

Научно-теоретический журнал
ВЕСТНИК

БГТУ им. В.Г. Шухова

ISSN 2071-7318

3

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**

№ 3, 2023 год

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

Vol. 3. 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)

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 представляются 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	14.03.2023
Выход в свет	24.03.2023

Формат 60×84/8. Усл. печ. л. 16,74. Уч.-изд. л. 18. Тираж 40 экз. Заказ № 35

© 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)

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

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

Founder / Publisher:	Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov” (BSTU named after V.G. Shukhov) 46 Kostyukova street, Belgorod, 308012, Russian Federation
Editorial office address:	46 Kostyukova street, Belgorod, 308012, Russian Federation BSTU named after V.G. Shukhov, of. 724/4
Printing house address:	46 Kostyukova street, Belgorod, 308012, Russian Federation Publishing Center, BSTU named after V.G. Shukhov
Tel:	+7 (4722) 30-99-77
E-mail:	VESTNIK@intbel.ru
Official website of the journal	https://bulletinbstu.editorum.ru
Подписка и распространение	Subscription index in the united catalogue of "Press of Russia" – 44446. Online subscription: http://www.akc.ru/itm/2558104627/
Signed for printing:	14.03.2023

Главный редактор

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

Заместитель главного редактора

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

Члены редакционной коллегии

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

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

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

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

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).

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

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

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

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

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

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

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).

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

Ядыкина В.В., Михайлова О.А. ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРОПОНИЖАЮЩИХ ДОБАВОК НА ОСНОВЕ СИНТЕТИЧЕСКИХ ВОСКОВ НА СВОЙСТВА БИТУМА	8
Оноприенко Н.Н., Сальникова О.Н. К ВОПРОСУ РАЗРАБОТКИ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ РЕСТАВРАЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ПАМЯТНИКОВ АРХИТЕКТУРЫ	19
Кузнецов С.В., Князева Н.В. ПРИМЕНЕНИЕ ИНФОРМАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ И РЕМОНТА ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ	34
Ильина Т.Н., Колесников М.С., Крюков И.В., Орлов П.А. О СПОСОБАХ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ВОЗДУХООБМЕНА В ЦЕХАХ ЖИВОТНОВОДЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ	46
Тимофеев А.В. ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ КАПИЛЛЯРНОЙ СТРУКТУРЫ ТЕРМОСИФОНА НА ЕГО ТЕПЛОВУЮ МОЩНОСТЬ С ТЕПЛОНОСИТЕЛЯМИ R134a, R410a, R407c	56
Зима А.Г. МОДЕЛЬ ПОДЦЕНТРА САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКОЙ АГЛОМЕРАЦИИ (НА ПРИМЕРЕ ДЕРЕВНИ НОВОСАРАТОВКА). КОНЦЕПЦИЯ РАЗВИТИЯ ОБЩЕГОРОДСКОГО ЦЕНТРА	67
Обласов Ю.А., Брюхов Г.В., Хусаинова А.А. ФОРМИРОВАНИЕ И ТИПОЛОГИЗАЦИЯ ОБЩЕСТВЕННЫХ КЛАДБИЩ В XVII–XX ВВ. НА ТЕРРИТОРИИ САНКТ-ПЕТЕРБУРГА В КОНТЕКСТЕ ОБЩЕЕВРОПЕЙСКИХ ТЕНДЕНЦИЙ	84
Супранович В.М., Сафронова А.Д. ТЕНДЕНЦИИ ФОРМООБРАЗОВАНИЯ МУСОРОПЕРЕРАБАТЫВАЮЩИХ ОБЪЕКТОВ. ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ И ИХ ВЛИЯНИЕ НА АРХИТЕКТУРУ МПО	97
Касимова А.Р. ФОРМИРОВАНИЕ МОБИЛЬНОЙ АРХИТЕКТУРЫ ОБЪЕКТОВ ЭТНОКУЛЬТУРНОГО ТУРИЗМА В УСЛОВИЯХ РОССИЙСКО-КАЗАХСТАНСКОГО ПРИГРАНИЧЬЯ	111

МАШИНОСТРОЕНИЕ И МАШИНОВЕДЕНИЕ

Хуртасенко А.В., Чуев К.В., Рыбак Л.А., Скитова В.М. ДИНАМИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПЛАТФОРМЫ С 6-Ю СТЕПЕНЯМИ ПОДВИЖНОСТИ	122
Романенко К.С., Поляков А.Н., Никитина И.П. ОСОБЕННОСТИ ПРОТЕКАНИЯ ТЕПЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ В СТАНКЕ ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ РАСТРУБА В ПОЛИПРОПИЛЕНОВЫХ ТРУБАХ	134

CONSTRUCTION AND ARCHITECTURE

Yadykina V.V., Mikhailova O.A. THE EFFECT OF TEMPERATURE-REDUCING ADDITIVES BASED ON SYNTHETIC WAXES ON THE PROPERTIES OF BITUMEN	8
Onoprienko N.N., Salnikova O.N. ON THE ISSUE OF DEVELOPING DOMESTIC RESTORATION MATERIALS FOR ARCHITECTURAL MONUMENTS	19
Kuznetsov S.V., Knyazeva N.V. APPLICATION OF BIM-TECHNOLOGIES TO SOLVE THE PROBLEMS OF MAINTENANCE AND REPAIR OF BUILDINGS AND STRUCTURES	34
Il'ina T.N., Kolesnikov M.S., Kryukov I.V., Orlov P.A. ABOUT THE WAYS OF ENSURING VENTILATION IN WORKSHOPS LIVESTOCK COMPLEXES	46
Timofeev A.V. INVESTIGATION OF THE INFLUENCE OF THE CAPILLARY STRUCTURE OF A THERMOSIPHON ON ITS THERMAL POWER WITH HEAT CARRIERS R134a, R410a, R407c	56
Zima A.G. MODEL OF THE SUB-CENTER OF THE ST. PETERSBURG AGGLOMERATION (ON THE EXAMPLE OF NOVOSARATOVKA VILLAGE). DEVELOPMENT CONCEPT OF THE CITY CENTER	67
Oblasov Y.A., Bryukhov G.V., Khusainova A.A. FORMATION AND TYPOLOGATION OF PUBLIC CEMETERIES IN THE XVII-XX CENTURIES ON THE TERRITORY OF ST. PETERSBURG IN THE CONTEXT OF PAN-EUROPEAN TRENDS	84
Supranovich V.M., Safronova A.D. SHAPING TRENDS OF WASTE RECYCLING OBJECTS. MAIN DIRECTIONS AND THEIR IMPACT ON WRO ARCHITECTURE	97
Kasimova A.R. FORMATION OF MOBILE ARCHITECTURE OF OBJECTS OF ETHNO-CULTURAL TOURISM IN THE CONDITIONS OF THE RUSSIAN-KAZAKH BORDERLAND	111

MACHINE BUILDING AND ENGINEERING SCIENCE

Romanenko K.S., Polyakov A.N., Nikitina I.P. FEATURES OF THERMAL PROCESSES IN THE MACHINE FOR BELL FORMATION IN POLYPROPYLENE TUBES	122
Romanenko K.S., Polyakov A.N., Nikitina I.P. FEATURES OF THERMAL PROCESSES IN THE MACHINE FOR BELL FORMATION IN POLYPROPYLENE TUBES	134

СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

DOI: 10.34031/2071-7318-2022-8-3-8-18

Ядыкина В.В., *Михайлова О.А.*Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова***E-mail: mihaylovalymar@mail.ru*

ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРОПОНИЖАЮЩИХ ДОБАВОК НА ОСНОВЕ СИНТЕТИЧЕСКИХ ВОСКОВ НА СВОЙСТВА БИТУМА

Аннотация. Получение теплых асфальтобетонных смесей является актуальной задачей в дорожной отрасли, так как позволяет решать экологические, технологические и экономические проблемы приготовления и укладки асфальтобетона. Одной из таких технологий является получение асфальтобетона с применением органических добавок на основе синтетических восков, которые до недавнего времени были представлены на рынке исключительно импортными продуктами. В сложившейся политико-экономической ситуации актуальность разработки и внедрения отечественных аналогов восковых температуропонижающих добавок становится важной задачей. В статье изучено влияние добавок на основе синтетических восков на такие физико-химические свойства битумного вяжущего, как пенетрация, температура размягчения по КиШ, растяжимость, температура хрупкости по Фраасу, адгезия к щебню. Приведены показатели и сравнительный анализ свойств вяжущих, модифицированных отечественной комплексной добавкой Вискодор ПВ-2 и импортными органическими добавками Licomont BS-100 и Sasobit. Выявлено, что новая отечественная комплексная добавка имеет преимущества перед импортными восковыми добавками: позволяет понизить температуру хрупкости вяжущего, повысить температуру размягчения, адгезию битума к минеральным материалам при меньшем снижении пенетрации. Установлены рациональные концентрации применения добавки Вискодор ПВ-2.

Ключевые слова: теплый асфальтобетон, битум, температуропонижающие добавки, воски, физико-химические свойства.

Введение. В настоящее время как в нашей стране, так и во всем мире, в индустрии дорожного строительства уделяется все большее внимание инновационным технологиям получения теплых асфальтобетонов (ТАБ), позволяющим решить ряд экологических, экономических и технологических проблем при приготовлении асфальтобетона и укладке дорожного покрытия [1–4].

По сравнению с традиционными горячими смесями, теплые асфальтобетонные смеси обладают рядом важных преимуществ. Так, снижение температуры приготовления и укладки асфальтобетонной смеси дает значительное снижение энергозатрат, позволяет снизить выбросы загрязняющих веществ в атмосферу и улучшить условия труда рабочих, как при производстве, так и при укладке асфальтобетона [5].

Более низкие температуры приготовления теплых асфальтобетонных смесей обеспечивают снижение интенсивности старения битума, что способствует сохранению свойств вяжущего и улучшению долговечности дорожного покрытия. Применение температуропонижающих добавок при производстве теплых асфальтобетонов снижает вязкость битума, что, в свою очередь, приводит к улучшению уплотняемости смеси, позволяет проводить укладку при более низких темпе-

ратурах, расширяет рамки сезона дорожных работ, повышает дальность транспортировки асфальтобетонных смесей. Кроме того, снижение вязкости позволяет ввести большее количество переработанного асфальтобетона в смесь, что является важным преимуществом, как в экономическом, так и в экологическом плане [6].

В США и странах Западной Европы для получения теплых асфальтобетонов часто применяют органические добавки – природные и синтетические воски. Это воски Фишера-Тропша, воск Монтана, амидные воски и т. п. Используемые в качестве таких добавок воски обладают высокой температурой плавления (80–140 °С) и способны изменить свойства исходного битумного вяжущего [7].

Концентрация введения восков в теплые асфальтобетонные смеси составляет обычно от 2 до 4 % от массы битума. Снижение температуры приготовления асфальтобетонной смеси с применением восковых добавок составляет 20–30 °С. Важным преимуществом использования восков в составе асфальтобетона является повышение его устойчивости к пластическим деформациям и улучшение прочностных характеристик [8].

Органические (восковые) добавки имеют свои преимущества и недостатки. Исследования [9, 10] показывают, что они уменьшают вязкость

битума при высоких температурах и, таким образом, снижают интенсивность старения и температуры смешивания и уплотнения, а также увеличивают прочность и стойкость к колееобразованию асфальтобетонного покрытия. Но, в отличие от поверхностно-активных добавок, восковые добавки увеличивают вязкость при температурах укладки, что может привести к снижению уплотняемости и трещиностойкости асфальтобетона. В этом случае перспективной альтернативой могут стать комплексные добавки, включающие в себя как воски, так и поверхностно-активные вещества.

До недавнего времени на отечественном рынке органические добавки были представлены исключительно импортными продуктами. В условиях сложившегося кризиса и необходимости импортозамещения, особенно актуальным становится разработка и внедрение новых отечественных органических добавок.

Для оценки эффективности применяемых температуропонижающих добавок в составе асфальтобетонных смесей необходимо, прежде всего, учесть их влияние на структуру и качественные характеристики битумного вяжущего как основного структурообразующего компонента асфальтобетона.

Материалы и методы. В данной работе впервые исследовано влияние отечественной добавки Вискодор ПВ-2, разработанной научно-производственной компанией «Селена» в сотрудничестве с кафедрой автомобильных и железных дорог Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова на физико-химические свойства битума. Данная добавка является комплексом модифицированных синтетических восков и ПАВ. Для проведения сравнительных испытаний в исследовании были использованы органические добавки на основе синтетических восков: Sasobit (производит «SasolWax», Германия) и Licomont BS-100 (производит «Clariant», Швейцария).

Добавка Sasobit представляет собой синтетический парафиновый воск, получаемый путем газификации угля или природного газа (метана) с использованием технологии синтеза Фишера-Тропша. Sasobit поставляется в виде гранул или порошка. При температуре выше 120 °С он полностью растворяется в битуме, а при температуре ниже 102 °С образует в битуме кристаллообразную сетчатую структуру [11]. При температурах ниже температуры размягчения добавка Sasobit образует решетчатую структуру с вяжущим, что позволяет повысить сопротивление к образованию трещин при температурах эксплуатации асфальтобетонного покрытия. Производитель ре-

комендует применение добавки Sasobit в концентрации от 2 до 3 % от массы битумного вяжущего для достижения необходимого снижения вязкости и обращает внимание на то, что концентрация не должна превышать 4 % от массы в целях предотвращения возможного неблагоприятного изменения свойств вяжущего при низких температурах.

Добавка Licomont BS-100 представляет собой амидный воск – продукт реакции смесей длинноцепочечных жирных кислот с алифатическими диаминами. Температура плавления 140 °С. Согласно результатам исследований [12], введение в состав вязких нефтяных дорожных битумов 2,0–3,0 % добавки «Licomont BS 100» обеспечивает снижение их вязкости при высоких технологических температурах (120–180 °С) и ее существенный рост при снижении температуры ниже (110–120 °С), по сравнению с исходным битумом.

Добавки Sasobit и Licomont BS-100 были выбраны, как получившие наиболее широкое распространение в России и странах ближнего зарубежья [12–14]. Влияние указанных добавок исследовались, как отечественными [14], так и зарубежными исследователями [8–10, 15].

В состав добавки Вискодор ПВ-2 входят полиэтиленовый и амидный воски в качестве модификатора реологии, позволяющего снизить вязкость битума при температуре приготовления асфальтобетонной смеси и значительно повысить высокотемпературную устойчивость битума. Поскольку восковые модификаторы могут ухудшить низкотемпературную устойчивость битума и трещиностойкость асфальтобетона [16], для улучшения низкотемпературных свойств, в состав данной комплексной добавки были введены растительные масла и ПАВ на основе амидов жирных кислот растительных масел. Также ПАВ в составе модификатора выступает в качестве промотора адгезии.

В качестве вяжущего в работе использован битум вязкий дорожный марки БНД 100/130 производства АО «Газпромнефть – Московский НПЗ».

В таблице 1 представлены значения показателей исследуемого образца.

Для изучения влияния органических добавок на свойства битума, было принято решение использовать введение добавок Sasobit и Licomont BS-100 в концентрациях 2 и 3 %, исходя из опыта предыдущих исследований и рекомендаций производителя. Для получения наиболее полной информации о влиянии разрабатываемого комплексного препарата Вискодор ПВ-2 на битум и подбора его наиболее рациональной концентрации, использовался битум, модифицированный

указанным препаратом в диапазоне концентрации от 0,5 до 3 % с шагом увеличения концентрации на 0,5 %. Составы исследуемых вяжущих представлены в таблице 2.

Таблица 1

Физико-химические характеристики битума БНД 100/130

Показатель	Нормативные требования по ГОСТ 33133-2014 для БНД 100/130	Фактические данные	Метод испытания
Глубина проникания иглы при 25 °С, 0,1 мм	101-130	103	ГОСТ 33136
Глубина проникания иглы при 0 °С, 0,1 мм	Не менее 30	35	ГОСТ 33136
Температура размягчения по кольцу и шару, °С	Не менее 45	45	ГОСТ 33142
Температура хрупкости по Фраасу, °С	Не выше -20	-20,5	ГОСТ 33143
Растяжимость, при 25 °С, см	Не менее 70	Более 150	ГОСТ 33138
Растяжимость, при 0 °С, см	Не менее 4	4,5	ГОСТ 33138

Таблица 2

Составы исследуемых модифицированных битумных вяжущих

№ состава	Введенная добавка	Процентное содержание добавки %
1	Исходный битум без добавки	0
2	Вискодор ПВ-2	0,5
3		1,0
4		1,5
5		2,0
6		2,5
7		3,0
8	Sasobit	2,0
9		3,0
10	Licomont BS-100	2,0
11		3,0

Приготовление составов осуществлялось следующим образом: в емкость с разогретым до 150 °С битумом вводили расчетное количество добавки и при постоянной температуре производили перемешивание при помощи лабораторной мешалки со скоростью 100 об/мин в течение 1 часа.

В полученных таким образом составах исследовались следующие физико-химические свойства битумного вяжущего: глубина проникания иглы при 0 °С и 25 °С (по ГОСТ 33136–2014), температура размягчения по кольцу и шару (по ГОСТ 32054–2013), температура хрупкости по Фраасу (по ГОСТ 11507–78), растяжимость при 0 °С и 25 °С (по ГОСТ 33138–2014), адгезия вяжущего к щебню (по ГОСТ 12801–98 п. 28). Для оценки когезионных свойств битума было также проведено измерение максимального усилия битума при растяжении образцов на автоматическом дуктилометре Линтел ДБ 150 (по ГОСТ 33138-2014).

Основная часть. Полученные результаты исследований физико-химических свойств модифицированного вяжущего представлены в таблице 3.

Анализ полученных данных показал, что общим изменением для всех образцов модифицированного битума являются: снижение пенетрации при 25 и при 0 °С (рис. 1), повышение температуры размягчения, увеличение интервала пластичности, снижение растяжимости при 25 и при 0 °С.

Снижение пенетрации как при температуре 25 °С, так и при температуре 0 °С, при введении всех исследуемых добавок связано со способностью восков создавать в битуме структуры, увеличивающие вязкость битума при температурах ниже температуры затвердевания применяемых восков [11]. Наибольшее снижение пенетрации наблюдается при введении добавки Sasobit. Так, введение 2 % Sasobit снижает пенетрацию при температуре 25 °С на 46,6 %, а введение 3 % до-

бавки на 53,4 %. Пенетрация при 0 °С обоих образцов снижается на 37,1 %. Меньшее снижение пенетрации как при температуре 25 °С, так и при температуре 0 °С, вызвали добавки Вискодор ПВ-2 и Licomont BS-100. Так, при введении Licomont BS-100 изменение условной вязкости при 25 °С и 0 °С составило 40,8 и 25,7 % соответственно. Введение добавки Вискодор ПВ-2 в концентрации 3 % снизило пенетрацию при температуре 25 °С на 40,2 %, а при температуре 0 °С – на 22,9 %.

свидетельствует о меньшем снижении пластических свойств битума, что в сочетании со снижением температуры хрупкости может оказать положительное влияние на характеристики вяжущего при низких температурах. Это связано с присутствием в составе указанной добавки растительных масел и ПАВ на основе амидов жирных кислот растительных масел, обладающих пластифицирующим действием на битум.

Таблица 3

Физико-химические характеристики битума после модификации

Наименование показателя	Номера составов										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Глубина проникания иглы, 0,1 мм, при 25 °С	103	102	82	75	71	65	62	55	48	67	61
Глубина проникания иглы, 0,1 мм при 0 °С	35	32	29	29	28	28	27	22	22	27	26
Температура размягчения по «КиШ», °С	45	45	46	60	63	65	73	63	72	62	82
Температура хрупкости, по Фраасу, °С	-20,5	-21,0	-21,0	-22,0	-22,0	-21,0	-21,0	-19,0	-18,0	-19,0	-19,0
Интервал пластичности, °С	65,5	66	67	82	85	86	94	82	90	81	101
Растяжимость, см, при 25 °С	более 150	более 150	112	78,8	74,8	69,5	64,0	73,3	65,3	72,0	61,8
Максимальное усилие при растяжении, при 25 °С, Н	0,60	0,64	0,66	1,79	3,05	3,13	3,43	3,30	5,62	3,39	4,00
Растяжимость, см, при 0 °С	4,5	4,5	4,8	4,6	4,4	3,4	3,0	4,6	2,9	4,3	3,2
Максимальное усилие при растяжении, при 0 °С, Н	130,89	131,92	137,83	149,42	152,03	159,92	160,52	147,32	190,62	179,32	180,38
Сцепление вяжущего с минеральным материалом, баллов	2	2	3	4	4	5	5	2	3	3	3

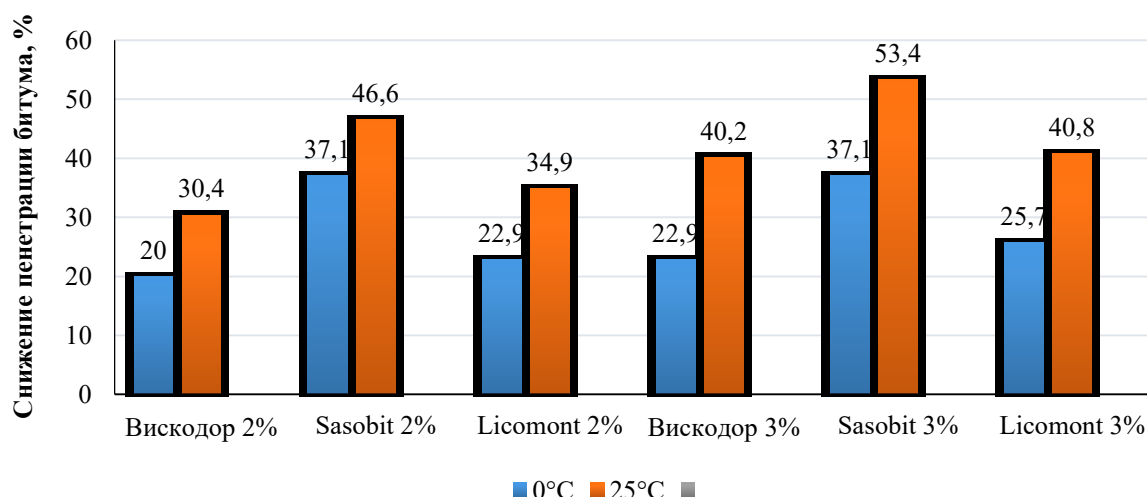


Рис. 1. Снижение пенетрации битума БНД 100/130, модифицированного восковыми добавками

Исследуемые добавки значительно повышают температуру размягчения битума, что также связано с увеличением структурированности вяжущего при введении восков. Примечательно, что при концентрации 2 % все исследуемые добавки повышают температуру размягчения практически одинаково (таб. 3, рис. 2). При

концентрации 3 % наибольший эффект на увеличение температуры размягчения оказала добавка Licomont BS-100. Это может быть связано с высокой температурой плавления данного воска (140 °C).

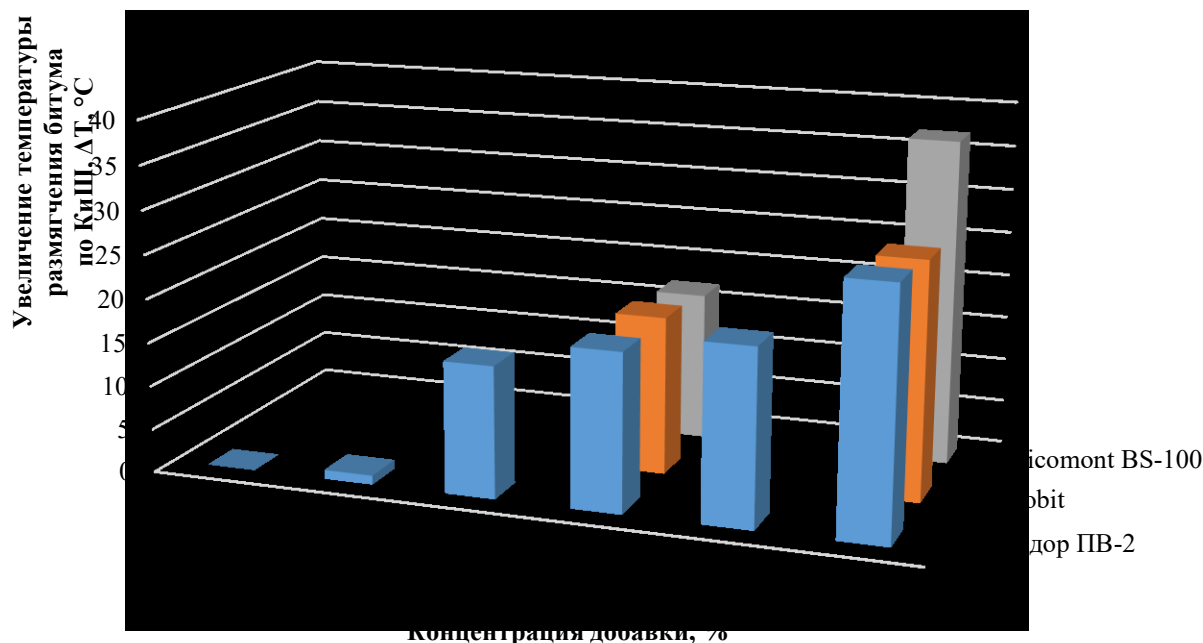


Рис. 2. Зависимость увеличения температуры размягчения по КиШ от концентрации ввода добавок

Из представленных на рисунке 2 результатов видно, что введение добавки Вискодор ПВ-2 в концентрациях 0,5 и 1,0 % практически не повлияло на температуру размягчения, что означает недостаточную структурированность битума при данных концентрациях. При 1,5 % происходит значительное увеличение температуры размягчения (на 15 °C по сравнению с температурой размягчения исходного битума), что свидетельствует о достижении концентрации, достаточной для создания структурной сетки в битуме, способствующей повышению устойчивости к температурному воздействию. Увеличение концентрации добавки приводит к пропорциональному росту температуры размягчения битума. Повышение температуры размягчения битумного вяжущего можно отнести к основным преимуществам восковых добавок, позволяющим улучшить эксплуатационные характеристики дорожного покрытия. В исследованиях температуропонижающих добавок, содержащих преимущественно ПАВ [16–20], температура размягчения битумного вяжущего остается неизменной или даже снижается.

В результате испытаний выявлено, что добавки Sasobit и Licomont BS-100 дают некоторое повышение температуры хрупкости, что может

негативно отразиться на эксплуатационных характеристиках дорожного полотна при пониженных температурах. При этом обнаружено, что введение комплексной добавки Вискодор ПВ-2 не только не ухудшает показатель температуры хрупкости, но и несколько улучшают его за счет пластифицирующего действия растительных масел, присутствующих в составе данного модификатора. Так, образцы 4 и 5, содержащие 1,5 и 2,0 % Вискодор ПВ-2, понижают температуру хрупкости на 1,5 °C, что свидетельствует о создании структуры, более устойчивой к переходу в хрупкое состояние. Далее, при повышении концентрации выше 2,5%, температура хрупкости несколько повышается из-за увеличения содержания восков в составе битумного вяжущего.

При введении исследуемых добавок наблюдается повышение интервала пластичности битума за счет незначительного изменения температуры хрупкости и существенного повышения температуры размягчения по КиШ. При использовании добавки Вискодор ПВ-2 в концентрации менее до 1 % интервал пластичности практически не изменяется, эффект увеличения интервала пластичности наблюдается при введении добавки в концентрации 1,5% и более. На рис.3.

приведено сравнение увеличения интервала пластичности при введении 2 и 3 % исследуемых добавок. При использовании 2 % добавок наибольшее увеличение интервала пластичности дает добавка Вискодор ПВ-2, при введении 3% – Licomont BS-100, что вполне закономерно и обусловлено значительным повышением температуры размягчения.

