishing/ Pp. 285–294. DOI:10.1007/978-3-319-67567-1_27.

17. Library Basic robotics. URL: https://github.com/64-BIT/basic_robotics (date of treatment: 09.01.2023).

18. Library Numpy. URL: <https://numpy.org/> (date of treatment: 09.01.2023).

19. Library Pandas. URL: <https://pandas.pydata.org/> (date of treatment: 09.01.2023).

20. Library Matplotlib. URL: <https://matplotlib.org/> (date of treatment: 09.01.2023).

Information about the authors

Duyun, Ivan A. Student. E-mail: duyun77@mail.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Kabalyants, Petr S. Candidate of Engineering Sciences. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Zuev, Sergey V. Candidate of Physico-Mathematical Sciences. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Duyun, Tatyana A. Doctor of Engineering Sciences. E-mail: tanduun@mail.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Malyshev, Dmitry I. PhD, Associate Scientist. E-mail: malyshev.d.i@ya.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Received 07.01.2023

Для цитирования:

Дуюн И.А., Кабелянц П.С., Зуев С.В., Дуюн Т.А., Малышев Д.И. Определение индекса управляемости и выявление особых положений параллельного манипулятора // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2023. № 5. С. 116–125. DOI: 10.34031/2071-7318-2023-8-5-116-125

For citation:

Duyun I.A., Kabalyants P.S., Zuev S.V., Duyun T.A., Malyshev D.I. Determination of the dexterity index and detection of special positions of the parallel manipulator. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2023. No. 5. Pp. 116–125. DOI: 10.34031/2071-7318-2023-8-5-116-125