Введение исследуемых добавок значительно снизило растяжимость битума при 25 °С. Для всех исследуемых добавок снижение растяжимости в зависимости от увеличения концентрации происходило практически одинаково. Наибольшее снижение растяжимости наблюдалось при увеличении количества исследуемых добавок до 3 %. Так, введение 3% Вискодор ПВ-2 снизило растяжимость битума с показателя, превышающего 150 см до 64 см, 3 % Sasobit – до 65,3 см, 3 % Licomont BS-100 – до 61,8см. Снижение рас-

тяжимости битума свидетельствует об увеличении структурированности вяжущего с увеличением содержания восковых компонентов. Растяжимость битума при 0 °С, характеризующая пластичность вяжущего при низких температурах, при концентрациях добавок до 2 % включительно, практически не снижается, но снижается при дальнейшем повышении концентрации до 3 % для всех исследуемых в данной работе добавок практически аналогичным образом. Так введение 3 % Вискодор ПВ-2 снижает растяжимость битума на 33,3 %, 3 % Sasobit – на 35,6 %, 3 % Licomont BS-100 – на 28,9 %. Таким образом, пластические свойства битума при пониженных температурах не ухудшаются при введении в битум исследуемых восковых добавок в концентрациях до 2 %, но ухудшаются при дальнейшем увеличении концентрации до 3 %.

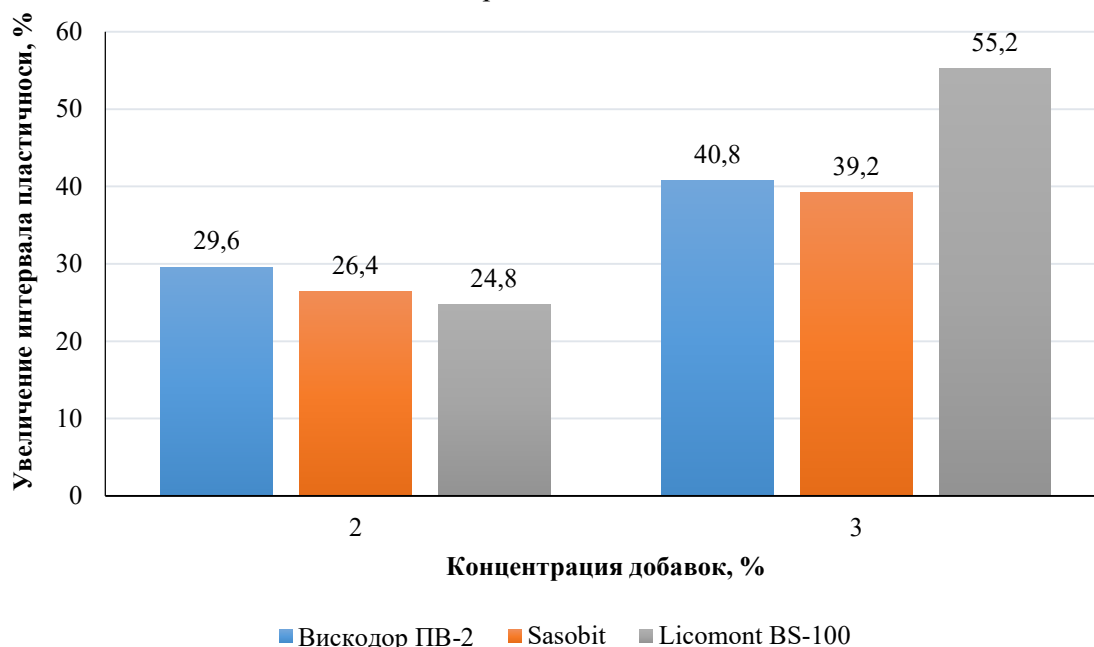


Рис. 3. Увеличение интервала пластичности битума при введении 2 и 3 % исследуемых добавок

Определение максимального усилия при растяжении битума позволяет оценить когезионные свойства битума. Из результатов испытаний следует, что с увеличением концентраций исследуемых добавок максимальное усилие при растяжении растет, следовательно, увеличивается когезионная прочность вяжущего. При концентрации ввода 2 % разница между максимальным усилием при растяжении при 25 °С для всех исследуемых добавок незначительна. В то же время при концентрации 3 % наибольшее максимальное усилие при растяжении наблюдается при введении Sasobit – 5,62 Н, а наименьшее – для добавки Вискодор ПВ-2 – 3,43 Н. Но при использовании добавок Licomont BS-100 и Sasobit в указанной концентрации значительно увеличивается максимальное усилие при растяжении при

0 °С, а растяжимость наоборот значительно падает, что свидетельствует об ухудшении пластических свойств при низких температурах. Так, использование 3 % Licomont BS-100 увеличивает максимальное усилие при растяжении при 0 °С на 37,8 %, а 3 % Sasobit – на 45,63 % по сравнению с исходным битумом, в то время как при использовании 3 % добавки Вискодор ПВ-2 этот показатель увеличивается меньше – на 22,6 %, что объясняется влиянием растительных масел, содержащихся в добавке.

При разработке новых добавок для теплых асфальтобетонных смесей важным вопросом является получение вяжущего с высокими адгезионными свойствами, обеспечивающими прочное

и устойчивое сцепление с поверхностью минеральных материалов в условиях пониженных температур.

В данной работе показатель сцепления битума со щебнем определяли методом визуальной оценки степени сохранности пленки битумного

вяжущего на зернах щебня после его кипячения в дистиллированной воде. На рисунке 4 представлены фотографии зерен щебня с битумом после кипячения, а в таблице 3 – результаты оценки показателя сцепления в баллах.

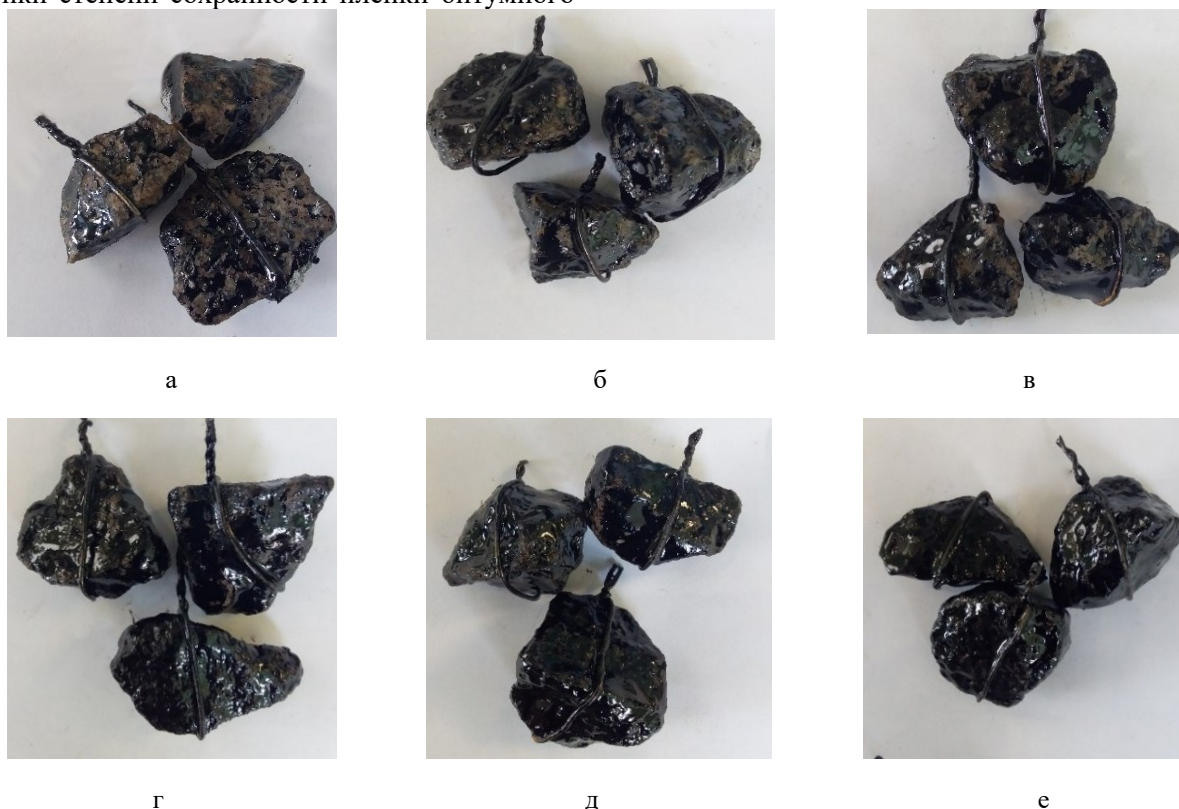


Рис. 4. Внешний вид щебня с битумным покрытием после кипячения:
а) Битум без добавок; б) Sasobit - 3%; в) Licomont BS-100 – 3%;
г) Вискодор ПВ-2 – 2%; д) Вискодор ПВ-2 – 2,5%; е) Вискодор ПВ-2 – 3%

Очевидно, что введение добавки Вискодор ПВ-2 в концентрации более 1,5 % дают значительное увеличение показателя сцепления с минеральным материалом. Так введение Вискодор ПВ-2 в концентрации 1,5 % увеличивает адгезию битумного вяжущего с 2 до 4 баллов. Адгезия вяжущего, содержащего 2,5 % и выше добавки Вискодор ПВ-2, составила 5 баллов. Это объясняется наличием в составе добавки поверхностно-активных веществ. Добавки Sasobit и Licomont BS-100 незначительно увеличивают адгезию. Введение добавки Sasobit в количестве 2 % практически не улучшает адгезию, введение 3 % добавки увеличивает адгезию вяжущего с 2 до 3 баллов. Таким образом, наличие в составе добавки Вискодор ПВ-2 поверхностно-активных веществ на основе амидов жирных кислот дает значительное преимущество, позволяя увеличивать адгезионные свойства битумного вяжущего.

Опираясь на анализ всех полученных данных, можно заключить, что, несмотря на наиболее значительное увеличение температур размягчения по КиШ и интервала пластичности при введении исследуемых добавок в концентрации 3

%, это ухудшает низкотемпературные характеристики вяжущего, поэтому наиболее рациональные концентрации введения для Вискодор ПВ-2 – от 1,5 до 2 %, для добавок Sasobit и Licomont BS-100 – 2 %, при которых низкотемпературные свойства битума изменяются менее значительно.

Выводы.

1. Все исследуемые восковые добавки снижают пенетрацию битума. Это положительно отразится на устойчивости дорожного полотна к пластическим деформациям, но может негативно повлиять на эффективность укладки смеси. Наиболее значительно повлияла на снижение пенетрации и растяжимости битума добавка Sasobit. Наименьшее влияние на снижение пенетрации как при 25 °С, так и при 0°С, оказала добавка Вискодор ПВ-2, что обусловлено наличием в составе этого модификатора компонентов, обладающих пластифицирующим действием.

2. Все исследуемые добавки увеличивают интервал пластичности вяжущего за счет повышения температуры размягчения вяжущего. Такой эффект обусловлен образованием упорядо-

ченной коллоидной структуры в битумном вяжущем при введении органических добавок. Это положительно отразится на устойчивости дорожного полотна к нагрузкам при повышенных температурах в летний период.

3. Обнаружено, что новая отечественная добавка в результате наличия в составе растительных масел и ПАВ на основе амидов жирных кислот растительных масел, в отличие от импортных восковых добавок Sasobit и Licomont BS-100, не ухудшает, а в концентрациях 1,5 и 2,0 % даже улучшает показатель температуры хрупкости по Фраасу, что положительно повлияет на устойчивость дорожного полотна воздействию пониженных температур в зимний период.

4. Введение исследуемых добавок снижает растяжимость битума при 25 °С пропорционально вводимой концентрации, что свидетельствует об увеличении структурированности вяжущего с увеличением содержания восковых компонентов. Растяжимость битума при 0 °С, характеризующая пластичность вяжущего при низких температурах, при концентрациях исследуемых добавок до 2 % включительно, практически не снижается, но ухудшается при дальнейшем повышении концентрации до 3 %. Следовательно, введение исследуемых добавок в концентрациях, не превышающих 2 %, является рациональным для дальнейших исследований.

5. Выявлено, что добавка Вискодор ПВ-2 значительно увеличивает сцепление битума с каменным материалом, что может оказать положительное влияние на долговечность дорожного покрытия.

6. Отечественная добавка Вискодор ПВ-2 по влиянию на физико-химические свойства битума не уступает импортным модификаторам на основе синтетических восков Sasobit и Licomont BS-100.

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

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Печенкин И.Э., Овчинкин И.В. Современные способы производства теплого асфальтобетона // Научные исследования и современное образование: сборник материалов V Международной научно-практической конференции, Чебоксары, 29 декабря 2018 года. Чебоксары: Общество с ограниченной ответственностью "Центр научного сотрудничества "Интерактив плюс", 2018. С. 193–195.

2. Чудинов С.А., Репников Д.В. Современные технологии получения теплых асфальтобетонных смесей // Лесная наука в реализации кон-

цепции уральской инженерной школы: социально-экономические и экологические проблемы лесного сектора экономики: материалы XII Международной научно-технической конференции, Екатеринбург, 21 мая – 22 2019 года/ Министерство науки и высшего образования РФ, Уральский государственный лесотехнический университет. – Екатеринбург: федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Уральский государственный лесотехнический университет", 2019. С. 124–127.

3. Алшахван А., Калгин Ю.И. Преимущества применения технологии теплых асфальтобетонных смесей по сравнению с другими технологиями асфальтобетонных смесей // Высокие технологии в строительном комплексе. 2019. № 2. С. 19–25.

4. Смирнов Д.С., Броднева В.Е., Лобанова А.С. Анализ опыта применения теплых асфальтобетонных смесей // Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. 2019. № 4(50). С. 455–461.

5. Шабуров С.С., Кибирев В.Ю. Технология производства теплой асфальтобетонной смеси на вязком битуме // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2016. № 1(54). С. 173–179.

6. Хардукаш А.Ю., Гриневич Н.А. Производство теплых асфальтобетонных смесей для расширения рабочего сезона в дорожном строительстве // Научное творчество молодежи – лесному комплексу России: материалы XVII Всероссийской (национальной) научно-технической конференции студентов и аспирантов / Министерство образования и науки Российской Федерации, Уральский государственный лесотехнический университет. Екатеринбург, 2021. С. 140–143.

7. Третьяков Р.О. Теплый асфальтобетон в дорожном строительстве // Основные средства. 2014. №5. С. 1784.

8. Jamshidi A., Hamza M.O., You Z. Performance of Warm Mix Asphalt containing Sasobit: State-of-the-art // Construction and Building Materials. 2013. №. 38. Pp. 530–553. doi:10.1016/j.conbuildmat.2012.08.015.

9. Silva H.M.R.D., Oliveira, J.R.M. Peralta J., Zoorob S.E. Optimization of warm mix asphalts using different blends of binders and synthetic paraffin wax contents // Construction and Building Materials. 2010. № 9. Pp. 1621–1631. doi: 10.1016/j.conbuildmat.2010.02.030.

10. Kenneth A., Yaw A.T. Warm-Mix Asphalt and Pavement Sustainability: A Review // Open Journal of Civil Engineering. 2016. № 6. Pp. 84–93. doi:10.4236/ojce.2016.62008.

11. Алшахван А., Калгин Ю.И. Обзор технологий приготовления тёплых асфальтобетонных смесей // Молодой ученый. 2019. № 32(270). С. 102–107.
12. Жданюк В.К., Шрестха Р.Б., Костин Д.Ю., Яшин В.А. Исследование влияния технологических режимов перемешивания на свойства битумов с добавкой «Licomont BS 100» // ХНАДУ. Научно-технический сборник. 2009. №90. С. 238–242.
13. Пыриг Я.И., Галкин А.В. Сравнительная оценка влияния энергосберегающих добавок на свойства битума // Вестник Харьковского национального автомобильно-дорожного университета. 2020. № 90. С. 114–124. doi:10.30977/BUL.2219-5548.2020.90.0.114.
14. Ядыкина В.В., Холопов В.С., Михайлова О.А., Изменение свойств битума, модифицированного температуропонижающими добавками // Вестник Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. 2022. № 3(155). С. 100–104.
15. Zhao G. Workability of Sasobit Warm Mixture Asphalt // 2012 International Conference on Future Energy, Environment, and Materials. 2012. № 16. Pp. 1230–1236. doi:10.1016/j.egypro.2012.01.196.
16. Шеховцова С.Ю., Высоцкая М.А., Холопов В.С. Особенности технологии теплого асфальтобетона // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2017. № 2. С. 43–48. doi:10.12737/24131.
17. Куликова А.В., Соломенцев А.Б. Реологические свойства дорожного битума с добавками для теплого асфальтобетона // Строительство и реконструкция. 2013. № 2(46). С. 104–111.
18. Ядыкина В.В., Гридчин А.М., Холопов В.С., Траутвайн А.И. Изменение свойств битума и асфальтобетона под влиянием добавок для теплого асфальтобетона // Сб. статей Международной научной конференции «Наукоемкие технологии и инновации», Белгород, 09–10 октября 2014 г. Белгород: Изд-во БГТУ им. В. Г. Шухова, 2014. С. 124–128.
19. Yadykina V.V., Akimov A.E., Trautvain A.I., Kholopov V.S. Influence of DAD-TA temperature-reducing additive on physical and mechanical properties of bitumen and compaction of asphalt concrete // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. 2018. №. 327. Pp. 1–5. doi:10.1088/1757-899X/327/3/032006.
20. Ядыкина В.В., Гридчин А.М., Траутвайн А.И., Чистяков Ю.П. Влияние энергосберегающих добавок на свойства щебеночно-мастичного асфальтобетона на примере Evotherm, Азол 1007 и Адгезол 3-ТД // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2015. № 6. С. 149–153.

Информация об авторах

Ядыкина Валентина Васильевна, доктор технических наук, профессор кафедры автомобильных и железных дорог. E-mail: vvyu53@yandex.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Михайлова Ольга Анатольевна, аспирант кафедры автомобильных и железных дорог. E-mail: mihaylovalymar@mail.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Поступила 06.01.2023 г.

© Ядыкина В.В. Михайлова О.А., 2023

Yadykina V.V., *Mikhailova O.A.

Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov

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

THE EFFECT OF TEMPERATURE-REDUCING ADDITIVES BASED ON SYNTHETIC WAXES ON THE PROPERTIES OF BITUMEN

Abstract. Obtaining warm asphalt concrete mixes is an urgent task in the road industry, as it allows solving environmental, technological and economic problems of preparing and laying asphalt concrete. One of such technologies is the production of asphalt concrete using organic additives based on synthetic waxes, which until recently were presented on the market exclusively with imported products. In the current political and economic situation, the relevance of the development and implementation of domestic analogues of wax temperature-lowering additives becomes an important task. The article studies the effect of additives based on synthetic waxes on such physico-chemical properties of bitumen binder as penetration, softening temperature,

extensibility, fragility temperature by Fraas, adhesion to crushed stone. The indicators and comparative analysis of the properties of binders modified by the domestic complex additive Viskodor PV-2 and imported organic additives Licomont BS-100 and Sasobit are given. It was revealed that the new domestic complex additive has advantages over imported wax additives: it allows to lower the brittleness temperature of the binder, increase the softening temperature, the adhesion of bitumen to mineral materials with a smaller decrease in penetration. Rational concentrations of the use of the additive Viskodor PV-2 have been established.

Keywords: warm asphalt concrete, bitumen, temperature-reducing additives, waxes, physico-chemical properties.

REFERENCES

1. Pechenkin I.E., Ovchinkin I.V. Modern methods of production of warm asphalt concrete [Sovremennye sposoby proizvodstva teplogo asfaltobetona]. Scientific research and modern education: collection of materials of the V International Scientific and Practical Conference, Cheboksary, December 29, 2018. Cheboksary: Limited Liability Company "Center for Scientific Cooperation "Interactive Plus", 2018. Pp. 193–195. (rus)
2. Chudinov S.A., Repnikov D.V. Modern technologies for obtaining warm asphalt concrete mixtures [Sovremennye tekhnologii polucheniya teplykh asfaltobetonnnykh smesey]. Forest science in the implementation of the concept of the Ural engineering school: socio-economic and environmental problems of the forest sector of the economy: materials of the XII International Scientific and Technical Conference, Yekaterinburg, May 21 – 22, 2019. Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation, Ural State Forestry University. – Yekaterinburg: Federal State budgetary educational institution of higher professional education "Ural State Forestry University", 2019. Pp. 124–127.
3. Alshakhvan A., Kalgin Yu. I. Advantages of using the technology of warm asphalt concrete mixtures in comparison with other technologies of asphalt concrete mixtures [Preimushchestva primeneniya tekhnologii teplykh asfaltobetonnnykh smesey po sravneniyu s drugimi tekhnologiyami asfaltobetonnnykh smesey]. High technologies in the construction complex. 2019. No. 2. Pp. 19–25.
4. Smirnov D.S., Brodneva V.E., Lobanova A.S. Analysis of the experience of using warm asphalt concrete mixtures [Analiz opyta primeneniya teplykh asfaltobetonnnykh smesey]. Proceedings of the Kazan State University of Architecture and Civil Engineering. 2019. No. 4(50). Pp. 455–461. (rus)
5. Shaburov S.S., Kibirev V.Y. Technology of production of warm asphalt concrete mixture on viscous bitumen [Tekhnologiya proizvodstva teploj asfaltobetonnnoj smesi na vyazkom bitumene]. Bulletin of the Tomsk State University of Architecture and Civil Engineering. 2016. No. 1(54). Pp. 173–179. (rus)
6. Hardukash A.Yu., Grinevich N.A. Production of warm asphalt concrete mixes to expand the working season in road construction [Proizvodstvo teplykh asfaltobetonnnykh smesey dlya rasshireniya rabocheho sezona v dorozhnom stroitelstve]. Scientific creativity of youth - the forest complex of Russia: materials of the XVII All-Russian (national) scientific and technical conference of students and graduate students. Ministry of Education and Science of the Russian Federation, Ural State Forestry University; Yekaterinburg, 2021. Pp. 140–143. (rus)
7. Tretyakov R.O. Warm asphalt concrete in road construction [Teplyj asfaltobeton v dorozhnom stroitelstve]. Fixed assets. 2014. No. 5. 1784. (rus)
8. Jamshidi A., Hamza M.O., You Z. Performance of Warm Mix Asphalt containing Sasobit: State-of-the-art. Construction and Building Materials. 2013. No. 38. Pp. 530–553. doi:10.1016/j.conbuildmat.2012.08.015.
9. Silva H.M.R.D., Oliveira, J.R.M., Peralta J., Zoorob S.E. Optimization of warm mix asphalts using different blends of binders and synthetic paraffin wax contents. Construction and Building Materials. 2010. No. 9. Pp. 1621–1631. doi:10.1016/j.conbuildmat.2010.02.030.
10. Kenneth A., Yaw A.T. Warm-Mix Asphalt and Pavement Sustainability: A Review. Open Journal of Civil Engineering. 2016. No. 6. Pp. 84–93. doi:10.4236/ojce.2016.62008.
11. Alshakhvan A., Kalgin Y.I. Overview of technologies for the preparation of warm asphalt concrete mixtures [Obzor tekhnologij prigotovleniya tyoplykh asfaltobetonnnykh smesey]. Young scientist. 2019. No. 32(270). Pp. 102–107. (rus)
12. Zhdanyuk V.K., Shrestha R.B., Kostin D.Yu., Yashin V. A. Investigation of the influence of technological modes of mixing on the properties of bitumen with the additive "Licomont BS 100" [Issledovanie vliyaniya tekhnologicheskikh rezhimov peremeshivaniya na svoystva bitumov s dobavkoj «Licomont BS 100»]. Kharkiv National Automobile and Road University. Scientific and technical collection. 2009. No. 90. Pp. 238–242. (rus)
13. Pyrig Y.I., Galkin A.V. Comparative assessment of the effect of energy-saving additives on bitumen properties [Sravnitel'naya ocenka vliyaniya energosberegayushchih dobavok na svoystva bituma]. Bulletin of the Kharkiv National Automobile and Road University. 2020. No. 90. Pp. 114–124. doi:10.30977/BUL.2219-5548.2020.90.0.114. (rus)

14. Yadykina, V.V., Kholopov V. S., Mikhailova O.A. Changing the properties of bitumen modified with temperature-reducing additives [Izmenenie svoystv bituma, modifitsirovannogo temperaturoponizhayushchimi dobavkami]. Bulletin of the Donbass National Academy of Construction and Architecture. 2022. No. 3(155). Pp. 100–104.

15. Zhao G. Workability of Sasobit Warm Mixture Asphalt. 2012 International Conference on Future Energy, Environment, and Materials. 2012. No. 16. Pp. 1230–1236. doi:10.1016/j.egypro.2012.01.196.

16. Shekhovtsova S.Y., Vysotskaya M.A., Kholopov V.S. Features of warm asphalt concrete technology [Osobennosti tekhnologii teplogo asfaltobetona]. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2017. No. 2. Pp. 43–48. doi: 10.12737/24131. (rus)

17. Kulikova A.V., Solomentsev A.B. Rheological properties of road bitumen with additives for warm asphalt concrete [Reologicheskie svoystva dorozhnogo bituma s dobavkami dlya teplogo asfaltobetona]. Construction and reconstruction. 2013. No 2(46). Pp. 104–111. (rus)

18. Yadykina V.V., Gridchin A.M., Kholopov V.S., Trautvain A.I. Changing the properties of bitumen and asphalt concrete under the influence of additives for warm asphalt concrete [Izmenenie svoystv bituma i asfaltobetona pod vliyaniem dobavok dlya teplogo asfaltobetona]. Collection of articles of the International Scientific Conference "High-tech technologies and innovations", Belgorod, October 09–10, 2014. Belgorod: Publishing House of BSTU named after V.G. Shukhov, 2014. Pp. 124–128. (rus)

19. Yadykina V.V., Akimov A. E., Trautvain A.I., Kholopov V.S. Influence of DAD-TA temperature-reducing additive on physical and mechanical properties of bitumen and compaction of asphalt concrete. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. 2018. No. 327. Pp. 1–5. doi: 10.1088/1757-899X/327/3/032006.

20. Yadykina V.V., Gridchin A.M., Trautvain A.I., Chistyakov Y.P. The effect of energy-saving additives on the properties of crushed-mastic asphalt concrete on the example of Evotherm, Azol 1007 and Adgezol 3-TD [Vliyanie energosberegayushchih dobavok na svoystva shchebenochno-mastichnogo asfaltobetona na primere Evotherm, Azol 1007 i Adgezol 3-TD]. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2015. No. 6. Pp. 149–153. (rus)

Information about the authors

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

Mikhailova, Olga A. Postgraduate student. E-mail: mihaylovalymar@mail.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Received 06.01.2023

Для цитирования:

Ядыкина В.В. Михайлова О.А. Влияние температуропонижающих добавок на основе синтетических восков на свойства битума // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2023. № 3. С. 8–18. DOI: 10.34031/2071-7318-2022-8-3-8-18

For citation:

Yadykina V.V., Mikhailova O.A. The effect of temperature-reducing additives based on synthetic waxes on the properties of bitumen. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2023. No. 3. Pp. 8–18. DOI: 10.34031/2071-7318-2022-8-3-8-18

DOI: 10.34031/2071-7318-2022-8-3-19-33

Оноприенко Н.Н., Сальникова О.Н.Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова.***E-mail: dstt_80@mail.ru*

К ВОПРОСУ РАЗРАБОТКИ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ РЕСТАВРАЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ПАМЯТНИКОВ АРХИТЕКТУРЫ

Аннотация. В статье выполнен обзор исследований по вопросам особенностей применения и составов реставрационных материалов и растворов на разных этапах проведения работ. Доказывается необходимость в разработке отечественных реставрационных материалов, повышающих качество реставрации, долговременность сохранения реставрируемого объекта в процессе эксплуатации и обеспечивающих возможность выбора применительно к каждой реставрационной задаче. На основании произведенного литературного обзора, приведены этапы реставрационных работ архитектурных памятников, от специфики которых зависит применение функциональных добавок в различные ремонтные смеси. Обзор исследований по затронутой тематике акцентирован на важности решения задач замещения импортных добавок-модификаторов отечественными. Авторами подчеркивается, что выбор добавок различного функционального назначения в рецептурных составах должен производиться с учетом закономерностей совместимости составляющих компонентов реставрируемых материалов (в том числе, в виде сухих реставрационных смесей), иметь научный комплексный подход. Анализ научных достижений и публикаций, в которых начато решение данной задачи, показал, что существуют частные нерешенные вопросы общей проблемы, которым посвящается данная статья. Приведены полимерные добавки отечественного производства различной химической природы, используемые в композициях на основе минеральных вяжущих. На основании проведенного анализа физико-механических, реотехнологических и технологических свойств композиций на основе минеральных вяжущих, доказана возможность и преимущество использования российских водорастворимых полимеров в составах реставрационных материалов, с учетом небольшой дозировки и экологичности этих добавок. По результатам сравнительного анализа ранее проведенных исследований, установлено, что наращивание спектра модифицирующих добавок с использованием полимеров российского производства и выпуск конкурентно способных сухих строительных смесей на их основе для операций реставрирования, позволят выполнить задачу сохранения архитектурных объектов исторической постройки, являющихся отражением разных эпох, элементом национальной культуры и самобытности, обеспечивающих преемственность культур.

Ключевые слова: памятники архитектуры, реставрация, импортозамещение, полимерные добавки, сухие строительные смеси, строительные растворы, эксплуатационные свойства.

Введение. Вопросы культурного развития и сохранения исторических ценностей для будущих поколений в настоящее время являются приоритетными. Исторические культурные, промышленные, некогда жилые и иные объекты являются неотъемлемой частью архитектурной среды городов и поселений. Особый интерес вызывает вектор сохранения многовековых историко-культурных памятников архитектуры [1–3].

Несмотря на длительный путь опыта реставрационных, а также поновительных работ, продолжает оставаться много проблемных моментов, связанных, в первую очередь, с особенностями применения и составом реставрационных материалов и растворов [1, 2, 4–12]. Кроме того, политика мер и санкций, действий и временных ограничений, в современных условиях, в том числе с распространением новой коронавирусной инфекции (COVID-19), неизбежно привела к проблеме дефицита импортных товаров, возникшей при перекрытии границ между государ-

ствами [8, 13]. Практика применения и постановки поновительских задач в области реставрации оказывается недостаточной сегодня. Востребован подход к реставрации, как к средству сохранения исторического облика предмета [1–3, 14]. Как известно, многие из архитектурных зданий перестраивались применительно к новым потребностям в обществе. Изменениям подвергалась как архитектура зданий исторической постройки, так и декор, внутреннее убранство. Зачастую применение новых материалов, научных достижений в ходе проведения реставрационных работ не приносило положительных результатов [15].

Анализ источников научно-технической литературы показывает, что материалы для реставрации на современном рынке все чаще поставляются в виде сухих строительных смесей [16–18]. Особенности производства сухих строительных смесей, а также покрытий на их основе, для которых характерны повышенные эксплуатационные свойства, затронуты в работах В.С. Лесовика,

Л.Х. Загороднюк, Ш.М. Рахимбаева, А.П. Пустовгар, В.Т. Ерофеева и других. Особое внимание уделяется созданию рецептуры сухих строительных смесей, выбору компонентов, топологии структуры [16, 19–23]. Однако задачи, связанные с использованием отечественных полимерных модификаторов взамен импортных в составах растворов и сухих строительных смесей, всё еще актуальны, и вопрос выпуска промышленного объема этих материалов в целях реставрации и строительства остается открытым.

В свете обозначенных направлений на современном этапе представляется весьма актуальным рассмотрение вопросов использования в реставрации достижений отечественного производства. Поэтому возникает необходимость в разработке отечественных реставрационных материалов, повышающих качество реставрации, долговременность сохранения реставрируемого объекта и обеспечивающих возможность выбора применительно к каждой реставрационной задаче.

Авторы статьи, на основании ранее выполненных собственных исследований и исследований других специалистов в этом вопросе, обобщения и сопоставления данных, ставят перед собой цель: показать, акцентировать особое внимание, что выбор сырьевых материалов и функциональных добавок, улучшающих свойства реставрационных материалов, при разработке таких составов должен производиться с учетом совместности компонентов между собой, специфики выполняемых работ, иметь научный комплексный подход, основанный на знании закономерностей влияния состава компонентов на физико-механические и реотехнологические характеристики готовых рецептурных композиций. При этом выбору отечественных материалов, с учетом вышеизложенных положений, авторы в статье уделяют особое внимание.

К сожалению, как правило, всесторонний научный подход к разработке составов реставрационных материалов, строительных растворов смесей и композиций различного назначения не применяется должным образом. Это вызвано тем, что исходными материалами при разработке рецептур композиций зачастую являются импортные продукты, ключевой состав которых в коммерческих целях завуалирован, либо приведен в характеристиках производителя неполным.

С учетом вышеизложенных положений, в задачу авторов работы поставлено внести свой вклад в решение проблемы возможности замещения импортных добавок-модификаторов отечественными в составах реставрационных материалов.

Материалы и методы. Объект исследования: реставрационные материалы (растворные

смеси с модифицирующими добавками). Методы обработки литературных источников: с помощью используемых источников литературы изучен опыт ранее проведенных исследований по проблеме разработки отечественных реставрационных материалов для памятников архитектуры. Осуществлена сравнительная оценка растворных смесей и растворов в качестве реставрационных композиций по технологическим, физико-механическим и реотехнологическим свойствам, с учетом химической природы и состава добавок-модификаторов.

Основная часть. Разработка любого нового материала, в том числе реставрационного, невозможна без знания особенностей его назначения и взаимодействия с окружающей внешней средой. Архитектура, являясь одной из сред жизни, деятельности людей, формировалась в течение столетий. Мастерам Древнего мира, в процессе строительства сооружений, приходилось учитывать различные факторы: условия местности нахождения объектов, свойства применяемого строительного материала, а также традиции и обычаи. Исторические архитектурные сооружения состоят из нескольких культурных пластов. Такие объекты несут на себе отпечаток прожитых столетий и имеют важное значение в процессах восприятия и преемственности культуры. Архитектурные объекты исторической постройки представляют собой элементы национальной культуры и самобытности, сохранившиеся в условиях современной массовой культуры мегаполиса.

Многие архитектурные здания имеют большой хронологический возраст. Современный мир накладывает свой отпечаток не только на внешний облик памятников архитектуры, но и на способность их выполнять своё первоначальное предназначение. Так, многие из них постепенно утрачивают способность соответствовать требованиям функционального, конструктивного, гигиенического характера. Со временем снижаются такие показатели, как прочность и надежность внешних художественных элементов (лепной декор, фрески, роспись, мозаика). В данном случае важно не допустить полного обветшания здания, когда реконструкция уже не даст результата [1–3, 24]. Своевременное выявление деструктивных процессов в элементах декора, внешнего и внутреннего убранства, а также в конструкциях и несущих элементах объекта культурного наследия, в том числе с использованием современных методик и приемов, позволят избежать указанных проблем [24].

С течением времени под воздействием атмосферы природные материалы подвергались разного рода изменениям [25–29]. Так, возросло коррозионное воздействие на материал [6, 28].

Кроме того, активно проводимая градостроительная политика зачастую вызывает нарушение гидрогеологических условий в исторической части городов. В связи с этим стоит опасаться за физическое состояние памятников архитектуры. В утвержденных нормативных документах РФ по сохранению объектов культурного наследия особое внимание уделяется проведению инженерных изысканий. Изыскательские работы имеют важное значение для исторических памятников архитектуры, возведенных в сейсмоопасных районах [30], в районах, подвергающихся другим динамическим нагрузкам различной природы, в том числе по причине устройства вблизи новых объектов недвижимости.

Существуют группы методов, которые призваны обеспечить сохранность исторических архитектурных памятников. Выделяют: во-первых, технические методы, позволяющие защитить сооружения от атмосферного воздействия; во-вторых, теплофизические методы, предполагающие использование теплоизоляторов; в-третьих, химические методы, связанные с получением строительного композита с требуемыми параметрами, с опробированием новейших технологий [4, 5, 7, 8, 20].

Зачастую в процессе эксплуатации исторических зданий не учитывается разрушающее влияние природного и техногенного воздействия на техническое состояние конструкций, поэтому возникает необходимость в проведении реставрационных работ и проблема подбора реставрационных материалов для объекта.

Выбор материалов для реставрации памятников архитектуры основан на современных подходах, предполагающих выполнение ряда требований [1, 3, 5, 16, 31, 32]: 1) долговечность как основное свойство материалов реставрации; материалы, контактирующие с авторским материалом при естественном старении не должны менять свойства на протяжении довольно долгого времени; 2) недопустимость искажений реставрационными материалами в историческом облике объекта; 3) недопустимость препятствий, создаваемых реставрационными материалами в процессе проведения повторных реставраций; 4) авторский материал не должен уступать в прочности реставрационному материалу.

Безусловно, реставрируемые объекты имеют ряд требований по определенным условиям. Таковыми, к примеру, выступают требования к атмосферостойкости, влагостойкости и биостойкости.

Введению в реставрационные работы новых материалов и композиций, предшествует экспериментальный процесс, подтверждающий вы-

двинутую гипотезу по соответствию физико-механических, технологических свойств исследуемых составов вышеперечисленным требованиям [8, 16, 21, 25, 33–36]. В процессе эксплуатации уже самих отреставрированных объектов важнейшей характеристикой реставрационных материалов принято считать долговечность результатов реставрационных вмешательств. При этом проводятся сравнительные исследования разработываемых и контрольных составов с учетом специфики этапа реставрационных работ. Поэтому любое из реставрационных вмешательств рассматривается как процесс введения в реставрируемый объект инородного материала.

Двойственный характер носит сравнение применения природных авторских материалов и синтетических добавок реставрационных материалов. Природные адгезивы превосходят синтетические по прочностным показателям. Вместе с тем, например, глитиновый клей, наряду с казеином, отличаются довольно низкими деформационными свойствами (характеризуют способность материала к противостоянию разным механическим нагрузкам переменного и постоянного действия). Именно в этом кроется одна из причин разрушений объекта при изменении условий влажности.

Несмотря на все свои достоинства, природные материалы не могут обеспечить столь долгую сохранность отреставрированного объекта, как синтетические. Именно последним свойственна повышенная влагостойкость, высокая эластичность. Данные качества помогают быстрее реагировать при изменении конформации молекул в процессе набухания и потере влаги. У синтетических и природных материалов имеются как области успешного сочетания, так и однозначного преимущества природных материалов. Кроме того, есть определенный род задач, при решении которых использование материалов природного происхождения является совершенно неприемлемым.

К работам, направленным на сохранение памятников истории и культуры, относятся: мероприятия по восстановлению наружных стен (чаще всего кирпичной кладки) и цоколя, по реставрации и обновлению фасадов, кровли, по реставрации интерьера. При этом используются разнообразные составы: штукатурки, грунтовки, отделочные смеси на основе извести и известково-цементных вяжущих, фасадные краски, смеси для выполнения отливок при выполнении фасадных работ по декоративной отделке (лепные изделия, украшения, орнаменты и другие отливки), известково-гипсовые составы и известково-штукатурки (в реставрации интерьерной отделки), гидрофобизирующие составы, лаки,

краски и т.д. В силу многообразия применяемых материалов, при выборе составов и разработке рецептур необходим комплексный подход [15, 37].

Материалы, которые используются для реставрации архитектурных объектов, выполняют разные функции [1, 12, 16, 38]: склеивают фрагменты (*адгезивы*), укрепляют деструктированные элементы из авторского материала (*консолиданты*); создают эффект декорации и защищают от атмосферного воздействия; восполняют утраченные фрагменты (*докомпоновочные или доделочные массы*).

В процессе реставрации архитектурных памятников исследователи выделяют несколько этапов, от особенностей которых зависит применение в составах реставрационных материалов различного функционального назначения модифицирующих добавок.

Так, на первом этапе процесса реставрации проводится очистка объекта от загрязнений. На втором этапе производится склейка фрагментов. В настоящее время данный процесс осуществляется при помощи синтетических клеев. Однокомпонентным составом, способностью формировать бесцветные клеевые швы, быстрым схватыванием и удобством в работе обладают циакириновые клеи, что выгодно отличает их от бытовых клеев (эпоксидных и БФ). Однако исследователями отмечена повышенная чувствительность этих клеев к влаге воздуха. Именно данное свойство нарушает адгезионные связи в процессе хранения.

Одним из самых долговечных в настоящее время признан раствор поливинилбутирала (ПВБ). Он применяется как за рубежом, так и в отечественных работах.

В решении проблем склейки преимущество имеют кремнийорганические клеи. Кремнийорганические клеи относятся к классу силанов; их химический состав схож с составом стекла. Для клеевого шва характерна высокая оптическая прозрачность, отсутствие усадочных деформаций после отверждения.

Для ремонта и восстановления кирпичной кладки строительных объектов, при выполнении отделочных и штукатурных работ в настоящее время всё более востребованы сухие смеси. В целях обеспечения требуемого уровня энергосбережения объекта применяются различного рода ремонтные теплоизоляционные составы [17].

Анализ научно-технической литературы показал, что сухие строительные смеси (ССС) и известковые составы также активно используются в процессе реставрации и отделки архитектурных зданий [7, 8, 13, 16, 19, 21, 34]. Если сравнить тех-

нологию работ, то сухие смеси выгодно отличаются от растворов заводского изготовления более высоким качеством выполняемых операций, пониженным расходом материала, облегчением условий строительных работ.

Большая часть среди ССС принадлежит цементным клеям, затирочным, отделочным составам. Как известно, основным материалом, который применялся в строительстве зданий, ставших в настоящее время архитектурными памятниками, были растворы на базе воздушных вяжущих. В процессе постройки исторических архитектурных зданий использовали материалы природного происхождения, в основном – природный камень. Главным реставрационным материалом в этом случае выступают составы с применением воздушных вяжущих, а основным вяжущим для реставрации в сухих смесях – воздушная известь [1, 8, 13].

Сложный и ответственный процесс представляют собой работы, посвященные структурному укреплению материала. Сложность заключается в том, что требуется достичь необходимой когезионной (между агрегатами материала строительного материала) и адгезионной прочности (между наносимым составом и основанием). В случае достаточно серьезных повреждений памятника архитектуры требуется конструкционный ремонт кладки [38], в том числе методом инъектирования растворной смеси [39]. Восстановительные кладочные работы и инъектирование раскрытых трещин и пустот в кладке выполняются, как правило, на известковом либо на известково-цементном вяжущем, в том числе с применением готовых сухих ремонтных составов.

Несмотря на неоспоримые преимущества использования сухих строительных смесей в целях реставрации, существует ряд достаточно серьезных нерешенных проблем. При анализе научно-технической литературы и обобщении результатов исследований [1, 8, 16–19, 21, 22, 40], авторами статьи акцентировано, что весомую долю составляют ССС, которые поставляются зарубежными предприятиями («Tikkurila», «Saraol» и др.). Данное обстоятельство приводит к удорожанию их стоимости, и ставит отечественного потребителя в зависимость от импортных поставок. Процесс применения известковых составов отечественных производителей («БИРСС», «Крепс Антик», состав «Холви» компании «Финнколор», состав «Силакра-известковая» фирмы «Топаз Плюс») в реставрации исторических объектов архитектуры связан с такими проблемами как высокая стоимость и завуалированный состав используемых в них зарубежных модификаторов. При разработке рецептур ССС важно, чтобы они обладали низкой стоимостью и

высокими эксплуатационными свойствами, обеспечили превосходство в процессе применения данной продукции и рост потребительского спроса. Итак, следует особо отметить: в силу многообразия применяемых материалов, при выборе компонентов и разработке рецептуры реставрационных композиций необходим комплексный научный подход.

Часто в процессе реставрации необходимо выполнять нанесение материала тонкими слоями. В таких случаях для улучшения пластичности раствора, водоудерживающей способности, адгезии раствора к основанию рекомендуется вводить модифицирующие добавки.

Во избежание деструкции материала, ремонтные составы не должны привносить химических изменений в структуру основы. Расширение ассортимента синтетических материалов, применяемых в качестве добавок к минеральным системам при выполнении реставрационных работ (эпоксидные смолы, акрилатные добавки, эмульсии полимеров и др.), позволяет решить задачу сохранения исторического облика объекта, удачно совмещать исторические и современные материалы. Наряду с большим спектром выпускаемых мировой индустрией неорганических и органических реагентов, в составе сухих клеевых смесей для тонкослойных технологий хорошо себя зарекомендовали добавки водорастворимых полимеров (ВРП) [1, 8, 20, 21, 34, 40–43]. В комбинации с эфирами целлюлозы часто используются эфиры крахмала [8, 40, 43], в качестве добавки в технологический процесс, позволяющей снизить липкость растворных смесей к инструменту, улучшить консистенцию раствора и его устойчивость к сползанию. Это важно, если требуется наносить достаточно толстые слои раствора.

Исследования, проведенные специалистами в области строительных композиций и архитектурно-исторического проектирования, показали, что водорастворимые полимеры и эмульсии полимеров позволяют регулировать технологические, физико-механические показатели характеристик растворных смесей и растворов, повышают адгезию раствора к каменному материалу, снижают усадку наносимого рабочего слоя [8, 13, 16, 23]. Это обеспечивает требуемые показатели, предъявляемые к растворам.

Обобщение данных литературных источников позволяет авторам сделать вывод, что наращивание ассортимента модифицирующих добавок с использованием полимеров российского производства и выпуск конкурентно способных сухих строительных смесей на их основе для операций реставрирования является важной пер-

спективной задачей. При этом необходимо учитывать совместимость составляющих компонентов реставрируемых растворов. Использование реставрационных материалов и добавок-модификаторов отечественных, взамен зарубежных, экономически оправдано. Импортные добавки для реставрационных работ, в большинстве случаев, применяют согласно рецептуре сухих строительных смесей, в их составе, без проведения предварительных исследований и уточнения состава самих добавок. В отличие от импортных добавок, состав отечественных добавок в готовом виде известен, что позволяет спрогнозировать регулирование их свойств, выделить различные типы вяжущих.

Анализ литературных источников и выполненных исследований по данному вопросу показал, что наряду с большим объемом экспериментально выполненных исследований, недостаточно уделяется внимание вопросам совместимости компонентов между собой. Так, выбор добавок чаще всего производится по рекомендациям производителя (чаще всего зарубежного), без четкого указания составляющих компонентов самой добавки и без научно-обоснованного подхода к выбору добавки. Состав модифицирующих добавок, как правило, достаточно сложный, включающий несколько агрегатов, различных по функциональному назначению.

Авторы данной статьи поставили перед собой задачу на примере ранее выполненных исследований показать, что вопрос совместимости компонентов требует научно-обоснованного подхода и является ключевым при разработке реставрационного материала. Ниже приводятся результаты выполненных в [8] исследований на «модельных» полимерных добавках, которые являются основой в составе комплексных модификаторов. В качестве модифицирующих «модельных» добавок целенаправленно выбраны однокомпонентные эфиры целлюлозы – отечественные добавки. На основании ранее проведенных автором исследований показано, что эти полимеры являются экологически чистыми продуктами.

Для теоретического обоснования способов регулирования свойств существующих и разработки новых сухих смесей прежде всего необходимо знание принципов выбора водорастворимых добавок, особенно по составу функциональных групп, степени полимеризации, химической природы полимера. В работе [8] изложены принципы подбора материалов для выполнения строительных смесей и растворов (кладочных, штукатурных, облицовочных), в том числе применительно к сухим строительным смесям. Проанали-

зировав выше изложенные требования к составам и характеристикам реставрационных материалов различного назначения, авторы считают: есть основания полагать, что результаты ранее проведенных исследований, разработанных составов и принципов подбора рецептур строительных смесей [8] возможно использовать применительно к реставрационным материалам.

В статье приводятся сравнительные исследования цементно-песчаных и модифицированных отечественными полимерами различной химической природы растворов с учетом возможности использования в реставрационных работах.

В статье приведены выдержки из экспериментальной части работы, выполненной с использованием материалов российского производства: цемент ЦЕМ I 42,5 Белгородского цементного завода, песок (модуль крупности 0,9...1,2), известь воздушная кальциевая негашеная производства ОАО «Стройматериалы», кирпич силикатный полнотелый утолщенный марки М150 производства ОАО «Стройматериалы». Были использованы отечественные модифицирующие добавки: карбоксиметилцеллюлоза (КМЦ), оксиэтилцеллюлоза (ОЭЦ-1), метилцеллюлоза (МЦ) и поливинилацетатная эмульсия (ПВА). Состав функциональных групп и химическая природа этих полимеров различна [8]. Соотношение по массе цемента к песку было принято 1:2,5. Дозировка полимерной добавки составляла 0,15...0,5 %. Проведены исследования по оценке технологических и физико-механических свойств растворов смесей и растворов: подвижности растворной смеси, водоудерживающей способности растворов смесей, деформаций усадки в возрасте 1 суток и старше, прочность при изгибе образцов-балочек, прочность цементно-песчаных

образцов на сжатие, прочность сцепления раствора с основанием (силикатным кирпичом) на отрыв (нормальное сцепление) и на сдвиг (касательное сцепление). Как показывает обзор используемых источников, такие же методы и материалы применимы и при оценке качества реставрационных работ.

Модифицирующие добавки обеспечивают требуемые свойства раствора [8]. Анализируя технологические и физико-механические характеристики исследуемых растворов, есть основание полагать, что указанные отечественные добавки найдут свое применение в составе реставрационных материалов различного функционального назначения.

Эффективность полимерной добавки оценивается по ее способности регулировать вязкость, упругость и пластичность минеральных систем, когезию и адгезию растворов, их липкость к поверхностям, живучесть и т.п. [1, 7, 8, 13, 16, 19].

Так, модифицирование неионогенными полимерами, например, метилцеллюлозой (МЦ) и оксиэтилцеллюлозой (ОЭЦ), увеличивает водоудержание композиций и хорошо стабилизирует цементно-песчаные растворы (табл. 1). Увеличивается прочность сцепления раствора с основанием по сравнению с бездобавочными составами, как нормального, так и касательного (табл. 1), однако при невысокой дозировке полимера характер отрыва является адгезионным. С увеличением дозировки этих полимеров до 0,5 % (табл. 2) увеличивается жизнеспособность растворов смесей, что позволяет за достаточно длительный промежуток времени выполнить технологические приемы по нанесению раствора. Также растет прочность сцепления раствора с основанием, приобретая для растворов с добавкой МЦ когезионно-адгезионный характер.

Таблица 1

Физико-механические и технологические свойства цементно-полимерных композиций

Полимер	Дозировка полимера, %	Водо-цементное отношение	Водоудерживающая способность, %	Прочность сцепления, МПа, в возрасте 28 сут		Характер отрыва
				нормальное	касательное	
—	—	0,55	96,2	0,08	0,37	адг
МЦ	0,15	0,61	98,2	0,13	0,63	адг
ОЭЦ-1	0,15	0,58	98,9	0,11	0,38	адг
ПВА	0,15	0,60	97,1	0,08	0,39	адг

Композиции с добавками 0,15 % МЦ, ОЭЦ-1 обладают хорошими адгезионными показателями (табл. 1). Отрыв при испытании в основном происходил по контактной зоне раствора с кирпичом и по раствору (когезионно-адгезионный характер). Прочность нормального и касательного сцепления у растворов с добавкой МЦ, выше, чем у составов с полимером ОЭЦ.

Для сравнения в таблицах 1, 2 представлены характеристики растворов с добавкой поливинилацетатной эмульсии (ПВА), которые при равных дозировках отличаются недостаточно высокими показателями технологических свойств по сравнению с растворами, модифицированными водорастворимыми полимерами. Рост дозировки полимеров до 0,5 % способствовал повышению прочности сцепления с силикатным кирпичом

более, чем в 5 раз (для ОЭЦ-1 и МЦ), что не характерно для аналогичной дозировки ПВА-эмульсии. (табл. 2). Это объясняется тем, что для достижения высоких показателей свойств растворов смесей и растворов, дозировку ПВА-

эмульсии следует увеличивать в несколько раз по сравнению с неионогенными полимерами, за счет частичной коагуляции эмульсии в цементной среде.

Таблица 2

**Физико-механические и технологические свойства
модифицированных растворов с повышенной дозировкой полимера**

Полимер	Дозировка полимера, %	Водо-цементное отношение	Водоудерживающая способность, %	Время коррек-ровки, ч-мин	Прочность нормального сцепления, МПа, в возрасте 28 сут	Характер отрыва
–	–	0,47	96,3	1-00	0,08	адг
МЦ	0,5	0,50	99,9	>3-20	0,61	когез/адг
ОЭЦ-1	0,5	0,45	99,2	>3-00	0,61	адг
ПВА	0,5	0,46	97,2	2-50	0,10	адг

Такое свойство, как способность полимера к коагуляции, следует учитывать при выборе вяжущего, в том числе для реставрационных материалов. В наших исследованиях, выполненных ранее [8], было показано, что неоспоримое преимущество водорастворимых полимеров неионогенной природы перед ПВА объясняется высокой вязкостью 1 %-го водного раствора и благоприятным составом функциональных групп этих добавок. Кроме того, водорастворимые полимеры отечественного производства – это экологически чистые продукты, и при грамотном выборе типа добавки требуют малого процента введения в смесь.

Немалое внимание уделяется не только физико-механическим, но и реотехнологическим свойствам разрабатываемых композиций [8, 43–49]. Способ оценки реотехнологических свойств растворных смесей имеет принципиальное значение. В работах [43–49] приведены рекомендации по рациональному применению некоторых методов определения реологических показателей дисперсных систем. Подчеркнуто особое значение влияние природы функциональных добавок в составе композиционных материалов на их реологические свойства [43].

В тех случаях, когда необходимо восполнить недостающие декоративные фрагменты памятников культурного наследия, либо создать принципиально новые малые архитектурные формы, в том числе сложных форм, на помощь приходят современные аддитивные технологии печати на основе цифрового моделирования [7, 42, 44, 45]. В решении таких задач разработка составов смесей для печати с учетом их реотехнологических свойств – важный аспект.

Одним из важных факторов, определяющих прочность адгезии, является усадка растворных композитов при твердении. Для получения высокой прочности адгезии необходимы растворы с

малой усадкой [1, 8, 40, 50]. При высокой усадке подложек либо самого клея первоначально хорошее склеивание неизбежно со временем потеряет свои ценные характеристики.

Проведенные ранее авторами эксперименты по изучению усадочных явлений [8] подтверждаются данными других исследований [40, 50], и показали, что замена до 20% цемента мелом в растворах с добавками полимеров и без них приводит к снижению их водоотделения и усадочных деформаций до 30% без существенного снижения прочностных свойств растворов, что особенно актуально для растворов с добавками анионогенных полимеров (например, карбоксиметилцеллюлозы (КМЦ) и ПВА) [8].

Также установлено [8], что добавки неионогенных полимеров МЦ и ОЭЦ-1 уже в количестве 0,15 % служат хорошими стабилизаторами цементно-полимерных систем, снижают водоотделение растворных смесей на 20...50 % и усадку. Наибольшую усадку при воздушно-сухом твердении дают растворы с добавкой КМЦ, а также растворы с большим количеством ПВА (20 %); наименьшую – с добавками МЦ и ОЭЦ.

Как показал анализ исследований по вопросу выбора материалов в целях реставрации, в том случае, если не требуется получение раствора высокой марки и быстрой скорости набора прочности раствора, традиционно используют вяжущие на основе извести и смешанные вяжущие (известково-шлаковые, известково-пудцолоновые, известково-золевые) [8, 41, 40, 50], характеризующиеся высокой пластичностью. В работах [40, 50] отмечено снижение водопотребности, расслаиваемости, водоотделения растворных смесей, содержащих карбонатные добавки. Смеси с такими добавками обладают хорошей пластичностью, низкой усадкой.

Сравнение экспериментальных данных [8] цементно-известково-песчаных растворов (рис.

1) показало, что растворы с добавками полимеров анионогенной природы (ПВА) в небольших количествах (до 0,2 %) отличаются более высокими показателями пределов прочности при изгибе ($R_{изг}$) и сжатии ($R_{сж}$) по сравнению с растворами, модифицированными неионогенными полимерами (МЦ, ОЭЦ). При этом независимо от

типа полимерной добавки для цементно-полимерных растворов характерно более высокое отношение предела прочности при изгибе к пределу прочности при сжатии, чем для контрольных цементно-песчаных образцов (рис. 1). Этот факт является предпосылкой повышенной трещиностойкости растворов с добавками полимеров, что важно для реставрационных материалов.

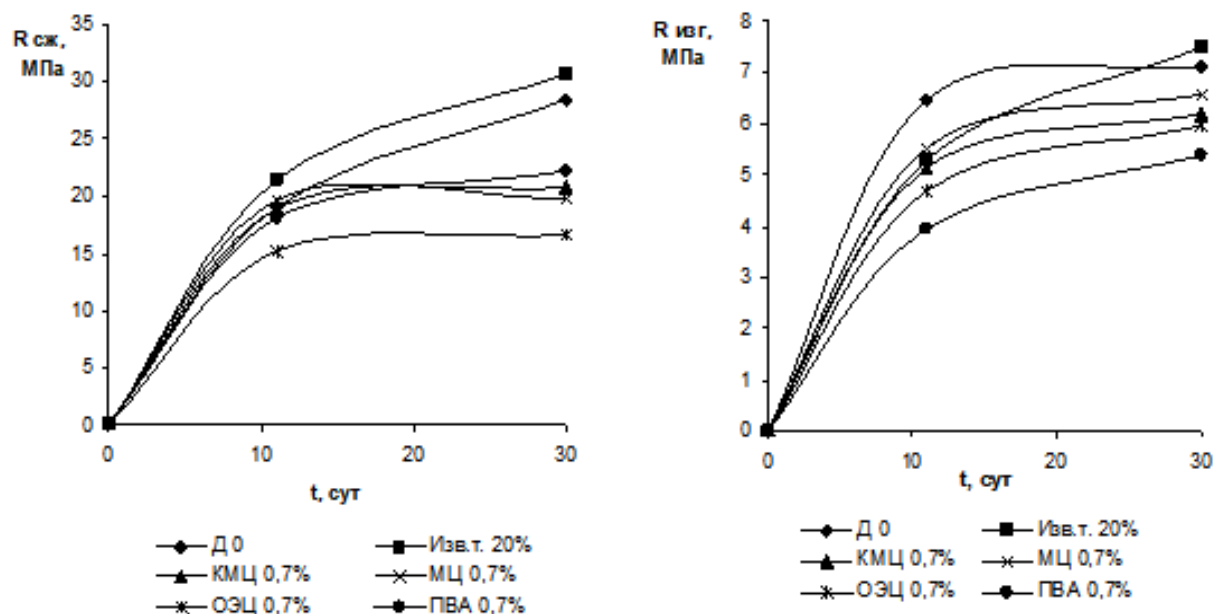


Рис. 1. Кинетические кривые прочности цементно-известково-песчаных растворов с добавками полимеров (Ц:П=1:2,5; известковое тесто)

По ряду физико-механических, реологических и технологических свойств, разработанные автором составы на основе минеральных вяжущих с добавками водорастворимых полимеров [8] применительно к строительным растворам (кладочным и штукатурным), имеют хорошие перспективы использования в ремонтных и реставрационных составах, дисперсных системах при реставрации. В основном исследуемые составы и предлагаемые принципы совместимости предполагается внедрять для усиления элементов конструкций объектов культурного наследия, а также при выполнении штукатурных, отделочных работ.

Как отмечалось выше, структурное укрепление материала – сложный и ответственный процесс, поэтому реставрационные материалы, ремонтные составы (растворы) должны иметь прочное сцепление с основанием. В некоторых случаях реставрации требуется усиление исторической постройки за счет повышения несущей способности некоторых ее элементов. Использо-

вание модифицированных добавками водорастворимых полимеров растворов [8, 9] позволяет рационально решить эту проблему и обеспечить целостность и монолитность объекта, в том числе в условиях действия динамических нагрузок различного вида.

Как показано в [8], использование разработанных растворов с низким водоотделением повышает монолитность кладки, предотвращает разупрочнение и трещинообразование кладки на стыке кирпича и раствора, улучшает физико-механические свойства кирпича и коэффициент использования прочности кирпича в кладке. Так, кладка на растворе с добавкой 0,5 % МЦ обладает повышенной трещиностойкостью по сравнению с традиционными составами без добавок (рис. 2). Коэффициент использования прочности кирпича при этом увеличился на 30 %. Отмечено также, что модифицирование строительных и реставрационных растворов полимерами способствует улучшению показателей морозостойкости и долговечности.

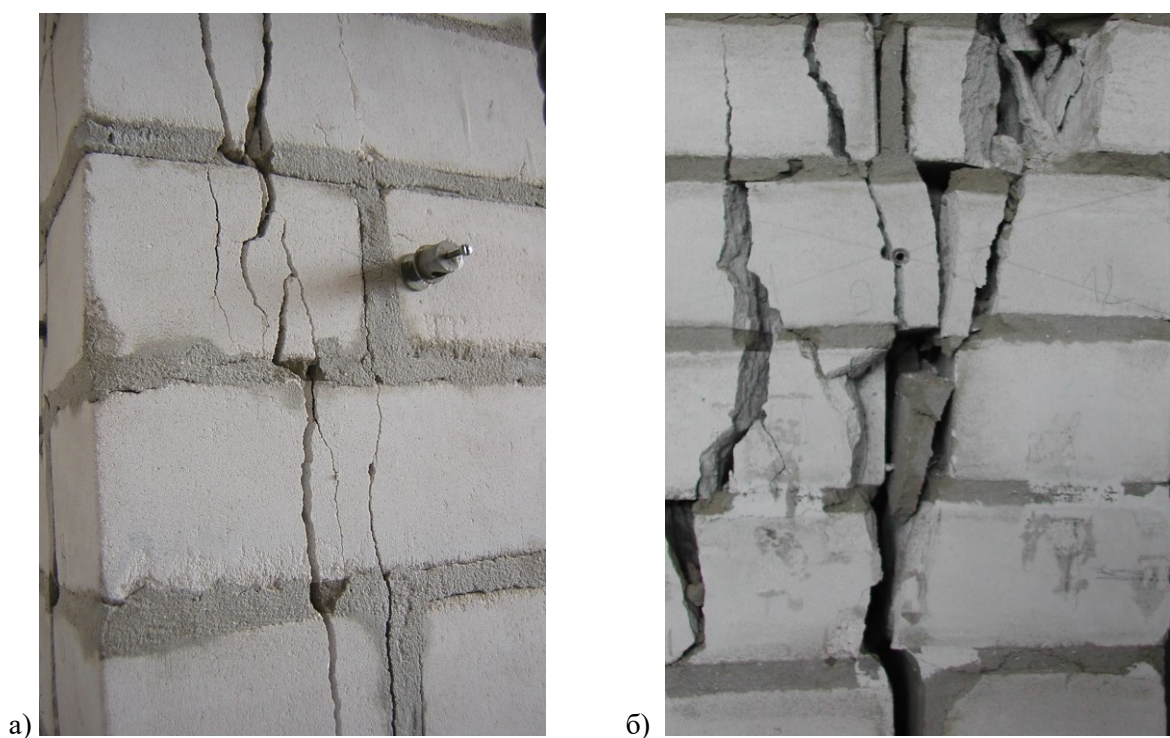


Рис. 2. Нарушение монолитности кирпичной кладки
а) на традиционном растворе; б) на растворе с добавкой МЦ 0,5 %

Сопоставляя и анализируя требования к реставрационным материалам, обобщая исследования российских и зарубежных специалистов по вопросу применения добавок различного функционального назначения в целях реставрации, есть основания полагать, что разработанные ранее автором статьи цементно-полимерные растворы, модифицированные добавками водорастворимых полимеров отечественного производства [8], вполне могут применяться для реставрационных материалов, а также для укрепления элементов и фрагментов памятников архитектуры в районах, подверженных сейсмическим и динамическим воздействиям, что обеспечит увеличение долговечности проведенных реставрационных работ. Учитывая сложный рецептурный состав современных сухих строительных смесей, авторы считают, что проведенные исследования могут быть полезны для направленного регулирования важнейших параметров реставрационных композиций с учетом специфики практического применения.

Выводы.

1. В целях реставрации и укрепления памятников архитектуры и их фрагментов рекомендуется применять составы с российскими полимерными модификаторами, что экономически эффективно.

2. Для улучшения качества и производительности реставрационных работ перспективнее использовать композиции в виде сухих смесей.

3. При выборе модифицирующей добавки важен комплексный обоснованный научный подход к особенностям совместимости вводимого модификатора с вяжущим, наполнителями, химическими реагентами в составе реставрационных материалов, что обеспечит долговечность и экономичность реставрируемого объекта.

4. Растворы, модифицированные добавками отечественных водорастворимых полимеров, вполне могут применяться в реставрационных работах, посвященных сохранению подлинности, архитектурных особенностей зданий исторической застройки. Составы на основе неионогенных эфиров целлюлозы обладают хорошей вододерживающей способностью, адгезией и рекомендуются к применению в целях упрочнения каменной кладки, повышения коэффициента использования прочности каменного материала в кладке, усиления фрагментов и элементов конструкций объектов культурного наследия. При выполнении кладочных, штукатурных, отделочных работ в целях реставрации такие составы способствуют улучшению показателей морозостойкости и долговечности архитектурного объекта.

5. Проведенный обзор исследований может быть полезен для направленного регулирования ключевых характеристик реставрационных материалов с учетом особенностей применения их на практике.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Реставрация памятников истории и искусства в России в XIX–XX веках. История, проблемы: Учебное пособие. М.: Академический Проект; Альма Матер, 2008. 604 с.
2. Азатян К.Р., Енгоян А.Р. Проблемы интеграции старого и нового в процессе развития городского пространства // Вестник МГСУ. 2014. № 6. С. 7–16.
3. Кимеева Т.И., Юдин М.О. Формирование методики реставрации объектов архитектурного наследия: исторический аспект // Genesis: исторические исследования. 2019. № 3. С. 72–79.
4. Nobile L., Bartolomeo V., Bonagura M. Non-destructive testing for the diagnosis and the restoration of architectural monuments and historical buildings // 5th international multidisciplinary scientific conference on social sciences and arts sgem 2018. Conference proceedings. 2018. Pp. 219–226.
5. Chernyshev S., Rubtsov I., Elmanova E. Innovative technologies in brick masonry restoration of architectural monuments // MATEC Web of Conferences. 2018. e04007.
6. Nikitin Yu., Tsepilova O. Synergistic analysis of the historical and cultural development of industrial architecture // Architecture and engineering. Vol. 6. № 1. 2021. Pp. 32–39. doi: 10.23968/2500-0055-2021-6-1-32-39.
7. Строкова В.В., Хмара Н.О., Нелюбова В.В., Шаповалов Н.А. Малые архитектурные формы: состав и свойства бетонов для их получения // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2021. № 11. С. 8–31. doi: 10.34031/2071-7318-2021-6-11-8-31.
8. Оноприенко Н.Н., Рахимбаев Ш.М. Строительные растворы и сухие смеси с добавками водорастворимых полимеров отечественного производства: монография. Белгород. 2016. 155 с.
9. Николаев С.Ф. Проблемы внедрения инноваций в реставрации объектов культурного наследия // Молодой ученый. 2020. № 14(304). С. 268–270.
10. Сайфуллина Л.Ш. История и методика реставраций. Некоторые проблемы современных теории и практики реставраций // Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. 2014. № 2(28). С. 70–77.
11. Чайникова О.О. Особенности процесса восстановления памятников архитектуры – культурных символов власти // Вестник МГСУ. 2018. Т. 13. Вып. 2(113). С. 171–190. doi: 10.22227/1997-0935.2018.2.170-189.
12. Гусев Н.И. Некоторые особенности отделки реставрируемых зданий // Молодой ученый. 2014. № 4(63). С. 157–158.
13. Оноприенко Н.Н., Сальникова О.Н. Повышение эффективности строительных растворов отечественного производства // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2019. № 8. С. 22–29. doi: 10.34031/article_5d493d2bc70fd6.95554532
14. Сыч Е.Р., Захарчук М.Г. Особенности применения строительных норм и правил при реставрации объекта культурного наследия // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2019. Т. 9. № 2. С. 438–451. doi: 10.21285/2227-2917-2019-2-438-451.
15. Серикова Л.С., Пищулина В.В. Классификация строительных материалов, используемых при реставрации памятников архитектуры // Актуальные вопросы образования и науки. Сборник научных трудов по материалам международной научно-практической конференции. 2018. Том Часть 6. Тамбов: ООО «Консалтинговая компания Юком». С. 40–43.
16. Шангина Н.Н., Харитонов А.М. Особенности производства и применения сухих строительных смесей для реставрации памятников архитектуры // Сухие строительные смеси. 2011. № 4. С. 16–19.
17. Лесовик В.С., Загороднюк Л.Х., Беликов Д.А., Щекина А.Ю., Куприна А.А. Эффективные сухие смеси для ремонтных и восстановительных работ // Строительные материалы. 2014. № 7. С. 82–85.
18. Логанина В.И., Макарова Л.В., Сергеева К.А. Известковые сухие строительные смеси для реставрации и отделки стен зданий: монография. Пенза: ПГУАС, 2013. 128 с.
19. Белых С.А., Кудяков А.И., Чикичев А.А. Сухая строительная смесь с повышенной адгезионной прочностью для отделки кирпичных поверхностей во влажных помещениях // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета 2017. № 1(60). С. 122–133.
20. Логанина В.И., Давыдова О.А., Карпова О.В. Известковые составы для реставрации и отделки зданий и сооружений // Вестник Оренбургского государственного университета. 2012. № 4(140). С. 280–283
21. Волкова О.В., Аниканова Л.А. Сухие строительные смеси для восстановления кирпичной кладки зданий // Стекло и керамика. 2020. № 8. С. 41–46.
22. Shiva Kumar G., Ravi Teja B.V.S., Shankar A.U.R. Laboratory evaluation of SMA mixtures made with polymer-modified bitumen and stabilizing additives // Journal of Materials in Civil Engineering. 2019. Vol. 31. № 4. e04019026.
23. Stanaszek-Tomal E. Influence of pore structure on humidity parameters of cement-polymer mortars contaminated with filamentous fungi // PLoSone. 2020. Vol. 15. № 4. e0231347.

24. Черныш А.С., Поляков А.И. Методика оценки состояния ограждающих конструкций зданий на территории жилой застройки подлежащей реновации // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2023. № 1. С. 1–8. doi: 10.34031/2071-7318-2022-8-1-0-0.
25. Хусаинова Р.Р. Причины возникновения дефектов штукатурных покрытий стен // Инновационная наука. 2019. № 1. С. 138–139.
26. Антонова В.В., Ерина А.П. Опыт реставрации и реконструкции кирпичных стен памятников исторического наследия // Научный журнал. 2019. № 1(35). С. 98–101.
27. Медяник Ю.В. Классификация и анализ дефектов и повреждений штукатурных покрытий фасадов зданий // Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. 2018. №2(44). С. 231–238.
28. Шелихов С., Сагдиев Р.Р., Тимиргалеева М.М. Разработка метода оценки долговечности строительных материалов в агрессивных средах // Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. 2019. № 4(50). С. 394–400.
29. Хассан М.А.М.М. Процесс выветривания камня в контексте историко-культурной ценности архитектуры // Вестник Санкт-Петербургского государственного института культуры. 2020. № 2(43). С. 63–68.
30. Калачук Т.Г., Кара К.А. Влияние свойств грунта на балльность площадок подземных сооружений // Вектор ГеоНаук. 2018. Т.1. № 2. С. 13–16.
31. Onoprienko, N. N., Salnikova, O. N. Interconnection of Intrinsic Deformations and Adhesive Phenomena in Modified Disperse Systems // Materials Science Forum. 2019. Vol. 974. Pp. 440–445.
32. Озеров Н.О., Черныш А.С. Установление исторической ценности зданий, сооружений, территорий // Международная научно-техническая конференция молодых ученых БГТУ им. В.Г. Шухова. Материалы конференции. Белгород, 2021. С. 816–826.
33. Suraneni P., Ramanathan S., Wang Y., Hajibabae A., Weiss J. New insights from reactivity testing of supplementary cementitious materials // Cement and Concrete Composites. 2019. Vol. 103. Pp. 331–338.
34. Onoprienko N. N., Salnickowa O. N. Influence of the composition of cement systems on the activity of modifying additives // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020. e012031. doi:10.1088/1757-899X/945/1/012031.
35. Pandey A., Derakhshandeh M., Kedzior S.A., Pilapil B., Shomrat N., Segal-Peretz T., Bryant S.L., Trifkovic M. Role of interparticle interactions on microstructural and rheological properties of cellulose nanocrystal stabilized emulsions // Journal of Colloid and Interface Science. 2018. № 532 (12). Pp. 808–818.
36. Onoprienko N. N., Salnickowa O. N., Rahimbaev Sh. M. On the Issue on Dilatant Phenomena in Dispersed Systems // Lecture Notes in Civil Engineering. 2021. Vol. 151. Pp. 78–84. doi: 10.1007/978-3-030-72910-3_12.
37. Куртуков К.А. Об особенностях выбора строительных материалов для реставрации объектов историко-культурного наследия // Вестник ТГАСУ. 2012. № 2. С. 66–69.
38. Шангина Н.Н., Харитонов А.М. Реставрационные растворы для восстановления каменной кладки: решение проблемы совместимости и оптимизации состава // Опыт сохранения культурного наследия: проблемы реставрации камня: Сборник материалов международной научно-практической конференции (ГМЗ «Петергоф», 17–19 сентября 2014 г.). СПб.: Астерион, 2014. С. 298–302.
39. Полежаев С. А., Безгодов М. А. Современные методы восстановления несущей способности кирпичной кладки методом инъектирования // Современные технологии в строительстве. Теория и практика: сб. статей. Пермь: ПИНПУ, 2018. Т. 1. С. 32–37.
40. Демьянова В.С., Калашников В.И. Эффективные сухие строительные смеси на основе местных материалов. М.: Изд-во АСВ, 2001. 209 с.
41. Елистраткин М.Ю., Минакова А.В., Джамиль А.Н., Куковицкий В.В., Эльян Исса Жамал Исса Композиционные вяжущие для отделочных составов // Строительные материалы и изделия. 2018. Том 1. № 2. С. 37–45.
42. Tay Y., Panda B., Paul S, Noor M., Tan M., Leong K. 3D printing trends in building and construction industry: a re-view // Virtual and Physical Prototyping. 2017. № 12(3). Pp. 261–276. doi: 10.1080/17452759.2017.1326724.
43. Onoprienko N.N., Rahimbaev Sh.M. Influence of composition of functional additives and deformation modes on flow behavior of polymer composite materials // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2018. e032043. doi:10.1088/1757-899X/327/3/032043.
44. Елистраткин М.Ю., Глаголев Е.С., Оноприенко Н.Н., Пospelова М.А., Айменов Ж.Т. Особенности проектирования смесей для производства декоративных изделий // Эффективные материалы и технологии для транспортного и сельскохозяйственного строительства. Сборник научных трудов по материалам национальной Научно-технической конференции с международным участием. Новосибирск, 2020. С. 79–82.

45. Elistratkin M.Y., Lesovik V.S., Alfimova N.I., Shurakov I.M. On the question of mix composition selection for construction 3D printing // Materials Science Forum. Vol. 945. 2019. Pp. 218–225.

46. Рахимбаев Ш.М., Толыпина Н.М., Хахалева Е.Н. Взаимосвязь между пластической вязкостью цементных систем и их реотехнологическими характеристиками // Вестник СибАДИ. 2018. Том 15. № 2. С. 276–282.

47. Djandullaeva M.S., Turabdjanyov S.M., Atakuziev T.A.U., Xusnitdinov A.M. Enhancement of adhesiveness of silicate brick on the basis of tuffit addition with masonry mortar // Austrian Journal of Technical and Natural Sciences. 2016. № 9-10. Pp. 55–57.

48. Menon S.M. Sathyan D., Anand K.B. Studies on rheological properties of superplasticised PPC paste. International Journal of Civil Engineering and Technology (IJCIET). 2017. Vol. 8. Iss. 10. Pp. 939–947.

49. Перцев В.Т., Леденев А.А. Методологические подходы к исследованию реологических свойств строительных смесей // Научный Вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. 2017. Выпуск № 1(14). С.71–77.

50. Тимашев В.В., Колбасов В.М. Свойства цементов с карбонатными добавками // Цемент и его применение. 1981. № 10. С. 10–12.

Информация об авторах

Оноприенко Наталья Николаевна, кандидат технических наук, доцент кафедры городского кадастра и инженерных изысканий. E-mail: dstt_80@mail.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Сальникова Ольга Николаевна, кандидат философских наук, доцент кафедры городского кадастра и инженерных изысканий. E-mail: olsalnickowa@yandex.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Поступила 17.12.2022 г.

© Оноприенко Н.Н., Сальникова О.Н., 2023

***Onoprienko N.N., Salnikova O.N.**

Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov

**E-mail: dstt_80@mail.ru*

ON THE ISSUE OF DEVELOPING DOMESTIC RESTORATION MATERIALS FOR ARCHITECTURAL MONUMENTS

Abstract. The article provides an overview of research on the specifics of the use and composition of restoration materials and solutions at different stages of the work. The need is shown for the development of domestic restoration materials that improve the quality of restoration, the long-term preservation of the restored object during operation and provide the possibility of choice in relation to each restoration task. The literature review gives the stages of restoration work of architectural monuments are given, the specifics of which depend on the use of functional additives in various repair mixtures. The review of research on the subject is focused on the importance of solving the problems of replacing imported modifier additives with domestic ones. The authors emphasize that the choice of additives of various functional purposes in prescription formulations should be made considering the compatibility patterns of the components of the materials being restored (including in the form of dry restoration mixtures), have a scientific integrated approach. The analysis of scientific achievements and publications where the solution of this problem has been initiated has shown that there are particular unresolved issues of the general problem to which this article is devoted. Polymer additives of domestic production of various chemical nature used in compositions based on mineral binders are given. Based on the analysis of physico-mechanical, rheotechnological and technological properties of compositions based on mineral binders, the possibility and advantage of using Russian water-soluble polymers in the compositions of restoration materials, taking into account the small dosage and environmental friendliness of these additives, is proved. Previous comparative analysis of conducted studies shows that increasing the range of modifying additives using Russian-made polymers and the production of competitively capable dry building mixes based on them for restoration operations will help to fulfill the task of preserving architectural objects of historical construction that reflect different epochs, an element of national culture and identity, ensuring the continuity of cultures.

Keywords: architectural monuments, restoration, import substitution, polymer additives, dry building mixes, building mortars, operational properties.

REFERENCES

1. Restoration of historical and art monuments in Russia in the XIX-XX centuries. History, problems: Textbook [Restavraciya pamyatnikov istorii i iskusstva v Rossii v XIX-XX vekah. Istoriya, problema: Uchebnoe posobie]. M.: Academic Project; Alma Mater, 2008. 604 p. (rus)
2. Asatryan K.R., Engoyan A.R. Problems of integration of old and new in the process of urban space development [Problemy integracii starogo i novogo v processe razvitiya gorodskogo prostranstva]. Bulletin of Moscow State University. 2014. No. 6. Pp. 7–16. (rus)
3. Kimeeva T.I., Yudin M.O. Formation of methods of restoration of objects of architectural heritage: historical aspect [Formirovanie metodiki restavracii ob"ektov arhitekturnogo naslediya: istoricheskij aspekt]. Genesis: historical research. 2019. No. 3. Pp. 72–79. (rus)
4. Nobile L., Bartolomeo V., Bonagura M. Nondestructive testing for the diagnosis and the restoration of architectural monuments and historical buildings. 5th international multidisciplinary scientific conference on social sciences and arts sgem 2018. Conference proceedings. 2018. Pp. 219–226.
5. Chernyshev S., Rubtsov I., Elmanova E. Innovative technologies in brick masonry restoration of architectural monuments. MATEC Web of Conferences. 2018. e04007.
6. Nikitin Yu., Tsepilova O. Synergistic analysis of the historical and cultural development of industrial architecture. Architecture and engineering. 2021. Vol 6. No 1. Pp. 32–39. doi:10.23968/2500-0055-2021-6-1-32-39.
7. Strokova V.V., Khmara N.O., Nelyubova V.V., Shapovalov N.A. Small architectural forms: composition and properties of concrete for their production [Malye arhitekturnye formy: sostav i svoystva betonov dlya ih polucheniya]. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2021. No. 11. Pp. 8–31. doi: 10.34031/2071-7318-2021-6-11-8-31. (rus)
8. Onoprienko N.N., Rakhimbayev Sh.M. Building mortars and dry mixtures with additives of water-soluble polymers of domestic production: monograph [Stroitel'nye rastvory i suhie smesi s dobavkami vodorastvorimyh polimerov otechestvennogo proizvodstva: monografiya]. Belgorod. 2016. 155 p. (rus)
9. Nikolaev S.F. Problems of introducing innovations in the restoration of cultural heritage objects [Problemy vnedreniya innovacij v restavracii ob"ektov kul'turnogo naslediya]. Young Scientist. 2020. No. 14(304). Pp. 268–270. (rus)
10. Sayfullina L. S. History and methodology of restorations. Some problems of modern theory and practice of restoration [Istoriya i metodika restavracij. Nekotorye problem sovremennyh teorii i praktiki restavracij]. Izvestia Kazan State University of Architecture and Civil Engineering. 2014. No. 2(28). Pp. 70–77. (rus)
11. Chaynikova O. O. Features of the process of restoration of architectural monuments – cultural symbols of power [Osobennosti processa vosstanovleniya pamyatnikov arhitektury – kul'turnyh simbolov vlasti]. Bulletin of MGSU. 2018. Vol. 13. Iss. 2(113). Pp. 171–190. doi: 10.22227/1997-0935.2018.2.170-189. (rus)
12. Gusev N.I. Some features of finishing restored buildings [Nekotorye osobennosti otdelki restavriremykh zdaniy]. A young scientist. 2014. No. 4(63). Pp. 157–158. (rus)
13. Onoprienko N.N., Salnikova O.N. Improving the efficiency of construction mortars of domestic production [Povyshenie effektivnosti stroitel'nykh rastvorov otechestvennogo proizvodstva]. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2019. No. 8. Pp. 22–29. doi: 10.34031/article_5d493d2bc70fd6.95554532 (rus)
14. Sych E.R., Zakharchuk M.G. Features of the application of building codes and rules in the restoration of the object of cultural heritage [Osobennosti primeneniya stroitel'nykh norm i pravil pri restavracii ob"ekta kul'turnogo naslediya]. News of universities. Investment. Construction. Realty. 2019. Vol. 9. No. 2. Pp. 438–451. doi: 10.21285/2227-2917-2019-2-438-451. (rus)
15. Serikova L.S., Pishchulina V.V. Classification of building materials used in the restoration of architectural monuments [Klassifikaciya stroitel'nykh materialov, ispol'zuyushchih pri restavracii pamyatnikov arhitektury]. Actual issues of education and science. Collection of scientific papers based on the materials of the international scientific and practical conference. 2018. Volume Part 6. Tambov: LLC "Consulting company Yukom". Pp. 40–43. (rus)
16. Shangina N.N., Kharitonov A.M. Features of production and application of dry building mixes for restoration of architectural monuments [Osobennosti proizvodstva i primeneniya suhih stroitel'nykh smesey dlya restavracii pamyatnikov arhitektury]. Dry building mixes. 2011. No. 4. Pp. 16–19. (rus)
17. Lesovik B.C., Zagorodnyuk L.H., Belikov D.A., Shchekina A.Yu., Kuprina A.A. Effective dry mixes for repair and restoration work [Effektivnye suhie smesi dlya remontnykh i vosstanovitel'nykh rabot]. Construction materials. 2014. No. 7. Pp. 82–85. (rus)
18. Loganina V.I., Makarova L.V., Sergeeva K.A. Lime dry building mixes for restoration and finishing of walls of buildings: monogr. [Izvestkovye suhie stroitel'nye smesi dlya restavracii i otdelki sten zdaniy: monografiya]. Penza: PGUAS, 2013. 128 p. (rus)

19. Belykh S.A., Kudiyakov A.I., Chikichev A.A. Dry construction mix with increased adhesive strength for finishing brick surfaces in wet rooms [Suhaya stroitel'naya smes' s povyshennoy adgezionnoy prochnost'yu dlya otdelki kirpichnykh poverkhnostey vo vlazhnykh pomeshcheniyah]. Bulletin of Tomsk State University of Architecture and Civil Engineering 2017. No. 1(60). Pp. 122–133. (rus)
20. Loganina V.I., Davydova O.A., Karpova O.V. Lime compositions for restoration and decoration of buildings and structures [Izvestkovye sostavy dlya restavratsii i otdelki zdaniy i sooruzheniy]. Bulletin of Orenburg State University. 2012. No. 4(140). Pp. 280–283. (rus)
21. Volkova O.V., Anikanova L.A. Dry building mixes for restoration of brickwork of buildings [Suhie stroitel'nye smesi dlya vosstanovleniya kirpichnoj kladki zdaniy]. Glass and ceramics. 2020. No. 8. Pp. 41–46. (rus)
22. Shiva Kumar G., Ravi Teja B.V.S., Shankar A.U.R. Laboratory evaluation of SMA mixtures made with polymer-modified bitumen and stabilizing additives. Journal of Materials in Civil Engineering. 2019. Vol. 31. No. 4. e04019026.
23. Stanaszek-Tomal E. Influence of pore structure on humidity parameters of cement-polymer mortars contaminated with filamentous fungi. PLoSone. 2020. Vol. 15. No. 4. e0231347.
24. Chernysh A.S., Polyakov A.I. Methodology for assessing the condition of enclosing structures of buildings on the territory of residential development subject to renovation [Metodika ocenki sostoyaniya ogradhdayushchih konstrukcij zdaniy na territorii zhiloy zastroyki podlezhashchej renovatsii]. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2023. No.1. Pp. 1–8. doi: 10.34031/2071-7318-2022-8-1-0-0
25. Khusainova R.R. Causes of defects in plaster wall coverings [Prichiny vozniknoveniya defektov shtukaturnykh pokrytij sten]. Innovative Science. 2019. No. 1. Pp. 138–139. (rus)
26. Antonova V.V., Erin A.P. Experience in restoration and reconstruction of brick walls of historical heritage monuments [Opyt restavratsii i rekonstrukcii kirpichnykh sten pamyatnikov istoricheskogo naslediya]. Scientific Journal. 2019. No. 1(35). Pp. 98–101. (rus)
27. Medyanik Yu.V. Classification and analysis of defects and damages of plaster coverings of facades of buildings [Klassifikatsiya i analiz defektov i povrezhdenij shtukaturnykh pokrytij fasadov zdaniy]. Proceedings of the Kazan State University of Architecture and Civil Engineering. 2018. No. 2(44). Pp. 231–238. (rus)
28. Shelekhov S., Sagdeev R.R., Timirgaleeva M.M. Development of a method for assessing the durability of building materials in aggressive environments [Razrabotka metoda ocenki dolgovechnosti stroitel'nykh materialov v agressivnykh sredah]. Izvestiya Kazan State University of Architecture and Civil Engineering. 2019. No. 4(50). Pp. 394–400. (rus)
29. Hassan M.A.M.M. The process of stone weathering in the context of the historical and cultural value of architecture [Process vyvetrivaniya kamnya v kontekste istoriko-kul'turnoj cennosti arhitektury]. Bulletin of the St. Petersburg State Institute of Culture. 2020. No. 2(43). Pp. 63–68. (rus)
30. Kalachuk T.G., Kara K.A. The influence of soil properties on the ballicity of sites of underground structures [Vliyanie svoystv grunta na ball'nost' ploshchadok podzemnykh sooruzheniy]. Vector Geosciences. 2018. Vol.1. No. 2. Pp. 13–16. (rus)
31. Onoprienko, N. N., Salnikova, O. N. Interconnection of Intrinsic Deformations and Adhesive Phenomena in Modified Disperse Systems. Materials Science Forum. 2019. Vol. 974. Pp. 440–445.
32. Ozerov N.O., Chernysh A.S. Establishing the historical value of buildings, structures, territories [Establishing the historical value of buildings, structures, territories]. International Scientific and Technical Conference of Young scientists of V.G. Shukhov BSTU. Conference materials. Belgorod, 2021. Pp. 816–826. (rus)
33. Suraneni P., Ramanathan S., Wang Y., Hajibabae A., Weiss J 2019 New insights from reactivity testing of supplementary cementitious materials. Cement and Concrete Composites. 2019. Vol. 103. Pp. 331–338.
34. Onoprienko N. N., Salnickowa O. N. Influence of the composition of cement systems on the activity of modifying additives. IOP Conference Series: Materials Sciences and Engineering. 2020. e012031. doi: 10.1088/1757-899X/945/1/012031.
35. Pandey A., Derakhshandeh M., Kedzior S.A., Pilapil B., Shomrat N., Segal-Peretz T., Bryant S.L., Trifkovic M. Role of interparticle interactions on microstructural and rheological properties of cellulose nanocrystal stabilized emulsions. Journal of Colloid and Interface Science. 2018. No. 532(12). Pp. 808–818.
36. Onoprienko N.N., Salnickowa O.N., Rahimbaev Sh.M. On the Issue on Dilatant Phenomena in Dispersed Systems. Lecture Notes in Civil Engineering. 2021. Vol. 151. Pp. 78–84. doi: 10.1007/978-3-030-72910-3_12.
37. Kurtukov K.A. About the peculiarities of the choice of building materials for the restoration of objects of historical and cultural heritage [Ob osobennostyakh vybora stroitel'nykh materialov dlya restavratsii ob"ektov istoriko-kul'turnogo naslediya]. Bulletin of the TSASU. 2012. No. 2. Pp. 66–69. (rus)
38. Shangina N.N., Kharitonov A.M. Restoration solutions for the restoration of masonry: solving the problem of compatibility and optimization of

composition [Restavracionnye rastvory dlya voss-tanovleniya kamennoj kladki: reshenie problemy sovmestimosti i optimizacii sostava]. The experience of preserving cultural heritage: problems of stone restoration: A collection of materials of the international scientific and practical conference (GMZ "Peterhof", September 17-19, 2014). St. Petersburg: As-terion, 2014. Pp. 298–302. (rus)

39. Polezhaev S. A., Bezgodov M. A. Modern methods of restoring the bearing capacity of brick-work by injection [Sovremennye metody voss-tanovleniya nesushchej sposobnosti kirpichnoj kladki metodom in'ecirovaniya]. Modern technolo-gies in construction. Theory and practice: collection of articles. Perm: PNRPU, 2018. Vol. 1. Pp. 32–37. (rus)

40. Demyanova V.S., Kalashnikov V.I. Effective dry building mixes based on local materials [Effektivnye suhie stroitel'nye smesi na osnove mestnyh materialov]. Moscow: Publishing House of the DIA, 2001. 209 p. (rus)

41. Elistratkin M.Yu., Minakova A.V., Jamil A.N., Kukovitsky V.V., Alliance Issa Jamal Isa Composite binders for finishing compositions [Kompozicionnye vyazhushchie dlya otdelochnyh sostavov]. Building materials and products. 2018. Vol. 1. No. 2. Pp. 37–45. (rus)

42. Tay Y., Panda B., Paul S., Noor M., Tan M., Leong K. 3D printing trends in building and con-struction industry: a re-view. Virtual and Physical Prototyping. 2017. No. 12(3). Pp. 261–276. doi: 10.1080/17452759.2017.1326724.

43. Onoprienko N.N., Rahimbaev Sh.M. Influence of composition of functional additives and de-formation modes on flow behavior of polymer com-posite materials. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2018. e032043. doi:10.1088/1757-899X/327/3/032043.

44. Elistratkin M.Yu., Glagolev E.S., Ono-prienko N.N., Pospelova M.A., Aimenov Zh.T. Fea-tures of designing mixtures for the production of

decorative products [Osobennosti proektirovaniya smesey dlya proizvodstva dekorativnyh izdelij]. Ef-fective materials and technologies for transport and agricultural construction. Collection of scientific pa-pers based on the materials of the national Scientific and Technical Conference with international partici-pation. Novosibirsk, 2020. Pp. 79–82. (rus)

45. Elistratkin M.Y., Lesovik V.S., Alfimova N.I., Shurakov I.M. On the question of mix compo-sition selection for construction 3D printing. Materi-als Science Forum. Vol. 945. 2019. Pp. 218–225.

46. Rakhimbayev Sh.M., Stolypina N.M., Kha-khaleva E.N. The relationship between the plastic viscosity of cement systems and their rheotechno-logical characteristics [Vzaimosvyaz' mezhdru plastich-eskoj vyazkost'yu cementnyh sistem i ih reotekhnolo-gicheskimi harakteristikami]. Bulletin of SibADI. 2018. Vol. 15. No. 2. Pp. 276–282. (rus)

47. Djandullaeva M.S., Turabdjanyov S.M., Atakuziev T.A.U., Xusnitdinov A.M. Enhancement of adhesiveness of silicate brick on the basis of tuffit addition with masonry mortar. Austrian Journal of Technical and Natural Sciences. 2016. No. 9-10. Pp. 55–57.

48. Menon S.M. Sathyan D., Anand K.B. Stud-ies on rheological properties of superplasticised PPC paste. International Journal of Civil Engineering and Technology (IJCET). 2017. Vol. 8. Iss.10. Pp. 939–947.

49. Pertsev V.T., Ledenev A.A. Methodologi-cal approaches to the study of rheological properties of building mixes [Metodologicheskie podhody k is-sledovaniyu reologicheskikh svoystv stroitel'nyh smesey]. Scientific Bulletin of the Voronezh State University of Architecture and Civil Engineering. 2017. Iss. No. 1(14). Pp. 71–77. (rus)

50. Timashev V.V., Kolbasov V.M. Properties of cements with carbonate additives [Svoystva ce-mentov s karbonatnymi dobavkami]. Cement and its application. 1981. No. 10. Pp. 10–12. (rus)

Information about the authors

Onoprienko, Natalya N. PhD, Assistant professor. E-mail: dstt_80@mail.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Salnikova, Olga N. PhD, Assistant professor. E-mail: olsalnickowa@yandex.ru. Belgorod State Technological Univer-sity named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Received 17.12.2022

Для цитирования:

Оноприенко Н.Н., Сальникова О.Н. К вопросу разработки отечественных реставрационных материалов для памятников архитектуры // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2023. № 3. С. 19–33. DOI: 10.34031/2071-7318-2022-8-3-19-33

For citation:

Onoprienko N.N., Salnikova O.N. On the issue of developing domestic restoration materials for architectural monuments. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2023. No. 3. Pp. 19–33. DOI: 10.34031/2071-7318-2022-8-3-19-33

DOI: 10.34031/2071-7318-2022-8-3-34-45

Кузнецов С.В., *Князева Н.В.*Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет»**E-mail: Nknyazeva@mgsu.ru*

ПРИМЕНЕНИЕ ИНФОРМАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ И РЕМОНТА ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

Аннотация. В настоящее время происходит активное развитие цифровых технологий в строительной сфере. Одним из основных направлений цифровизации строительства является применение технологий информационного моделирования (ТИМ) на всех стадиях жизненного цикла зданий и сооружений. Принцип использования данной технологии заключается в комплексной обработке геометрической и атрибутивной информации об объекте и его элементах и ее применении для решения проектных, строительных и эксплуатационных задач.

Несмотря на заметное отставание темпов внедрения ТИМ на этапе эксплуатации, можно проследить растущий интерес владельцев активов к возможностям снижения трудоемкости и повышения эффективности обслуживания зданий посредством организации централизованного хранилища актуальной и достоверной информации об объекте на базе информационной модели.

В данной статье рассмотрено одно из направлений применения информационной модели для решения задач технического обслуживания и ремонта, в частности, оперативного формирования актов дефектов и ведомостей необходимых материально-технических средств, предназначенных для текущего ремонта. Традиционный подход к работе с этими документами связан с многократным вводом повторяющейся информации в системы учета данных, а порой с рукописными формами и отсутствием возможности одновременной работы всех участников над документацией.

Предлагаемый подход ведения отчетности в электронном виде даст возможность снижения объема рутинной работы специалистов службы эксплуатации и исключит ошибки, связанные с человеческим фактором при подготовке отчетов.

Ключевые слова: эксплуатация зданий и сооружений, управление активом, эксплуатационная информационная модель, техническое обслуживание и ремонт.

Введение. Согласно разработанной Правительством РФ Программе «Цифровая экономика Российской Федерации», стратегическими целями развития государства является преобразование приоритетных экономических отраслей «посредством внедрения цифровых технологий и платформенных решений». В строительной отрасли в последние годы все активнее внедряется многокритериальный метод оптимизации процесса строительства с использованием технологий информационного моделирования (ТИМ) [1]. Цифровая информационная модель здания предназначена для сбора и обеспечения участников инвестиционно-строительной деятельности структурированной и мгновенно актуализируемой информацией об объекте на протяжении всего жизненного цикла.

Применение цифровых технологий в виде информационных систем, платформ и модульных программных разработок при проектировании зданий и сооружений существенно повышает экономическую эффективность организаций [2]. Атрибутивная наполняемость модели открывает перед проектировщиками все новые возможности по управлению инженерными данными, а совместная работа смежных разделов в единой среде значительно уменьшает количество

пространственных, временных и логических коллизий, что приводит к экономии трудозатрат и финансов на стадии производства работ. Информационные проектные модели формируют новый тип актуальной базы данных, доступ к которой инженеры, исполнители и руководители могут получить в любой момент времени работы над объектом. Общая среда данных такого рода может объединять в себе все стадии жизненного цикла на разных уровнях взаимодействия между участниками инвестиционно-строительной деятельности.

Однако, несмотря на множество преимуществ, применения подобной технологии, широкое распространение информационное моделирование получило в основном на этапе проектирования. Стадия эксплуатации объекта все еще является достаточно консервативной, что значительно замедляет процесс комплексной цифровизации данного ответвления отрасли. Это связано с рядом проблем, возникающих на начальных этапах внедрения информационных технологий в организациях на различных уровнях.

Одной из причин отказа от применения технологий информационного моделирования при обслуживании зданий и сооружений является трудоемкость процесса оцифровки необходимой

документации, ежедневно используемой эксплуатирующими организациями, которая влечет за собой временные потери на поиск, сбор и сортировку обрабатываемой информации. На этом этапе также могут вскрыться такие организационные проблемы, как низкий уровень ведения архивной базы данных на местах и, как следствие, неполнота документальной основы, отсутствие систематизации и четкой алгоритмизации ведущих процессов управления, отклонения при принятии решений от прописанных требований в регламентах и другие нарушения, возникающие ввиду разрозненности хранения информации об активе.

Также остро встает вопрос о компетенции персонала, который будет непосредственно пользоваться разрабатываемыми системами. Говоря о сфере обслуживания зданий и сооружений, важно помнить об упомянутой выше консервативности рассматриваемой структуры и вероятной незаинтересованности исполнителей в развитии цифровизации на местах. В данной постановке вопроса важна позиция руководящего состава и их видение развития организации в условиях постепенной трансформации отрасли в целом. Так, наличие в организации сотрудника с необходимым уровнем навыков применения технологий информационного моделирования позволит уменьшить число специалистов, привлекаемых к выполнению производственного задания. Разумное и уместное сокращение числа персонала приведет к увеличению заработной платы специалистам, что, в свою очередь, несомненно, повысит спрос на вакантные места.

Недостаток в комплексных решениях по управлению данными и обеспечению нормативного уровня их валидации при эксплуатации объекта, представленных на отечественном рынке информационных систем, понижает интерес владельцев активов и обслуживающих организаций к внедрению ТИМ. Взгляд разработчиков в основном устремлен на этап проектирования, где более заметна востребованность отрасли в развивающемся программном обеспечении. С этим связано отсутствие большого выбора, как среди готовых единых платформенных систем, так и среди универсальных модульных расширений программного обеспечения. Стоит отметить, что при дальнейшем развитии такой ситуации, будет значительно снижаться степень интероперабельности на организационном уровне, а соответственно замедлятся темпы цифровизации всей отрасли.

Не смотря на все сложности внедрения информационных систем на начальном этапе, в долгосрочной перспективе интегрированная в единое цифровое пространство эксплуатационная

модель позволяет автоматизировать множество процессов, связанных с управлением активом и анализом обрабатываемых инженерных данных. Улучшение качества обслуживания за счет применения технологий информационного моделирования повышает конкурентоспособность организации на рынке и оптимизирует стоимость эксплуатации для владельца актива.

Положительный эффект использования, например, интеграции EAM-систем (Enterprise Asset Management System – Система управления основными фондами) с ТИМ зависит от уровня проработки и детализации эксплуатационной модели.

Важно помнить, что процесс наполняемости эксплуатационной информационной модели существенно зависит от объема и качества, сформированной исполнительной документации, а также, в случае наличия цифрового потока на объекте, проектной и строительной моделей объекта. Хорошо продуманный подход сбора и обработки информации на стадии эксплуатации позволяет существенно сократить потребляемые временные и экономические ресурсы [3].

Существует множество методов формирования информационных эксплуатационных моделей здания [4]. Рассмотрим метод прямого последовательного переноса данных от этапа к этапу. Корректно сформированная исполнительная информационная модель построенного здания является своего рода уникальной базой данных об объекте обслуживания, поскольку вмещает в себя всю необходимую информацию, включая объемы и характеристики используемых материалов, их поставщиков, ответственных исполнителей, паспорта оборудования и регистрационные номера отчетных документов по проведенным работам [5]. Оптимизируя процессы обмена, обработки и хранения данного типа информации, можно в значительной степени изменить подход к управлению эксплуатируемого актива за счет частичной, а в дальнейшем и комплексной цифровизации рассматриваемой области.

По мнению многих авторов, исследовавших данный вопрос [6–11], цифровизация этапа эксплуатации является достаточно перспективным направлением. Реализация потенциала актива в строительной сфере имеет наибольшую продолжительность по сравнению с предшествующими стадиями жизненного цикла. Это обуславливает целесообразность вложения средств в формирование структурированного управления объектом и понятной внутренней организации данных о здании или сооружении [12–14].

При обслуживании жилых, производственных, общественных и иных типов объектов важ-

ную роль играет быстрота и качество реагирования эксплуатирующих организаций на возникающие технические и технологические проблемы [15]. Учитывая большой поток информации, получаемый при проведении запланированных

осмотров, капитальных ремонтов и обработке ежедневных заявок важно четко и вовремя фиксировать дефекты несущих конструкций и отделочных материалов, неисправность имеющегося оборудования и инженерных систем [16].

УТВЕРЖДАЮ

« _ » 20 _ г.

ДЕФЕКТНАЯ ВЕДОМОСТЬ

по капитальному ремонту _____
(наименование работ)
по адресу _____
(наименование муниципального района, населенного пункта, улицы, № дома, корпуса)

Длина дома м
Ширина дома м
Общая площадь дома м²
Высота дома м
Объем дома м³
Количество этажей шт
Количество подъездов шт
Количество этажей в подъездах шт
для капитального ремонта инженерных систем:
Высота этажа м
Высота техэтажа м
Высота межэтажного перекрытия м
Высота подвального помещения м
Высота перекрытия над подвальным помещением м
для капитального ремонта системы теплоснабжения:
Количество 1, 2-х, 3-х комнатных квартир шт

№ п/п	Наименование работ	Единица измерения	Количество

Составил:

_____ (дата) _____ (должность) _____ (подпись) _____ (фамилия, имя, отчество)

Контактный телефон:

Проверил:

_____ (дата) _____ (должность) _____ (подпись) _____ (фамилия, имя, отчество)

а)

Акт технического состояния многоквартирного дома

г. (место) _____ (число, месяц, год)

Комиссия в составе представителей собственников помещений многоквартирного дома [Ф. И. О.] и председателя специализированной организации - Исполнителя [должность, Ф. И. О.] произвела обследование многоквартирного дома [адрес] и установила следующее:

1. Состав общего имущества

Год постройки: [значение]
Материал стен: [вписать нужное]
Число этажей: [значение]
Количество подъездов: [значение]
Наличие подвала или полуподвала: [кв. м]
Мансарда: [кв. м]
Стоимость строения (восстановительная): [тыс. руб.]
Износ: [тыс. руб.] или [значение] %
Общая площадь помещений: [кв. м]
В том числе жилья: [кв. м]
Количество квартир: [значение], комнат: [значение]
Количество собственников жилых помещений: [значение]
Количество нанимателей жилых помещений: [значение]
Торговые помещения: [кв. м], производственные: [кв. м]
Учреждения: [кв. м], склады: [кв. м]
Гаражи: [кв. м], встроенные: [кв. м]
Прочие: [кв. м]
Подсобные постройки: [перечислить]

2. Конструкции (результат осмотра)

Наименование элементов общего имущества	Оценка технического состояния или краткое описание дефекта и причины его возникновения	Решение о принятии мер (капитальный или текущий ремонт)
Кровля		
Фасад		
Инженерное оборудование		
Фундаменты		

Инженерное оборудование		
Радиаторы		
Горячее водоснабжение		
Приборы		
Бойлеры		
Наличие транзитных трасс		
Водопровод		
Наличие повысительных насосов		
Канализация		
Приборы		
Наличие внутридомовой линейной канализации		
Электрооборудование		
Осветительные точки		
Электродвигатели		
Лифты		
...		

Строение находится в [вписать нужное] состоянии и/или нуждается в [вписать нужное].

Исполнитель
[Ф. И. О., подпись]

Ф. И. О. собственника жилого помещения,
действующего от имени всех собственников
помещений в многоквартирном доме
[Ф. И. О., подпись]

б)

Рис. 1. Примеры форм первичных учетных документов:
а) дефектная ведомость; б) акт технического состояния многоквартирного дома

Еще одной особенностью проведения работ при обслуживании зданий и сооружений является внушительный объем документации, сопровождающей производственные процессы на протяжении всего периода эксплуатации актива [17]. При рассмотрении задач технического обслуживания и ремонта, согласно п. 18 СП 255.1325800.2016, можно выделить несколько основных форм документации (см. рис. 1), необходимых для формирования и дальнейшей передачи в работу специалистам, осуществляющим подготовку и организацию текущего и капитального ремонтов:

- акт технического осмотра объекта;
- акт технического состояния здания (конструктивного элемента);
- ведомость затрат на техническое обслуживание и ремонт;
- дефектная ведомость по текущему/капитальному ремонту.

Представленный формат отчетной документации наглядно отражает объем информации и помогает предварительно оценить количество рабочего времени, которое необходимо специалистам для заполнения, сортирования, согласования и регистрации актов и ведомостей. При этом уровень требуемой скорости реагирования и качества оказываемых услуг должен только возрастать. Автоматизация процессов данного типа, несомненно, повысит качественные и количественные показатели организации при обслуживании зданий и сооружений.

Материалы и методы. Программными комплексами для формирования и проработки эксплуатационной модели могут быть выбраны любые системы, поддерживающие технологии информационного моделирования и позволяющие обеспечить выгрузку специфицированных данных в табличном виде. Одним из примеров такого программного обеспечения является продукт Autodesk Revit. Разрабатываемый модуль отчетности привязывается к существующим информационным системам управления инженерными данными и использует среду общих данных (СОД) применяемой на платформе организации.

Основная часть. Для осуществления комплексного подхода цифровизации строительной отрасли организации нередко внедряют в свою деятельность такой инструмент, как системы управления инженерными данными (СУИД). Данные информационные платформы позволяют пользователям оптимизировать процесс обмена, обработки, анализа и хранения информации, аккумулируют имеющуюся рабочую документацию в единые серверные базы данных, а также

существенно уменьшают вероятность потери инженерных данных на всем протяжении выполнения проекта.

Консолидация информационной модели и системы управления информацией об объекте открывает новые возможности перед пользователями. На платформах с таким типом функциональных зависимостей реализуется концептуально новый подход сбора и обработки данных о проекте. Вся актуальная информация вносится в атрибутивную часть информационной модели, после чего она может быть использована для передачи в смежные проектные отделы, для формирования отчетной документации, для обновления и представления базы данных (рис. 2).

Архитектура предлагаемой ЕАМ-системы имеет модульную структуру, сформированную по предлагаемым специалистам функциональным возможностям (рис. 3). Каждый условный модуль предоставляет пользователю дополнительные наборы инструментов по обработке инженерных данных, получаемых из атрибутов эксплуатационной информационной модели. Наряду с базовыми возможностями использования системы, такими как электронный документооборот и архив, фиксация заявок, управление кадрами и финансами, на разрабатываемой платформе предлагается применение модулей отчетности (регистрации результатов работы исполнителей по техническому обслуживанию здания, согласование внутренней и исходящей документации, оформление и заключение договоров на поставку материалов и оборудования), планирования и управления складскими запасами (контроль имеющегося оборудования на местах), а также SCADA-система (контроль технического состояния оборудования инженерных систем при помощи системы датчиков, интегрированных в информационную модель для определения месторасположения механизмов и их идентификации без привлечения сторонней документации) и инструменты по составлению динамических ВІ-отчетов, необходимых для проведения углубленного анализа состояния здания, обнаружения проблемных зон в организации и управлении обслуживанием объекта.

Исходя из описанных выше возможностей, становится понятна необходимость внедрения ТИМ в организациях обслуживания и управления активом на этапе эксплуатации зданий и сооружений. Принимая во внимание продолжительность рассматриваемой стадии жизненного цикла, необходимость прозрачности внутренних процессов и защищенности данных, при разработке информационных платформ для обслуживающих организаций нужно делать упор на авто-

матизацию формирования подотчетной документации, снижение трудозатрат при регистрации

данных, фиксацию промежуточных и итоговых результатов деятельности специалистов.

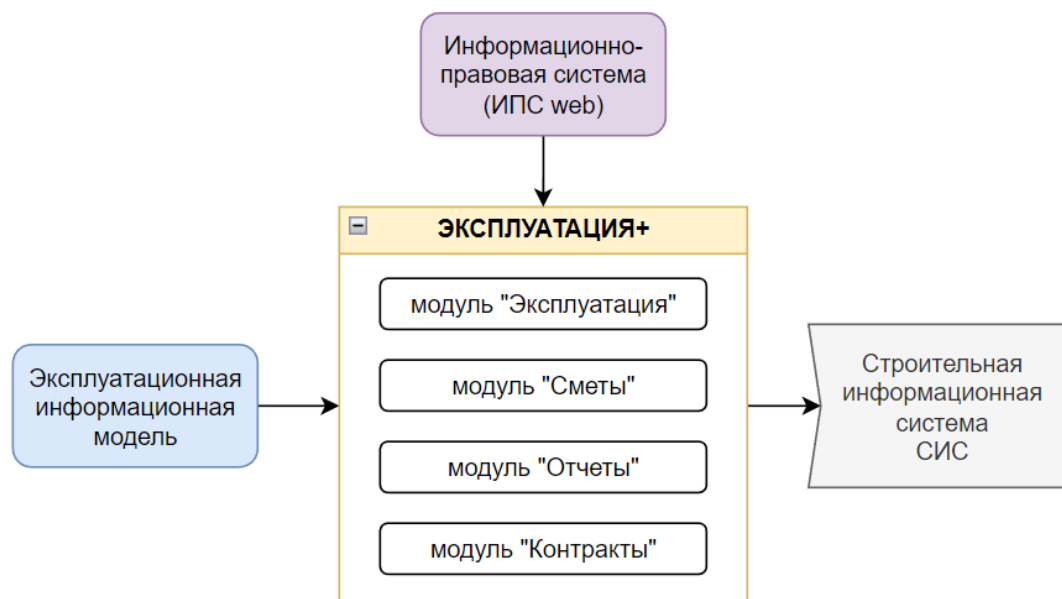


Рис. 2. Концепция информационной платформы

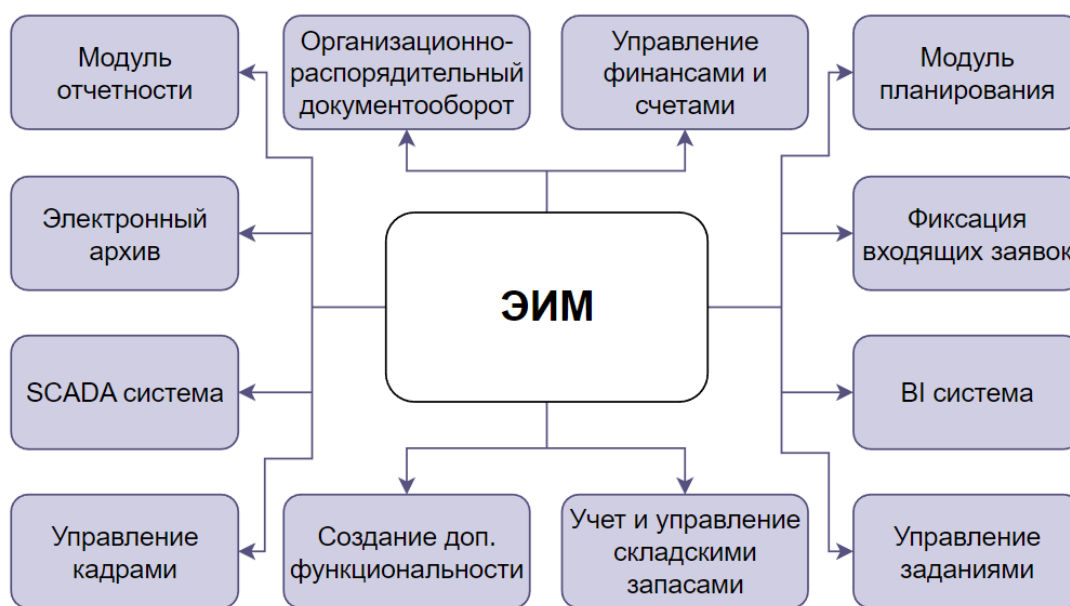


Рис. 3. Функциональные модули системы

Проанализировав представленные особенности при обслуживании зданий и сооружений и имеющийся отечественный и зарубежный опыт в смежных сферах деятельности, можно предположить, что использование эксплуатационной информационной модели в связке с модулем регистрации результатов работы специалистов по эксплуатации в системе управления инженерными данными в значительной степени облегчит процесс подготовки и осуществления работ текущего обслуживания и ремонта.

С этой целью был проработан подход интеграции информационной модели и модуля автоматического формирования отчетов техниче-

ского обслуживания и ремонтов (ТОиР) в информационной среде (рис. 4, 5). Его особенностью является возможность оптимизации трудозатрат сотрудников, повышения прозрачности процесса и снижение ошибок при подсчетах планируемых работ.

При помощи предложенного подхода реализуется процесс автоматического сбора и обработки геометрической и атрибутивной информации с указанием качественных и количественных характеристик дефектов, расходных материалов и объемов проводимых работ в модели с последующим формированием отчетной документации.

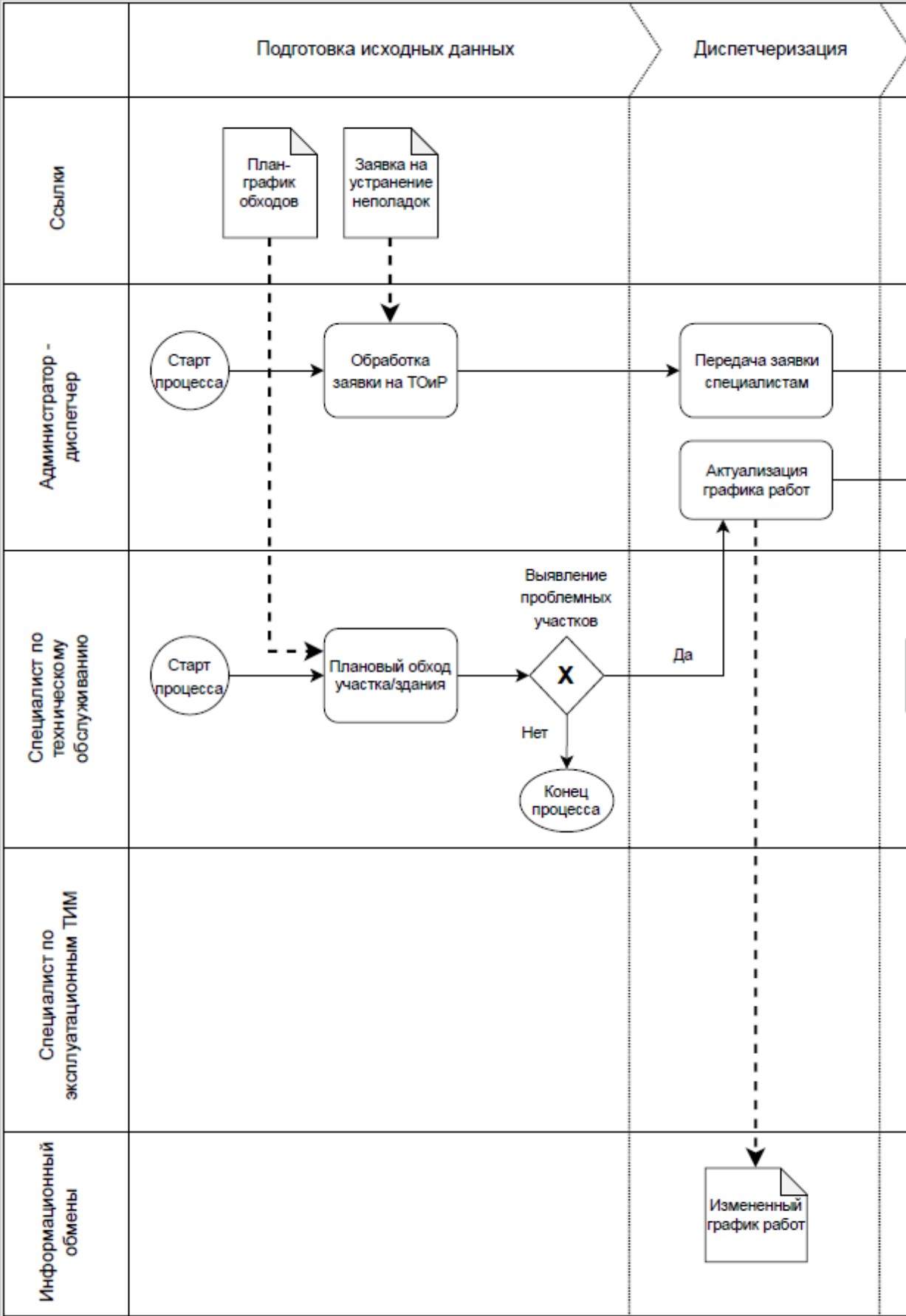


Рис. 4. Карта процесса реализации задачи «Автоматического формирования отчетов ТОиР в информационной среде» (начало процесса)

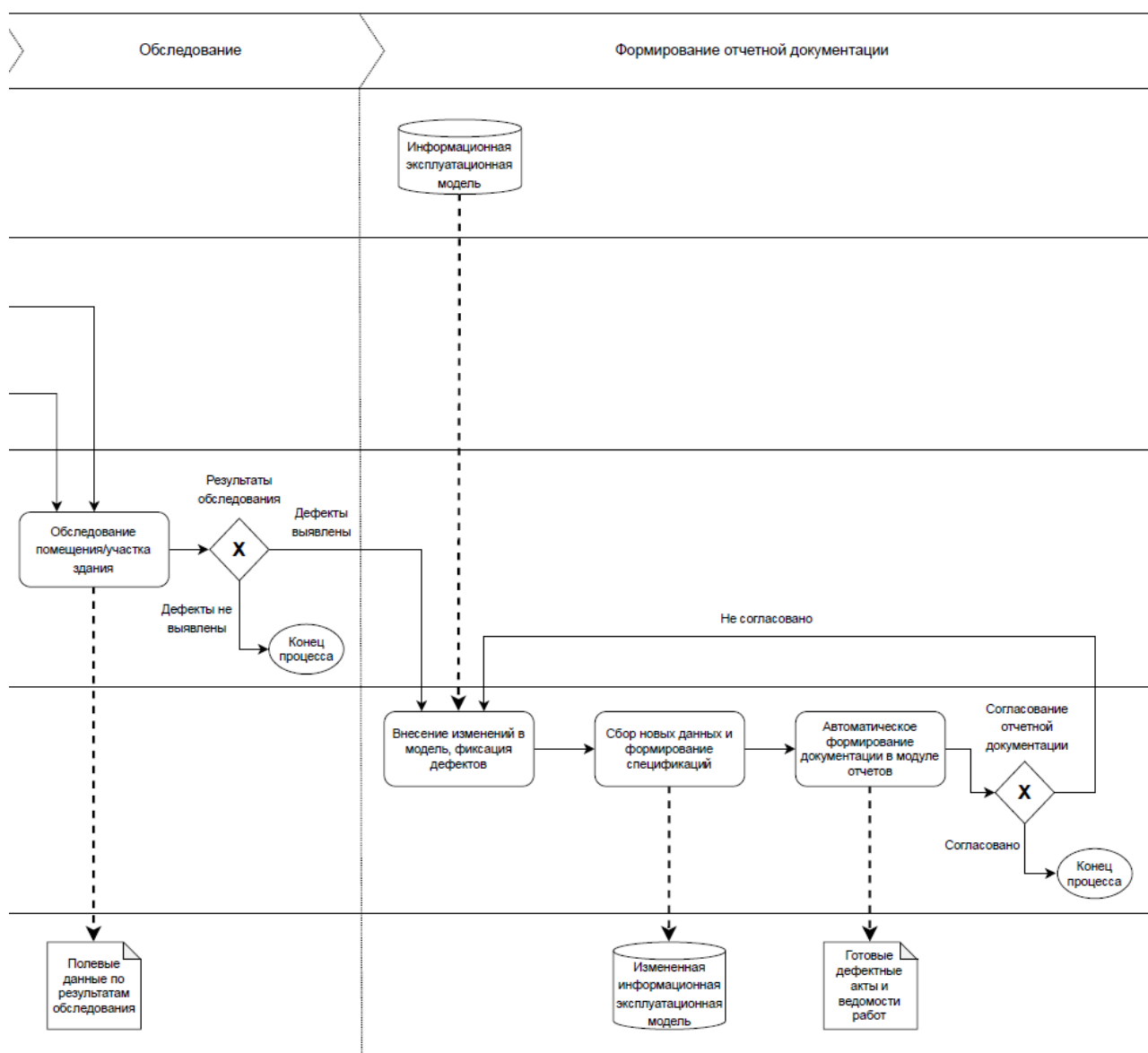


Рис. 5. Карта процесса реализации задачи «Автоматического формирования отчетов ТОиР в информационной среде» (окончание процесса)

Более подробно рассмотрим этап «Формирование отчетной документации». Информационная эксплуатационная модель, созданная на базе любого доступного программного продукта, позволяет существенно оптимизировать деятельность специалиста по техническому обслуживанию, вносить, структурировать и фиксировать полученные данные, а также производить анализ ситуации на рабочем месте. Цифровые технологии облегчают выполнение каждого из 4 нижеперечисленных процессов на этапе формирования результатов обследования:

1) Первый процесс включает в себя внесение сотрудником по работе с эксплуатационной информационной моделью актуальных изменений (геометрические параметры элементов и их пространственное положение, материалы и структуры конструкций, актуализация их физи-

ческих и технических характеристик) и фиксацию выявленных дефектов (обновление и внесение атрибутивной информации в свойства элементов) в модели по полевым отчетам, выданным специалистами по техническому обслуживанию после проведения обследования помещений или участка здания.

Данный этап является важным звеном в итерационном процессе использования информационной модели, поскольку от полноты и корректности вносимых инженерных данных зависит целостность и актуальность цифрового двойника эксплуатируемого объекта.

2) Далее необходимо произвести сбор, сортировку и структурирование полученных данных в модели. Для этого формируются спецификации с вынесенными в столбцы параметрами, которые в дальнейшем будут использоваться для

автоматического заполнения отчетной документации согласно разработанным ранее шаблонам. Созданные на основе информационной модели (ИМ) ведомости помогают контролировать правильность внесения данных по полученным отчетам и принятым проектным решениям.

На данном этапе, вследствие актуализации информации, получаем измененную эксплуатационную информационную модель, отражающую действительное техническое состояние здания.

3) Третий процесс – программный – заключается в разработке алгоритмов для передачи сформированных данных из эксплуатационной модели в модуль регистрации отчетов ТОиР. Каждому из столбцов акта или ведомости по функциональным и атрибутивным особенностям назначается параметр спецификации, а общие сведения согласно регламенту переносятся в

окно формирования документа из данных о проекте в информационной модели.

4) По итогу последовательно выполненных процессов получаем автоматически сформированную отчетную документацию, являющуюся результатом проведения работ по обследованию проблемных участков. После согласования с руководством оформленные акты и ведомости переходят специалистам, реализующим работы по текущему и капитальному ремонтам.

Таким образом, достаточно трудоемкий блок формирования отчетной документации по проблемным обследуемым участкам здания реализуется в относительно короткие сроки за счет автоматизации процессов поиска требуемой нормативной и проектной информации, подсчета, сравнения и перепроверки объемов выполняемых работ.

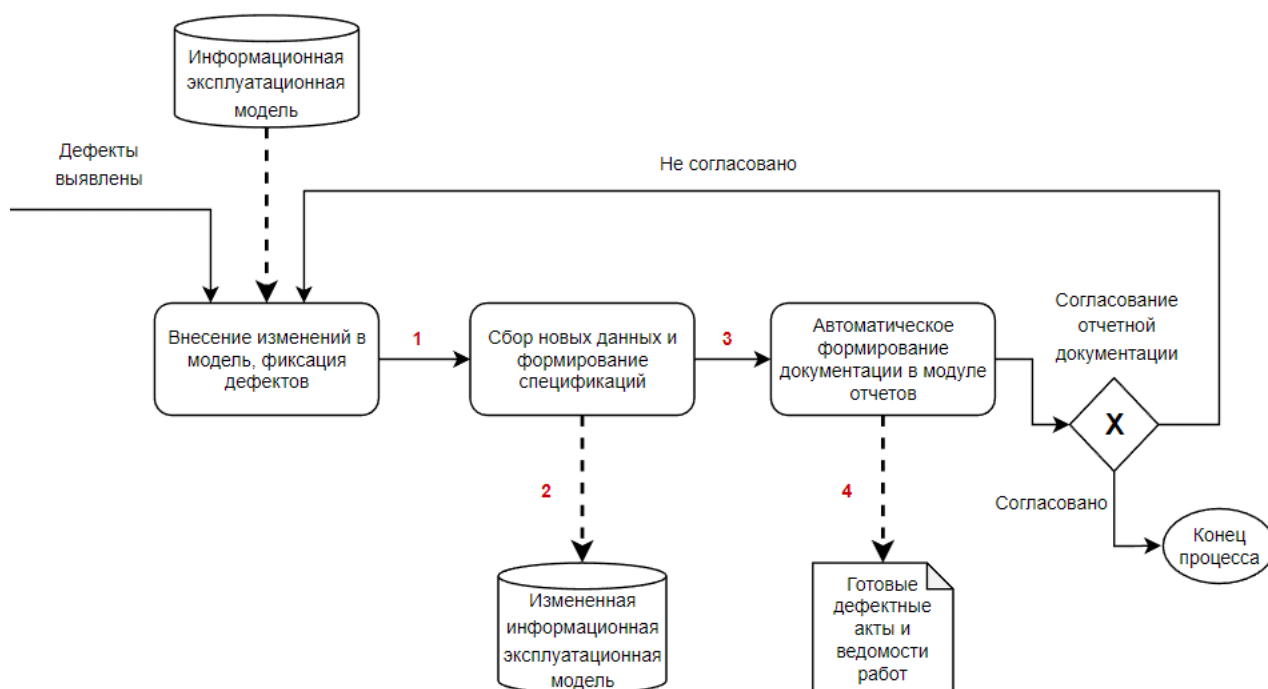


Рис. 4. Этап «Формирование отчетной документации»

Особенностью модуля является его тонкая настройка под пользовательские шаблоны актов и ведомостей, простота интерфейса и использование в виде базы данных исполнителей, оборудования и поставщиков СОД платформы эксплуатирующей организации. Данная база данных является постоянно актуализируемой по мере наполнения информационной модели.

Описанный подход позволяет сотрудникам службы эксплуатации оптимизировать свою деятельность, минимизировать погрешности при количественном подсчете материалов, контролировать фактические дефекты и фиксировать рекомендации по устранению неполадок.

Еще одно преимущество использования эксплуатационной информационной модели при решении задач ТОиР – данная модель является актуальным журналом технического состояния здания и его оборудования, в котором вся атрибутивная информация постоянно наполняется и находится в открытом доступе для специалистов по обслуживанию [18].

Возможностью для расширения данного модуля является подключение к платформе облачных информационно-правовых справочников для автоматизации формирования ведомостей трудозатрат на определенные виды работ, а также наполнение собственной базы данных о

мероприятиях по устранению выявленных дефектов для ускорения выдачи проектных решений в будущих аналогичных ситуациях.

Еще одним вариантом комплексного использования системы управления данными с информационной моделью является внедрение в обслуживающей организации Интернета вещей (IoT), что переводит эксплуатацию на следующий уровень цифровизации. Данная система позволяет на основе ИМ создавать пункт контроля и фиксации технического состояния оборудования и механизмов, применяемых на объекте. По полученной с датчиков информации можно аналогичным способом автоматически формировать отчеты о состоянии инженерных коммуникаций на определенном отрезке времени.

По мере проработки эксплуатационной информационной модели создается полноценный цифровой двойник здания, обеспечивающий службу по эксплуатации активом всеми необходимыми инженерными данными.

Вывод. Применение информационного моделирования на этапе эксплуатации за счет автоматизации и регулирования выполнения большинства организационных и проектных задач позволяет оптимизировать стоимость обслуживания здания, повысить качество оказываемых услуг, осуществлять контроль и соблюдение сроков по сформированным план-графикам работ, а также сократить простои оборудования и обеспечить поддержание в актуальном состоянии информации об объекте. Эксплуатационная система с полным необходимым набором функциональных модулей, интегрированных с информационной моделью, является оптимальным инструментом для реализации описанных задач.

Говоря об экономической целесообразности применения ТИМ, а также о разработке на ее основе дополнительных программных модулей на этапе обслуживания здания, важно помнить о комплексном подходе к обработке инженерных данных, ведь стадия эксплуатации является самой длительной на всем жизненном цикле объекта. Предложенный в данной статье подход позволяет не только автоматизировать процесс сбора и выдачи информации, но и производить непрерывный контроль технического состояния здания с минимальными затратами времени и ресурсов.

Актуальная информационная модель, постоянно наполняемая новыми атрибутивными данными, может быть использована как в повседневной деятельности обслуживающей организации, так и при проведении работ по реконструкции здания, его полного или частичного функционального переоборудования. А описанный адаптивный модуль автоматического формирования

отчетов призван повысить эффективность производительности сотрудников.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Курочкина Е.В. Новые информационные системы в строительстве: Технологии информационных систем в проектировании, строительстве, эксплуатации зданий // Научный лидер. 2022. № 25(70). С. 27–30.
2. Борисова Л.А., Исмаилова Ф.Н. Перспективные направления цифровизации в строительстве // УЭПС: управление, экономика, политика, социология. 2018. № 4. С. 8–12.
3. Грахов В.П., Кислякова Ю.Г., Мохначев С.А., Симаков Н.К. Экономические аспекты внедрения цифрового двойника здания на стадии эксплуатации // Вестник Института мировых цивилизаций. 2021. Т. 12. № 4(33). С. 39–45.
4. Струнникова Ю.С., Тощакова Е.В. Анализ методов создания информационной модели на этапе эксплуатации здания // Молодые ученые - развитию Национальной технологической инициативы (ПОИСК). 2020. № 1. С. 646–648.
5. Звонов И.А., Корнилова Д.Л. Методика подготовки информационной модели здания для дальнейшего её внедрения в систему технической эксплуатации // Инженерный вестник Дона. 2019. № 1. [URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2019/5599]
6. Луняков М.А., Бакрунов Ю.О. Применение BIM-технологий на стадии эксплуатации жилых зданий в условиях инновационного развития // Сметно-договорная работа в строительстве. 2022. № 5. С. 37–43.
7. Петров К.С., Середина В.В., Швецов Ю.С., Аль-Мсари А.А.Р. Применение BIM-технологий при ремонте и эксплуатации зданий // Постулат. 2018. № 12-1(38). С. 173–178.
8. Бейсембаева С.А., Калмагамбетова А.Ш., Туралыкова Б.С. Применение BIM-технологий на стадии эксплуатации в зданиях // Эпоха науки. 2021. № 25. С. 52–55.
9. Тальников Д.М., Чубарова К.В. Использование BIM-технологий при эксплуатации зданий и сооружений // Строительство и архитектура - 2021: Материалы Международной научно-практической конференции, Ростов-на-Дону, 19–23 апреля 2021 года / Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, Донской государственный технический университет. Ростов-на-Дону: Донской государственный технический университет, 2021. С. 89–90.
10. Кузнецов Д.В., Левичев Е.В., Якунина В.А. Опыт и проблематика применения BIM-моделей в период эксплуатации здания // Вестник Вологодского государственного университета.

Серия: Технические науки. 2021. № 1(11). С. 54–57.

11. Соболева Е.Д., Кулаев В.С., Юлин М.В. Экономическая целесообразность применения BIM-технологий при реконструкции зданий и сооружений // Формирование и реализация стратегии устойчивого экономического развития Российской Федерации: Сборник статей X Международной научно-практической конференции, Пенза, 28 декабря 2020 года. Пенза: Пензенский государственный аграрный университет, 2020. С. 184–188.

12. Мещерякова Т.С., Сулаймонов С.Д. Методические основы принятия экономически обоснованных решений по эксплуатации жилого здания // Транспортное дело России. 2019. № 2. С. 68–69.

13. Князева Н.В., Левина Д.А. Использование BIM-сценариев в работе служб эксплуатации // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2019. № 5. С. 99–105. doi: 10.34031/article_5cd6df471c80b0.92422061

14. Князева Н.В. Интеграция информационных систем служб эксплуатации с информационной моделью здания // Промышленное и гражданское строительство. 2018. № 9. С. 68–72.

15. Серебренникова А.К., Слизова С.А. Понятия технической и технологической эксплуатации зданий сооружений // Ресурсосбережение и

экология строительных материалов, изделий и конструкций: сборник научных трудов 2-й Международной научно-практической конференции, Курск, 01 октября 2019 года. Курск: Юго-Западный государственный университет, 2019. С. 87–90.

16. Городничая А.Н., Хорина А.А. Техническая эксплуатация зданий и сооружений // Аллея науки. 2019. Т. 5. № 1(28). С. 247–251.

17. Рощина С.И., Воронов В.И., Щуко В.Ю. Эксплуатация, ремонт и обслуживание зданий и сооружений: учеб. пособие // Федер. агентство по образованию, Гос. образоват. учреждение высш. проф. образования Владим. гос. ун-т. Владимир: Изд-во Владим. гос. ун-та, 2005.

18. Малыгин К.М. Формирование из BIM модели здания информационной базы данных для этапа эксплуатации // Дни студенческой науки: Сборник докладов научно-технической конференции по итогам научно-исследовательских работ студентов института экономики, управления и информационных систем в строительстве и недвижимости, Москва, 04–07 марта 2019 года. Москва: Издательство МИСИ-МГСУ, 2019. С. 570–574.

Информация об авторах

Кузнецов Сергей Владимирович, магистрант кафедры Информационных систем, технологий и автоматизации в строительстве. E-mail: kuznetsov_sergey_1999@mail.ru. Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет. Россия, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе 26.

Князева Наталья Викторовна, кандидат технических наук, доцент кафедры Информационных систем, технологий и автоматизации в строительстве. E-mail: Nknyazeva@mgsu.ru. Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет. Россия, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе 26.

Поступила 30.10.2022 г.

© Кузнецов С.В., Князева Н.В., 2023

Kuznetsov S.V., *Knyazeva N.V.
Moscow State University of Civil Engineering
*E-mail: Nknyazeva@mgsu.ru

APPLICATION OF BIM-TECHNOLOGIES TO SOLVE THE PROBLEMS OF MAINTENANCE AND REPAIR OF BUILDINGS AND STRUCTURES

Abstract. Currently, there is an active development of digital technologies in the construction sector. One of the main directions of digitalization of construction is the use of building information modeling technologies (BIM) at all stages of the life cycle of buildings and structures. The principle of using these technologies is the complex processing of geometric and attribute information about the object, its elements and its application to solve design, construction and operational tasks. The pace of BIM implementation at the operational stage is lagging behind, but the interest of asset owners is growing in the possibilities of reducing the complexity and improving the efficiency of building maintenance by organizing a centralized repository of up-to-date and reliable information about the object based on an information model. In this article, the operational formation of defect certificates and statements of necessary material and technical means intended for

routine repairs is considered, as one of the directions of application of the information model for solving maintenance and repair tasks. The traditional approach to working with these documents is associated with the repeated entry of repetitive information into data accounting systems, and sometimes with handwritten forms and the lack of the possibility of simultaneous work of all participants on documentation. The proposed approach to electronic reporting will make it possible to reduce the amount of routine work of the maintenance service specialists and eliminate errors related to the human factor in the preparation of reports.

Keywords: operation of buildings and structures, asset management, asset information model, maintenance and repair.

REFERENCES

1. Kurochkina E.V. New information systems in construction: Information systems technologies in the design, construction, operation of buildings [Novye informacionnye sistemy v stroitel'stve: Tekhnologii informacionnyh sistem v proektirovani, stroitel'stve, ekspluatacii zdaniy]. Nauchnyj Lider. 2022. No. 25(70). Pp. 27–30. (rus)
2. Borisova L.A., Ismailova F.N. Promising areas of digitalization in construction [Perspektivnye napravleniya cifrovizacii v stroitel'stve]. UEPS: upravlenie, ekonomika, politika, sociologiya. 2018. No. 4. Pp. 8–12. (rus)
3. Grahov V.P., Kislyakova Yu.G., Mohnachev S.A., Simakov N.K. Economic aspects of the introduction of a digital twin of a building at the operational stage [Ekonomicheskie aspekty vnedreniya cifrovogo dvojnika zdaniya na stadii ekspluatacii]. Vestnik Instituta mirovyh civilizacij. 2021. Vol. 12. No. 4(33). Pp. 39–45. (rus)
4. Strunnikova Yu.S., Toshchakova E.V. Analysis of methods for creating an information model at the stage of building operation [Analiz metodov sozdaniya informacionnoj modeli na etape ekspluatacii zdaniya]. Molodye uchenye – razvitiyu Nacional'noj tekhnologicheskoy iniciativy (POISK). 2020. No 1. Pp. 646–648. (rus)
5. Zvonov I.A., Kornilova D.L. Methodology of preparation of the information model of the building for its further implementation in the system of technical operation [Metodika podgotovki informacionnoj modeli zdaniya dlya dal'nejshego eyo vnedreniya v sistemu tekhnicheskoy ekspluatacii] Inzhenernyj vestnik Dona. 2019. No. 1. [URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2019/5599] (rus)
6. Lunyakov M.A., Bakrunov Yu.O. Application of BIM technologies at the stage of operation of residential buildings in the conditions of innovative development [Primenenie BIM-tekhnologij na stadii ekspluatacii zhilyh zdaniy v usloviyah innovacionnogo razvitiya]. Smetno-dogovornaya rabota v stroitel'stve. 2022. No. 5. Pp. 37–43. (rus)
7. Petrov K.S., Seredina V.V., Shvec Yu.S., Al'-Msari A.A.R. The use of BIM technologies in the repair and operation of buildings [Primenenie BIM-tekhnologij pri remonte i ekspluatacii zdaniy]. Postulat. 2018. No. 12-1(38). Pp.173–178. (rus)
8. Bejsembaeva S.A., Kalmagambetova A.Sh., Turalykova B.S. Applications of BIM technologies at the stage of operation in buildings [Primeneniya BIM-tekhnologij na stadii ekspluatacii v zdaniyah]. Epoha nauki. 2021. No. 25. Pp. 52–55. (rus)
9. Tal'nikov D.M., Chubarova K.V. The use of BIM technologies in the operation of buildings and structures [Ispolzovanie BIM-tekhnologij pri ekspluatacii zdaniy i sooruzhenij]. Stroitel'stvo i arhitektura - 2021: Materialy Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii, Rostov-na-Donu, 19–23 aprelya 2021 goda / Ministerstvo nauki i vysshego obrazovaniya Rossijskoj Federacii, Donskoj gosudarstvennyj tekhnicheskij universitet. Rostov-na-Donu: Donskoj gosudarstvennyj tekhnicheskij universitet, 2021. Pp. 89–90. (rus)
10. Kuznecov D.V., Levichev E.V., Yakunina V.A. Experience and problems of using BIM models during the operation of the building [Opyt i problematika primeneniya BIM-modelej v period ekspluatacii zdaniya]. Vestnik Vologodskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Tekhnicheskie nauki. 2021. No. 1(11). Pp. 54–57. (rus)
11. Soboleva E.D., Kulaev V.S., Yulin M.V. Economic feasibility of using BIM technologies in the reconstruction of buildings and structures [Ekonomicheskaya celesoobraznost' primeneniya BIM-tekhnologij pri rekonstrukcii zdaniy i sooruzhenij]. Formirovanie i realizaciya strategii ustojchivogo ekonomicheskogo razvitiya Rossijskoj Federacii: Sbornik statej X Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii, Penza, 28 dekabrya 2020 goda. Penza: Penzenskij gosudarstvennyj agrarnyj universitet, 2020. Pp. 184–188. (rus)
12. Meshcheryakova T.S., Sulajmonov S.D. Methodological bases for making economically sound decisions on the operation of a residential building [Metodicheskie osnovy prinyatiya ekonomicheskimi obosnovannyh reshenij po ekspluatacii zhilogo zdaniya]. Transportnoe delo Rossii. 2019. No. 2. Pp. 68–69. (rus)
13. Knyazeva N.V., Levina D.A. The use of BIM scenarios in the operation of operational services [Ispolzovanie BIM-scenarijev v rabote sluzhby ekspluatacii]. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2019. No 5. Pp. 99–105. DOI: 10.34031/article_5cd6df471c80b0.92422061 (rus)

14. Knyazeva N.V. Integration of information systems of operational services with the building information model [Integraciya informacionnyh sistem sluzhb ekspluatatsii s informacionnoj model'yu zdaniya]. Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo. 2018. No. 9. Pp. 68–72. (rus)

15. Serebrennikova A.K., Slizova S.A. Concepts of technical and technological operation of buildings and structures [Ponyatiya tekhnicheskoy i tekhnologicheskoy ekspluatatsii zdaniy sooruzhenij] Resursosberezhenie i ekologiya stroitel'nyh materialov, izdelij i konstrukcij: sbornik nauchnyh trudov 2-j Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii, Kursk, 01 oktyabrya 2019 goda. Kursk: Yugo-Zapadnyj gosudarstvennyj universitet, 2019. Pp. 87–90. (rus)

16. Gorodnichaya A.N., Horina A.A. Technical operation of buildings and structures [Tekhnicheskaya ekspluatatsiya zdaniy i sooruzhenij]. Alleya nauki. 2019. Vol. 5. No. 1(28). Pp. 247–251. (rus)

17. Roshchina S.I., Voronov V.I., Shchuko V.Yu. Operation, repair and maintenance of buildings and structures: studies. stipend [Ekspluatatsiya, remont i obsluzhivanie zdaniy i sooruzhenij: ucheb. Posobie]. Feder. agentstvo po obrazovaniyu, Gos. obrazovat. uchrezhdenie vyssh. prof. obrazovaniya Vladim. gos. un-t. Vladimir : Izd-vo Vladim. gos. un-ta, 2005. (rus)

18. Malygin K.M. Formation of an information database from a BIM model of a building for the operation stage [Formirovanie iz BIM modeli zdaniya informacionnoj bazy dannyh dlya etapa ekspluatatsii]. Dni studencheskoj nauki: Sbornik dokladov nauchno-tekhnicheskoy konferencii po itogam nauchno-issledovatel'skih rabot studentov instituta ekonomiki, upravleniya i informacionnyh sistem v stroitel'stve i nedvizhimosti, Moskva, 04–07 marta 2019 goda. Moskva: Izdatel'stvo MISI-MGSU, 2019. Pp. 570–574. (rus)

Information about the authors

Kuznetsov, Sergey V. Master. E-mail: kuznetsov_sergey_1999@mail.ru. Moscow State University of Civil Engineering. Russia, 129337, Moscow, Yaroslavskoe highway, 26.

Knyazeva, Natalia V. PhD. E-mail: Nknyazeva@mgsu.ru. Moscow State University of Civil Engineering. Russia, 129337, Moscow, Yaroslavskoe highway, 26.

Received 30.10.2022

Для цитирования:

Кузнецов С.В., Князева Н.В. Применение информационного моделирования для решения задач технического обслуживания и ремонта зданий и сооружений // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2023. № 3. С. 34–45. DOI: 10.34031/2071-7318-2022-8-3-34-45

For citation:

Kuznetsov S.V., Knyazeva N.V. Application of BIM-technologies to solve the problems of maintenance and repair of buildings and structures. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2023. No. 3. Pp. 34–45. DOI: 10.34031/2071-7318-2022-8-3-34-45

DOI: 10.34031/2071-7318-2022-8-3-46-55

Ильина Т.Н., Колесников М.С., Крюков И.В., Орлов П.А.Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова***E-mail: ilina50@rambler.ru*

О СПОСОБАХ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ВОЗДУХООБМЕНА В ЦЕХАХ ЖИВОТНОВОДЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ

Аннотация. Рассмотрены способы организации воздухообмена в животноводческих комплексах. На примере корпуса откорма на 200 голов свиноводческого комплекса показаны способы организации механической приточно-вытяжной и естественной системы вентиляции. Для данного корпуса произведен расчет производительности системы вентиляции по избыткам влаги и по содержанию углекислого газа в помещении. Установлено, что производительность системы вентиляции целесообразно производить по значениям избыточной влаги, что соответствует требованиям зоогигиенического норматива. Произведен расчет кратности воздухообмена в помещении содержания животных, который составляет 1,5 раза и соответствует нормативным проектным показателям для свинокомплексов. Произведен аэродинамический расчет приточной и вытяжной системы вентиляции, определено количество приточных и вытяжных каналов для каждой системы соответственно. Для визуализации процесса подачи и распределения воздуха в программе SolidWorks была построена модель воздушных потоков при работе естественной и приточно-вытяжной системы вентиляции для трех случаев, когда температура наружного воздуха составляет -20; 0; +20 °С. Показано, что в теплый и холодный периоды года целесообразно подавать подготовленный воздух через распределительные каналы приточной вентиляции. Для достижения требуемых параметров внутреннего воздуха в помещении свинокомплекса подготовку приточного воздуха в системе механической вентиляции предлагается проводить с использованием воздушного теплового насоса с антиобледенительной системой MOVEBIT.

Ключевые слова: естественная вентиляция, приточно-вытяжная система вентиляции, микроклимат, свинокомплекс, распределение воздушных потоков.

Введение. Качественный состав воздушных потоков в помещениях животноводческих комплексов постоянно меняется под воздействием углекислого газа, тепла и влаги, выделяемых животными. Для обеспечения нормативных параметров микроклимата, требуемой кратности воздухообмена необходима рационально организованная система приточно-вытяжной вентиляции, что в конечном итоге позволит увеличить продуктивность животных [1].

Целью работы является проведение сравнительного анализа распределения воздушных потоков при естественной и приточно-вытяжной вентиляции в корпусе откорма свиноводческого комплекса при одних и тех же условиях.

Системы вентиляции бывают двух видов: системы естественной и механической (принудительной) вентиляции.

В системах с естественной вентиляцией приток и вытяжка воздуха из помещения происходит без механических побудителей. В области животноводческих комплексов данный тип вентиляции получил наибольшее распространение. Однако регулировать и поддерживать требуемые параметры микроклимата в животноводческих комплексах при такой схеме вентиляции достаточно сложно. Работа естественной вентиляции основана на движении воздушных потоков за счет

разности давлений наружного и внутреннего воздуха, обусловленного разностью температур. Также существуют системы естественной вентиляции, основной движущей силой в которых является сила ветра [2–3].

Системы механической вентиляции делятся на следующие типы: системы положительного давления, системы отрицательного давления и приточно-вытяжные системы. Отличаются эти системы способом организации притока наружного и вытяжки внутреннего воздуха.

В первом случае приточный воздух подается в помещение за счет механического побудителя воздуха, а вытяжка осуществляется без вентиляторов через воздушные клапаны.

В системах отрицательного давления организация воздухообмена происходит за счет разряжения, создаваемого при удалении внутреннего воздуха вытяжными вентиляторами большой мощности, а подача наружного воздуха осуществляется через воздушные стеновые или потолочные клапаны без механического побуждения [4].

Следует отметить, что при неправильной организации такой системы вентиляции в зоне нахождения животных будет располагаться загрязненный аммиаком и прочими вредными газами воздух. А более чистый и теплый воздух бу-

дет занимать пространство в верхней части животноводческого комплекса под крышей, и, соответственно, будет удаляться вытяжными вентиляторами [5].

В приточно-вытяжных системах вентиляции поступление наружного свежего воздуха, и удаление внутреннего воздуха осуществляется за счет работы механических побудителей воздуха. При такой схеме организации воздухообмена происходит равномерное распределение воздушных потоков, как по температуре, так и по скорости движения воздушных масс, по всему объему

помещения животноводческого комплекса. Появляется возможность поддерживать требуемые параметры микроклимата, отвечающие зоогигиеническим нормам.

Материалы и методы. В качестве объекта исследования был принят корпус откорма свиного комплекса на 200 голов в Белгородской области. Расчет воздухообмена проводился согласно норм РД АПК 1.10.02.04-12 Методические рекомендации по технологическому проектированию свиноводческих ферм и комплексов [6–8]. Параметры наружного воздуха приведены в таблице 1.

Таблица 1

Расчетные параметры наружного воздуха

Период года	Параметр	$t_n, ^\circ\text{C}$	$I_n, \text{кДж/кг}$	$d_n, \text{г/кг}$	$\phi_n, \%$
Теплый (ТП)	А	23	53,5	12	68
Холодный (ХП)	Б	-27	-26	0,4	86

Для поддержания требуемых параметров микроклимата в свиноводческом корпусе необходимо организовать приточно-вытяжную систему вентиляции так, чтобы кратность воздухообмена в помещении не превышала 5 раз в час. [8]. Неправильно организованная система вентиляции приводит к отклонению параметров микроклимата от нормативных, а соответственно в помещении могут наблюдаться как повышенные концентрации углекислого газа, избытки тепла и влаги, так их недостатки [9].

Рассматриваемый корпус откорма свиноводческого комплекса имеет габаритные размеры $60 \times 12 \times 5$ м, объем помещения соответственно равен 3600 м^3 . В нем находится 200 свиней, каждая живой массой по 100 кг. Температура внутреннего воздуха $+18 ^\circ\text{C}$.

Расчет производительности системы вентиляции рекомендуется производить по выделе-

ниям углекислого газа и по влаговыведениям, согласно методическим указаниям [9].

Производительность системы вентиляции по углекислому газу рассчитывается по формуле:

$$L = \frac{K}{C_1 - C_2}, \quad (1)$$

где K – количество углекислого газа, выделяемое всеми животными за час, л/ч – $8740 \text{ м}^3/\text{г}$;

C_1 – допустимое количество углекислого газа в 1 м^3 воздуха помещения – $2,5 \text{ л}/\text{м}^3$;

C_2 – количество углекислого газа в 1 м^3 атмосферного воздуха – $0,3 \text{ л}/\text{м}^3$.

Согласно РД АПК 1.10.02.04-12 нормы выделения теплоты и водяных паров представлены при температуре $10 ^\circ\text{C}$ и относительной влажности $70\text{--}75 \%$. На основании этого произведены расчеты количества углекислого газа и влаговыведений, поступающих в помещение, которые приведены в таблице 2.

Таблица 2

Выделение животными водяных паров, углекислоты и свободного тепла

Группы животных, живая масса (ж.м)	Кол-во голов	Водяные пары, г/ч		Углекислота, л/ч	
		На 1 ж-е	На поголовье	На 1 ж-е	На поголовье
Взрослые свиньи на откорме, ж.м. 100 кг	200	152	30400	43,7	8740
Итого:	200	–	30400	–	8740

Тогда, используя все полученные результаты, рассчитываем производительность системы вентиляции L_{CO_2} , которая равняется $3973 \text{ м}^3/\text{ч}$.

Расчет производительности системы вентиляции по углекислоте чаще всего недостаточен для удаления влаги, поступающей в помещение от животных и испаряемой с ограждающих кон-

струкций. Поэтому далее производим расчет часового объема вентиляции по водяным парам.

Для переходного периода года, воздухообмен рассчитывается по избыточной влаге. Это обусловлено относительно низкой температурой наружного воздуха и его повышенной относительной влажностью. Увеличение кратности воздухообмена за счет открытия окон и дверей может привести к переохлаждению животных и

простудным заболеваниям.

Производительность системы вентиляции по влаговыведениям рассчитывается по формуле:

$$L_{n_2o} = \frac{Q}{q_1 - q_2}, \quad (2)$$

где Q – количество влаги, выделяемое животными и испаряемое с ограждающих конструкций, г/ч;

q_1 – абсолютная влажность воздуха при оптимальных условиях, г/м³ – 11,45 г/м³;

q_2 – абсолютная влажность вводимого в помещение атмосферного воздуха в переходный

период года г/м³ – (4,2+3,8)/2 = 4,0 г/м³.

В помещение от свиней поступает 30400 г/ч влаги. Поступление влаги в помещение за счет ее испарения с ограждающих конструкций при удовлетворительном санитарном режиме, исправно действующей канализации, регулярной уборке навоза в корпусах откорма свиноводческих комплексов принимается равным 30 % [10, 11]. Дополнительно с ограждающих конструкций в течение часа выделяется 9120 г/ч влаги.

Результаты расчета производительности системы вентиляции по углекислому газу и по влаговыведениям для теплого периода года приведены в таблице 3.

Таблица 3

Производительность системы вентиляции

Помещение	Объем помещения V , м ³	Расход воздуха L , м ³ /ч	
		По влаговыведениям	По CO ₂
Корпус откорма	3600	5304,7	3973

Согласно требованиям, предъявляемым к проектированию свиноводческих комплексов, кратность воздухообмена не должна превышать нормируемого значения. При увеличении данного параметра в помещении возникают сквозняки, вследствие чего повышается заболеваемость животных [12, 13]. Кратность воздухообмена в помещении корпуса откорма составила 1,5 раза в час (5304,7/3600), что отвечает требованиям нормативных документов.

Для расчета общей площади сечения вытяжных каналов используем формулу:

$$S_1 = \frac{L}{V \cdot 3600}, \quad (3)$$

где L – производительность системы вентиляции, м³/ч;

V – скорость движения воздушных потоков.

Температура воздуха внутри свиного комплекса – 18 °С, средняя температура наружного воздуха в переходный период – -0,1 °С (ноябрь – 0,5 °С, март – -0,7 °С). Следовательно, разница температур составляет 18 – (-0,1) = 18,1 °С. Тогда при высоте трубы 5 м скорость движения воздуха в вентиляционной шахте V будет равна 1,29 м/с [14].

В нашем примере площадь сечения вытяжных каналов равна 1,14 м².

Для свиноводческих комплексов наиболее эффективно применение вытяжных шахт, площадь сечения которых более 1 м². Следовательно, принимаем вытяжную шахту с размерами сечения 1,1 м × 1,1 м. Площадь поперечного сечения одной такой шахты составит 1,21 м². Тогда количество вытяжных шахт – 1 шт. (1,14/1,21).

Общая площадь сечения приточных каналов составляет 70 % от площади сечения вытяжных

каналов, соответственно получаем 0,8 м² [14].

При расчете площади сечения одного приточного окна для системы естественной вентиляции получаем 0,0675 м² (0,15×0,45 м), следовательно, общее число приточных окон равно 12 шт. При расчете площади сечения одного приточного канала для механической системы приточно-вытяжной вентиляции получаем 0,0314 м², общее число приточных каналов равно 26 шт.

Составлена аксонометрическая схема приточной системы вентиляции, произведен аэродинамический расчет, по результатам которого подобран вентилятор ЦЧ-70 № 5 930 об/мин с подачей воздуха 5700 м³/ч.

Перспективным направлением энергосбережения является использование в теплоснабжении возобновляемых источников энергии и вторичного тепла с помощью теплонасосных установок [15–17]. В настоящей работе для подготовки требуемых параметров воздуха предлагается использовать воздушный тепловой насос с антиобледенительной системой MOVEBIT [18, 19]. Для охлаждения воздуха в теплый период предусмотрен реверсивный цикл работы теплонасосной установки с необходимым комплектом клапанов и терморегулирующих вентилей.

Результаты и обсуждение. При проектировании и расчете систем микроклимата зданий возникает потребность в оценке адекватности принятых инженерных решений. Для расчета и оценки эффективности таких систем применяется CFD-моделирование, позволяющее детально и точно спрогнозировать характер движения воздуха в помещении.

Используя методы численного моделирования движения воздушных потоков, рассмотрим на примере здания свинокомплекса эффективность запроектированной системы вентиляции с учетом теплотерь помещения, тепlopоступлений, расположения воздухораспределителей и температуры приточного воздуха.

Численное моделирование поставленной задачи проводится в программном комплексе SolidWorks Flow Simulation [20]. В данном случае движение и теплообмен текучей среды моделируется с помощью уравнений Навье-Стокса, описывающих в нестационарной постановке законы сохранения массы, импульса и энергии этой среды.

Объект моделирования представляет собой здание свинокомплекса. Общая площадь здания 720 м^2 . Суммарные теплотери здания согласно выполненным проектным расчетам через наруж-

ные ограждения в холодный период года составили 62740 Вт , в переходный период – 29914 Вт . Потери тепла на испарение влаги составили 6310 Вт . Тепlopоступления от свиней составили 60000 Вт .

Рассматривается два случая организации воздухообмена в здании свинокомплекса: за счет естественной вентиляции, когда приток воздуха осуществляется через открытые окна и механической вентиляции, когда приток воздуха осуществляется через воздухораспределители. Параметры температуры приточного воздуха приняты одинаковые для случая естественной и механической вентиляции и равны $-20, 0$ и $20 \text{ }^{\circ}\text{C}$. Удаление воздуха из помещения осуществляется системой вытяжной вентиляции – расход удаляемого воздуха 6366 кг/ч , что соответствует объемному расходу воздуха $5307,4 \text{ м}^3/\text{ч}$ (табл. 3). Модели воздушных потоков представлены на рисунках 1-3.

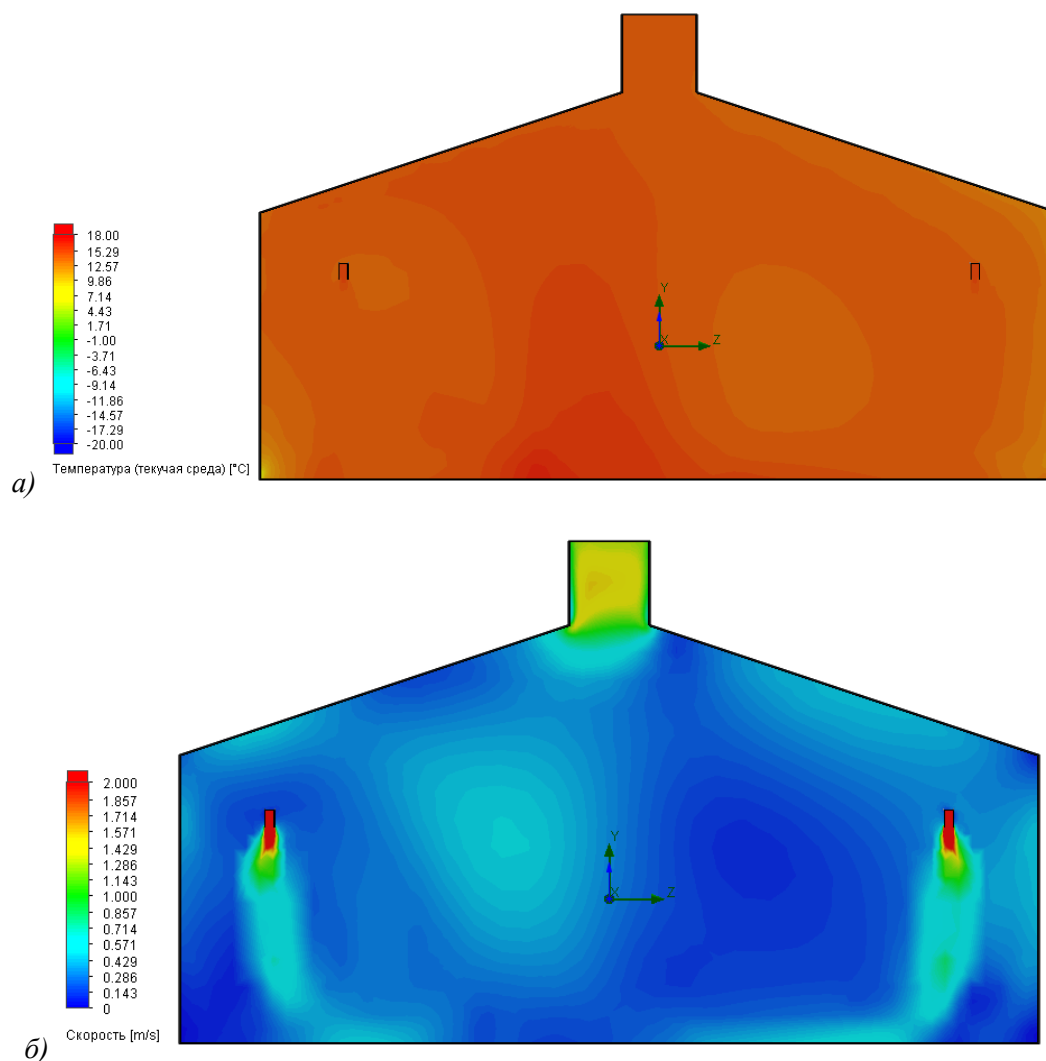


Рис. 1. Распределение температур (а) и скоростей (б) воздушных потоков через приточные каналы механической вентиляции при температуре подаваемого воздуха $20 \text{ }^{\circ}\text{C}$

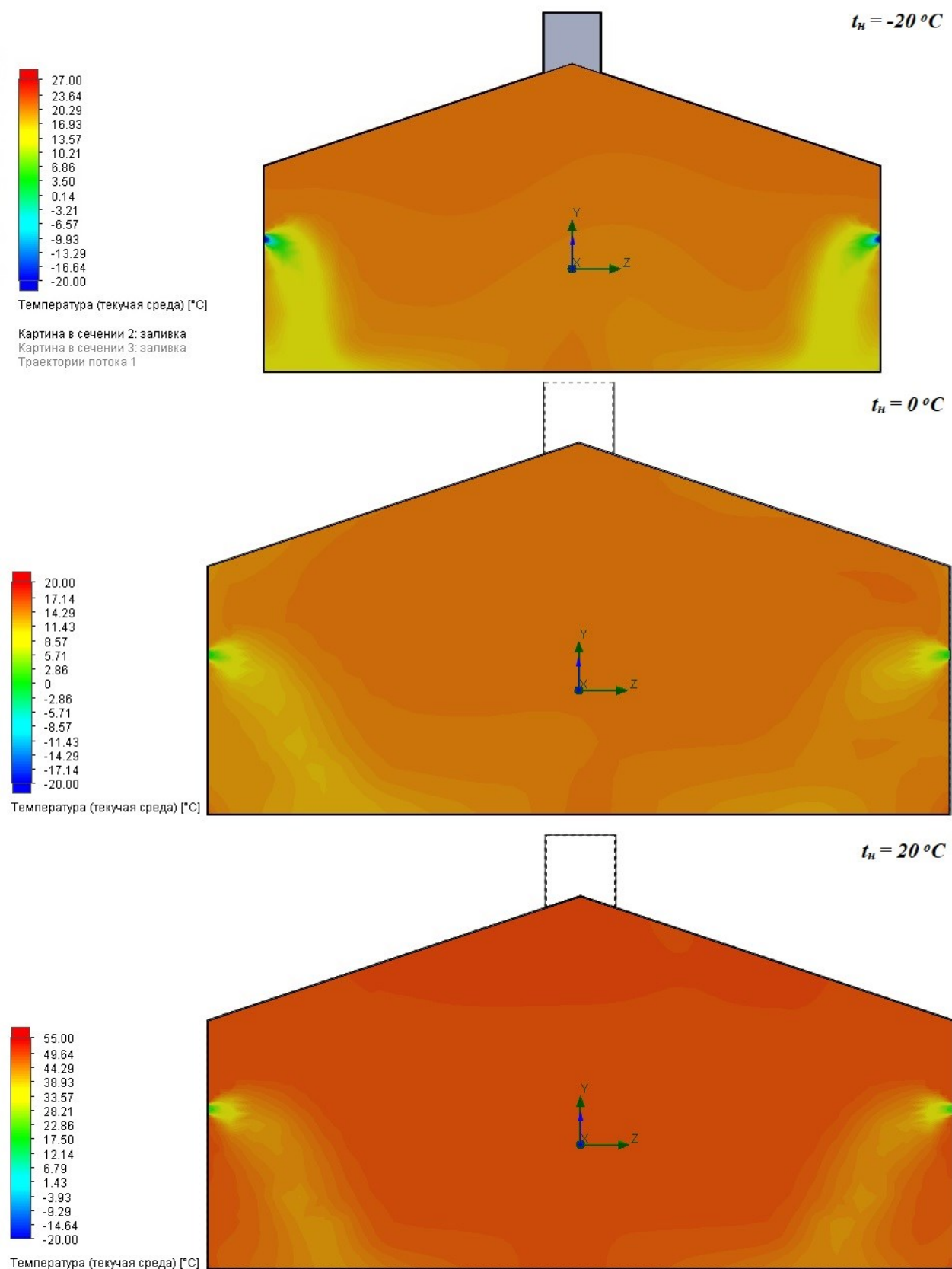


Рис. 2. Распределение температур воздушных потоков внутри помещения при естественной вентиляции и $t_n = -20, 0, 20\text{ }^{\circ}\text{C}$

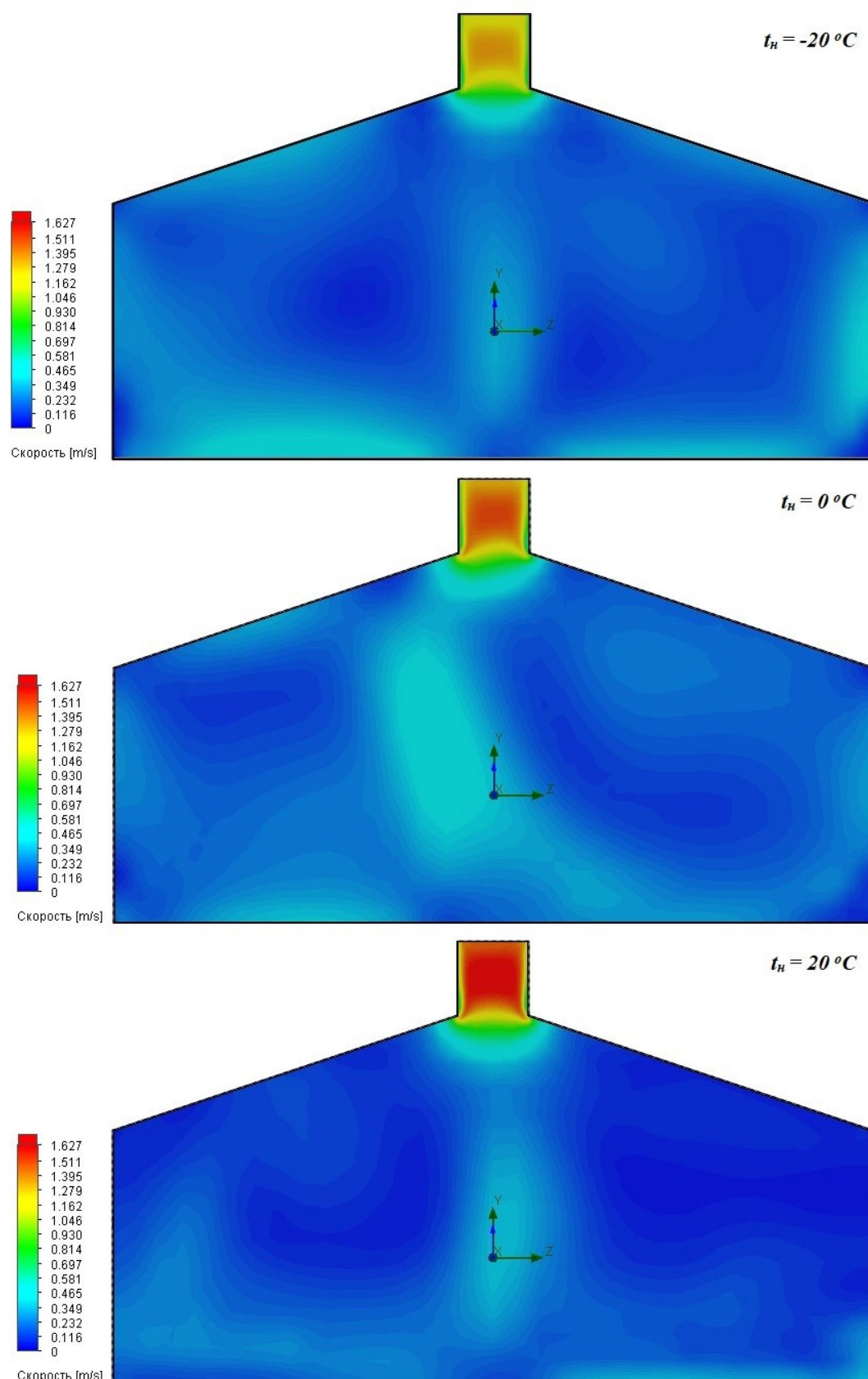


Рис. 3. Распределение скоростей воздушных потоков внутри помещения при естественной вентиляции и $t_n = -20, 0, 20\text{ }^{\circ}\text{C}$

На рисунке 1 показано распределение температур и скорости воздуха в производственном помещении при подаче подготовленного воздуха

через приточную механическую систему вентиляции. Температура воздуха в рабочей зоне находится в пределах 18 градусов, скорость воздуха

составляет 0,2–0,5 м/с, что соответствует нормативным значениям.

Распределение температур (рис. 2) при естественной системе вентиляции в теплый период года и температура внутреннего воздуха в зоне дыхания свиней, а также во всем корпусе в целом, не соответствует нормативным параметрам микроклимата. Наблюдается значительное превышение температуры воздуха внутри откормочного помещения до 35–40 °С в теплый период, что недопустимо. Распределение температур воздушных потоков внутри помещения для переходного и холодного периода года при естественной вентиляции также не соответствует требуемым параметрам микроклимата (рис. 2). Область холодного воздуха с температурой 10–13 °С находится в рабочей зоне пребывания животных и работающего персонала, что создает некомфортные условия.

Из рисунка 3 видно, для естественной системы вентиляции распределение скоростей воздушных потоков в рабочей зоне помещения лежит в допустимых пределах для теплого периода. Для холодного и переходного периода наблюдается несколько завышенная подвижность воздуха (0,5–0,6 м/с), что в совокупности с низкой температурой может провоцировать заболевания животных.

Таким образом, для обеспечения равномерного распределения температуры и подвижности внутреннего воздуха в рабочей зоне производственного помещения свиного комплекса необходимо организовать механическую приточно-вытяжную систему вентиляции с предварительной подготовкой воздуха, нагревая его в холодный период года и охлаждая в теплый период.

Выводы. Для производственных цехов животноводческих комплексов с большими выделениями тепла, влаги и газов расчет производительности системы вентиляции целесообразно производить по значениям избыточной влаги. Это соответствует требованиям зоогигиенического норматива, в противном случае часть влаги может выпадать в виде конденсата на холодных поверхностях ограждающих конструкций здания. Произведенный расчет производительности приточно-вытяжной системы вентиляции соответствует значениям нормативной кратности. Анализ моделей распределения воздушных потоков и температур в помещении откормочного цеха показал, что в холодный и теплый периоды года подачу наружного воздуха для более равномерного распределения параметров воздушного потока в зоне нахождения животных целесообразно проводить через приточные каналы механической вентиляции. При этом для обеспечения требуемых параметров воздуха внутри помещения

подготовку приточного воздуха предлагается проводить с использованием воздушного теплового насоса с антиобледенительной системой MOVEBIT, работающего как в режиме нагрева, так и охлаждения воздуха в зависимости от периода года.

Источник финансирования. Работа была реализована в рамках программы «Приоритет 2030» на базе Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова с использованием оборудования Центра высоких технологий при БГТУ им. В.Г. Шухова.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Колесников М.С., Ильина Т.Н., Евраев Д.А. Анализ способов организации приточно-вытяжной вентиляции на свиноводческих комплексах. // XIV международная научно-практическая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых. Молодежь и научно-технический прогресс. г. Губкин. 2021 г. Том 1. С. 480–484.
2. Шведов В.В. Системы естественной вентиляции животноводческих помещений / Сер. «Механизация и электрофикация сельского хозяйства». ВАСХНИЛ; ВНИИТЭИ Агропром. М.: 1991. 44 с.
3. Храмцов В.В. Зоогигиена с основами проектирования животноводческих объектов. М.: КолосС, 2007. 376 с.
4. Фурсенко С.Н. Организация воздухообмена в помещениях для содержания КРС, свиней и птицы [Электронный ресурс]. URL: https://studref.com/362934/tehnika/organizatsiya_vozduhoobmena_pomescheniyah_soderzhaniya_sviney_ptitsy (дата обращения: 25.09.2022)
5. Миронов В.Н., Гордеев В.В., Миронова Т.Ю. Очистка воздуха животноводческого помещения в культивационных сооружениях // Вестник ВНИИМЖ. 2012. №4(8). С. 69–72.
6. СП 106.13330.2012 Животноводческие, птицеводческие и звероводческие здания и помещения.
7. РД-АПК 3.10.07.05-17 Ветеринарно-санитарные требования при проектировании, строительстве, реконструкции и эксплуатации животноводческих помещений.
8. РД-АПК 1.10.02.04-12 Методические рекомендации по технологическому проектированию свиноводческих ферм и комплексов.
9. Медведский В.А., Соколов Г.А., Трофимов А.Ф., Серяков И.С. Гигиена животных. Минск: Техноперспектива, 2009. 617 с.
10. Краснова В.Л., Хазанов Е.Е., Маркова А.Е., Гордеев В.В. Перспективные способы ути-

лизации вентиляционных выбросов животноводческих помещений // Сборник научных трудов СЗНИИМЭСХ. 2004. Вып. 76. С. 131–137.

11. Ильина Т.Н., Щедрина Ю.Е., Феоктистов А.Ю., Колесников М.С., Евраев Д.А. Об экологической обстановке на территории свиногомплекса «Оскольский бекон-3» // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2022. №3. С. 32–41. doi:10.34031/2071-7318-2021-7-3-0-0.

12. Ильина Т.Н., Лесунова М.А., Божко Ю.В. Организация воздушного отопления в галереях животноводческих комплексов // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2010. №1. С. 129–131.

13. Найдено В. К. Совершенствование технологий на свинофермах и свиногомплексах // Перспективное свиноводство: Теория и практика. 2011. №2. С. 6–15.

14. Кузнецов М.Ю., Гусева Ю.А. Основы проектирования ветеринарных учреждений и животноводческих объектов: учебно-методическое пособие. ФГБОУ ВО «Саратовский ГАУ». Саратов, 2017. 69 с.

15. Tolga U., Gulsah K., Onur V., Ali K. Performance analysis of a textile based solar assisted air source heat pump with the energy and exergy methodology // Sustainable Energy Technologies and Assessments. 2021. Vol. 47. doi: 10.1016/j.seta.2021.101534.

16. Mohanraj M., Karthick L., Dhivagar R. Performance and economic analysis of a heat pump water heater assisted regenerative solar still using latent heat storage // Applied thermal Engineering. 2021. Vol. 196. doi:10.1016/j.applthermaleng.2021.117263.

17. Meghann S., Anthony B., Sheryl T., Pankaj L. Life cycle analysis (LCA) of residential ground source heat pump systems: A comparative analysis of energy efficiency in New Jersey // Sustainable Energy Technologies and Assessments. 2021. Vol. 47. doi:10.1016/j.seta.2021.101534.

18. Orlov P.A., Il'ina T.N., Orlov K.P. Promising methods of ice control of air heat pump evaporators. Innovations and Technologies in Construction (BUILDINTECH BIT 2021) // Journal of Physics: Conference Series. 2021. Vol. 1926. 012017. doi:10.1088/1742-6596/1926/1/012017.

19. Orlov P.A., Il'ina T.N., Orlov K.P. Test of heat pump unit with MOVEBIT anti-icing system // Constructions materials and productions. 2022. Vol. 5. No. 2. Pp. 43–50. doi: 10.58224/2618-7183-2022-5-2-43-50.

20. Алямовский А.А., Собачкин А.А., Одинцов Е.В., Харитонович А.И., Пономарев Н.Б. SolidWorks 2007/2008. Компьютерное моделирование в инженерной практике. СПб.: БХВ-Петербург, 2008. 1040 с.

Информация об авторах

Ильина Татьяна Николаевна, доктор технических наук, профессор кафедры теплогазоснабжения и вентиляции. E-mail: ilina50@rambler.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Колесников Максим Сергеевич, аспирант кафедры теплогазоснабжения и вентиляции. E-mail: makskol97@mail.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Крюков Илья Валерьевич, кандидат технических наук, доцент кафедры теплогазоснабжения и вентиляции. E-mail: iliya.kryukov@yandex.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Орлов Павел Анатольевич, аспирант кафедры теплогазоснабжения и вентиляции. E-mail: orlov Pavel67@gmail.com. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Поступила 28.11.2022 г.

© Ильина Т.Н., Колесников М.С., Крюков И.В., Орлов П.А., 2023

**Il'ina T.N., Kolesnikov M.S., Kryukov I.V., Orlov P.A.
Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov
E-mail: ilina50@rambler.ru

ABOUT THE WAYS OF ENSURING VENTILATION IN WORKSHOPS LIVESTOCK COMPLEXES

Abstract. The methods of organization ventilation in livestock complexes are considered. Using the example of a fattening housing for 200 heads of a pig breeding complex, the methods of organizing a mechanical

supply and exhaust and natural ventilation system are shown. For this housing, the performance of the ventilation system is calculated by excess moisture and by the content of carbon dioxide in the room. It is established that it is advisable to produce the performance of the ventilation system according to the values of excess moisture, which meets the requirements of the zoo-hygienic standard. The calculation of the multiplicity of air exchange in the animal housing is made, which is 1.5 times and corresponds to the normative design indicators for pig farms. An aerodynamic calculation of the supply and exhaust ventilation systems is made, the number of supply and exhaust ducts for each system is determined, respectively. To visualize the process of air supply and distribution in the SolidWorks program, a model of air flows is built during the operation of a natural and supply and exhaust ventilation system for three cases when the outside air temperature is -20 ; 0 ; $+20$ °C. It is shown that in warm and cold periods of the year it is advisable to supply prepared air through distribution channels of supply ventilation. To achieve the required parameters of the indoor air in the pig complex, it is proposed to prepare the supply air in the mechanical ventilation system using an air heat pump with the MOVEBIT anti-icing system.

Keywords: natural ventilation, supply and exhaust ventilation system, microclimate, pig complex, air flow distribution.

REFERENCES

1. Kolesnikov M.S., Il'ina T.N., Evraev D.A. Analysis of methods of organization of supply and exhaust ventilation at pig breeding complexes [Analiz sposobov organizatsii pritochno-vytyazhnoj ventilyatsii na svinovodcheskih kompleksah]. XIV International scientific and practical conference of students, postgraduates and young scientists. Youth and scientific and technological progress. 2021. Vol. 1. Pp. 480–484. (rus)
2. Shvedov V.V. Natural ventilation systems of livestock premises [Sistemy estestvennoj ventilatsii zhivotnovodcheskih pomeshchenij]. Ser. «Mechanizatsiya i jelektrofikatsiya sel'skogo hozjajstva». VASHNIL; VNIITJeI Agroprom. M.: 1991. 44 p. (rus)
3. Hramcov V.V. Zoo hygiene with the basics of designing livestock facilities [Zoogigiena s osnovami proektirovaniya zhivotnovodcheskih ob#ektov]. M.: KolosS, 2007. 376 p. (rus)
4. Fursenko S.N. Organization of air exchange in premises for keeping cattle, pigs and poultry [Organizatsiya vozduhoobmena v pomeshcheniyah dlya soderzhaniya KRS, svinej i pticy]. URL: https://studref.com/362934/tehnika/organizatsiya_vozduhoobmena_pomescheniyah_soderzhaniya_sviney_ptitsy (date of treatment: 25.09.2022) (rus)
5. Mironov V.N., Gordeev V.V., Mironova T.YU. Air purification of livestock premises in cultivation facilities [Ochistka vozduha zhivotnovodcheskogo pomeshcheniya v kul'tivatsionnyh sooruzheniyah]. Bulletin of VNIIMZH. 2012. No. 4(8). Pp. 69–72. (rus)
6. SP 106.13330.2012 Livestock, poultry and animal husbandry buildings and premises [Zhivotnovodcheskie, pticevodcheskie i zverovodcheskie zdaniya i pomeshheniya]. (rus)
7. RD-APK 3.10.07.05-17 Veterinary and sanitary requirements in the design, construction, reconstruction and operation of livestock facilities [Veterinarno-sanitarnye trebovaniya pri proektirovanii, stroitel'stve, rekonstrukcii i jekspluatscii zhivotnovodcheskih pomeshchenij]. (rus)
8. RD-APK 1.10.02.04-12 Methodological recommendations on technological design of pig farms and complexes [Metodicheskie rekomendatsii po tehnologicheskomu proektirovaniyu svinovodcheskih ferm i kompleksov]. (rus)
9. Medvedskij V.A., Sokolov G.A., Trofimov A.F., Seryakov I.S. Animal hygiene [Gigiena zhivotnyh]. Minsk: Technoperspektiva. 2009. 617 p. (rus)
10. Krasnova V.L., Hazanov E.E., Markova A.E., Gordeev V.V. Perspective methods of utilization of ventilation emissions of livestock premises [Perspektivnye sposoby utilizatsii ventilyatsionnyh vybrosov zhivotnovodcheskih pomeshchenij]. Collection of scientific papers of the NWNIMESH. 2004. Issue. 76. Pp. 131–137. (rus)
11. Il'ina T.N., Shhedrina Ju.E., Feoktistov A.Ju., Kolesnikov M.S., Evraev D.A. About the ecological situation on the territory of the Oskolsky Bacon-3 pig complex [Ob jekologicheskoy obstanovke na territorii svinokompleksa «Oskol'skij bekon-3»]. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2022. No. 3. Pp. 32–41. doi:10.34031/2071-7318-2021-7-3-0-0 (rus)
12. Il'ina T.N., Lesunova M.A., Bozhko YU.V. Organization of air heating in galleries of livestock complexes [Organizatsiya vozdušnogo otopeniya v galereyah zhivotnovodcheskih kompleksov]. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2010. No. 1. Pp. 129–131. (rus)
13. Najdenko V.K. Improvement of technologies on pig farms and pig complexes [Sovershenstvovanie tekhnologij na svinofarmah i svinokompleksah]. Perspective pig breeding: Theory and practice. 2011. No. 2. Pp. 6–15. (rus)
14. Kuznecov M.Ju., Guseva Ju.A. Fundamentals of designing veterinary institutions and livestock facilities [Osnovy proektirovaniya veterinarnykh

uchrezhdenij i zhivotnovodcheskih ob#ektov]. Uchebno-metodicheskoe posobie. FGBOU VO «Saratovskij GAU». Saratov. 2017. 69 p. (rus)

15. Tolga U., Gulsah K., Onur V., Ali K. Performance analysis of a textile based solar assisted air source heat pump with the energy and exergy methodology. Sustainable Energy Technologies and Assessments. 2021. Vol. 47. doi: 10.1016/j.seta.2021.101534.

16. Mohanraj M., Karthick L., Dhivagar R. Performance and economic analysis of a heat pump water heater assisted regenerative solar still using latent heat storage. Applied thermal Engineering. 2021. Vol. 196. doi:10.1016/j.applthermaleng.2021.117263.

17. Meghann S., Anthony B., Sheryl T., Pankaj L. Life cycle analysis (LCA) of residential ground source heat pump systems: A comparative analysis

of energy efficiency in New Jersey. Sustainable Energy Technologies and Assessments. 2021. Vol. 47. doi:10.1016/j.seta.2021.101534.

18. Orlov P.A., Il'ina T.N., Orlov K.P. Promising methods of ice control of air heat pump evaporators. Innovations and Technologies in Construction (BUILDINTECH BIT 2021). Journal of Physics: Conference Series. 2021. Vol. 1926. 012017. Belgorod. doi:10.1088/1742-6596/1926/1/012017. (rus)

19. Orlov P.A., Il'ina T.N., Orlov K.P. Test of heat pump unit with MOVEBIT anti-icing system. Constructions materials and productions. 2022. Vol. 5. No. 2. Pp. 43–50. doi:10.58224/2618-7183-2022-5-2-43-50. (rus)

20. Aljamovskij A.A., Sobachkin A.A., Odincov E.V., Haritonovich A.I., Ponomarev N.B. SolidWorks 2007/2008. Computer modeling in engineering practice [SolidWorks 2007/2008. Komp'yuternoe modelirovanie v inzhenernoj praktike]. SPb.: BHV-Peterburg. 2008. 1040 p. (rus)

Information about the authors

Il'ina, Tat'yana N. DSc, Professor. E-mail: ilina50@rambler.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Kolesnikov, Maksim S. Postgraduate student. E-mail: makskol97@mail.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Kryukov, Ilia V. PhD, Assistant professor. E-mail: iliya.kryukov@yandex.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Orlov, Pavel A. Postgraduate student. E-mail: orlovpavel67@gmail.com. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Received 28.11.2022

Для цитирования:

Ильина Т.Н., Колесников М.С., Крюков И.В., Орлов П.А. О способах обеспечения воздухообмена в цехах животноводческих комплексов // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2023. № 3. С. 46–55. DOI: 10.34031/2071-7318-2022-8-3-46-55

For citation:

Il'ina T.N., Kolesnikov M.S., Kryukov I.V., Orlov P.A. About the ways of ensuring ventilation in workshops livestock complexes. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2023. No. 3. Pp. 46–55. DOI: 10.34031/2071-7318-2022-8-3-46-55

DOI: 10.34031/2071-7318-2022-8-3-56-66

Тимофеев А.В.

Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет

E-mail: timofeevav1@mail.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ КАПИЛЛЯРНОЙ СТРУКТУРЫ ТЕРМОСИФОНА НА ЕГО ТЕПЛОВУЮ МОЩНОСТЬ С ТЕПЛОНОСИТЕЛЯМИ R134A, R410A, R407C

Аннотация. Термосифон (ТС) представляет собой испарительно-конденсационное теплообменное устройство, где циркуляция рабочего тела (промежуточного теплоносителя) осуществляется за счет гравитационных сил. В термосифонах отсутствует пористый фитиль, его заменяют канавки различной геометрической формы. Конструктивно термосифоны выполнены в виде герметично запаянных и вытянутых в длину цилиндрических сосудов, внутренний объем которых заполнен рабочим телом. В качестве рабочего тела используются жидкие теплоносители, которые могут выполнять агрегатно-фазовый переход при рабочих температурах, наблюдающихся при эксплуатации в рекуперативном утилизаторе. В данной статье речь идет о сравнении ограничений тепловой мощности термосифонов, работающих при эксплуатационных температурах систем вентиляции и кондиционирования воздуха. При этом термосифоны используют в качестве рабочего тела фреоны R134a, R410a, R407c, а капиллярная структура термосифонов представлена в виде канавок следующих типов: Ω – образной канавки, прямоугольной канавки и треугольной канавки. Для сравнения использовался термосифон с внешним диаметром 8 мм. Представлены зависимости тепловой мощности от рабочей температуры для всех типов ограничений теплопередающей способности термосифонов в зависимости от используемой капиллярной структуры и рабочего тела. Проведен анализ наилучшей капиллярной структуры термосифонов при использовании фреонов в качестве рабочего тела.

Ключевые слова: утилизатор теплоты, термосифон, конденсация, испарение, максимальная теплопередающая способность.

Введение. В связи с ростом цен на ископаемое топливо и экологическими проблемами, возобновляемые источники энергии и энергоэффективные системы являются стратегией развития ряда стран. Многие страны пытаются увеличить процентную долю использования возобновляемых источников энергии, но в связи с рядом ограничений наиболее перспективным направлением является повышение энергоэффективности систем.

В системах вентиляции и кондиционирования воздуха (ВК) повышение энергоэффективности системы заключается в рекуперации теплоты в холодный период года и переходные условия за счет установки теплообменников утилизаторов. Одной из разновидностей утилизаторов являются теплоутилизаторы с термосифонами (ТТТ) [1–4]. В работах исследователей Jouhara, Bertrand, Accell, Sukarno, Putra и других изучалось влияние количества рядов термосифонов, характера их распределения, количества и формы пластин обогрева на тепловые характеристики и энергопотребление устройств с термосифонами. Например, в работе Jouhara и других [3] описывается теплоутилизатор на тепловых трубах, используемый для рекуперации тепловой энергии при производстве керамической плитки. Авторы отмечают высокую эффективность работы устройства равную 81 % и аэродинамическое сопротивление в 40 Па, при этом термосифоны в качестве рабочей жидкости использовали воду, охлаждающие

жидкости FV-84, FC-77, FC3283. Но неотъемлемо важным фактором эффективности ТТТ являются характеристики термосифонов.

Цель исследования заключается в определении наилучших вариантов капиллярных структур термосифонов при эксплуатационных режимах его работы с использованием безопасных для здоровья человека теплоносителей и материалов термосифонов.

Задачей исследования является на основе методики разработки термосифонов подобрать наилучшие варианты теплоносителей с совместимыми им материалами термосифонов, а также определить наилучшую капиллярную структуру термосифонов.

Материалы и методы. В программной системе MS Office Excel создана программа по расчету максимальной теплопередающей способности термосифона, перепаду температур между испарительной и конденсационной секциями, а также термического сопротивления устройства. Согласно методикам расчета термосифонов [5–7], для их успешного проектирования и эксплуатации необходимо провести расчет теплопередающей способности для следующих типов ограничений:

– капиллярное ограничение, которое связано с предельной перекачивающей способностью капиллярной структуры или капиллярным впитыванием фитиля;

- звуковой предел, основанный на запирании парового канала паровым потоком;
- ограничение по уносу, связанное со срывом капель жидкости с межфракционной границы «жидкость – пар» фитиля паром, который движется с большей скоростью;
- ограничение по кипению или высыхание фитиля, основанное на разрушении потока жидкости пузырьковым кипением в фитиле.

Эти ограничения имеют различную физическую природу, однако превышение любого из них приводит к повышению температуры в зоне испарения и соответственно резкому повышению перепада температур по длине корпуса ТС.

В [8–13] обсуждаются результаты расчета тепловой мощности фитильных и гравитационных тепловых труб и сопоставляются с результатами измерений на экспериментальном измерительном приборе. Измеренные тепловые мощности фитильных тепловых труб со спеченной капиллярной структурой и с желобчатой капиллярной структурой находятся на графиках в той же области, что и результаты расчета капиллярного ограничения, которое является определяющим ограничением для данных тепловых трубок. Полученные результаты верифицированной в [7] модели разработки тепловых труб позволяют оптимизировать параметры ТС на стадии проектирования.

Основная часть. Термосифон (ТС) представляет собой испарительно-конденсационное теплообменное устройство, где циркуляция рабочего тела (промежуточного теплоносителя) осуществляется за счет гравитационных сил. В термосифонах отсутствует пористый фитиль, его заменяют канавки различной геометрической формы. Конструктивно термосифоны выполнены в виде герметично запаянных и вытянутых в длину цилиндрических сосудов, внутренний объем которых заполнен рабочим телом. В качестве рабочего тела используются жидкие теплоносители, которые могут выполнять агрегатно-фазовый переход при рабочих температурах, наблюдающихся при эксплуатации в рекуперативном утилизаторе.

В системах вентиляции и кондиционирования воздуха в качестве рабочего тела ТС следует использовать безопасные для здоровья человека вещества (чаще всего применяются фреоны R134a, R410a, R407c). А в качестве материала для изготовления термосифонов используются алюминий с теплопроводностью $k = 190 \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)}$. Капиллярная структура термосифонов обычно представляет собой канавчатый фитиль. На рисунке 1 показана схема работы термосифона с чаще всего применяемыми вариантами пристеночных капиллярных структур.

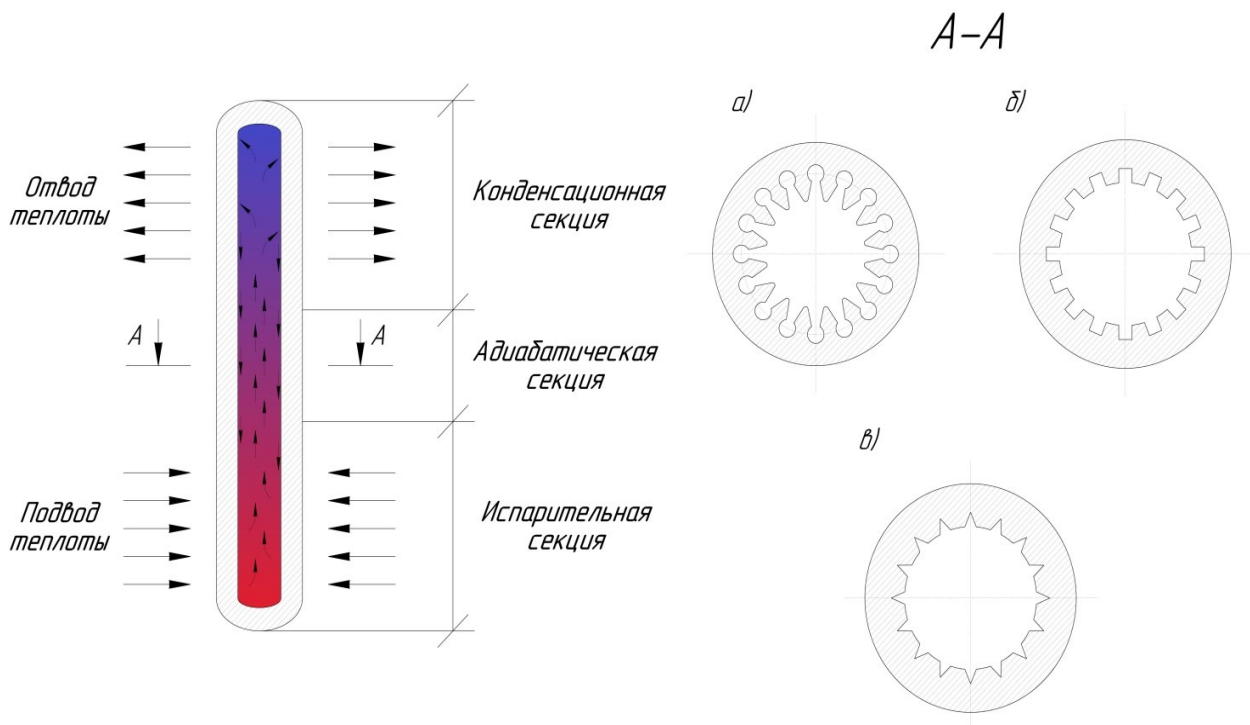


Рис. 1. Схема термосифона и варианты капиллярных структур:
а) Ω – образная канавка; б) прямоугольная канавка; в) треугольная канавка

Капиллярное ограничение. Капиллярный предел связан с фундаментальным явлением, регулирующим работу ТС, которое заключается в

развитии капиллярных перепадов давления на границах раздела «жидкость – пар» в испарителе и конденсаторе. Движущим потенциалом для

циркуляции рабочего тела является перепад капиллярного давления, максимальное капиллярное давление должно быть больше суммы всех потерь давления внутри ТС. Капиллярное ограничение в ТС возникает, когда чистые капиллярные силы, создаваемые границами раздела «пар – жидкость» в испарителе и конденсаторе, недоста-

точно велики, чтобы компенсировать потери давления на трение из-за движения жидкости. Это приводит к высыханию испарителя и прекращению передачи теплоты от испарителя к конденсатору. Для большинства ТС максимальная теплопередающая способность из-за капиллярного ограничения может быть выражена как [5, 14]:

$$Q_c = \frac{L \cdot \rho_l \cdot K \cdot A_w}{\mu_l \cdot l_{eff}} \left\{ \frac{2 \cdot \sigma}{r_e} \cdot \cos \theta - \rho_l \cdot g \cdot l_{eff} \cdot \sin \psi \right\}, \quad (1)$$

где L – скрытая теплота парообразования, Дж/кг; ρ_l – плотность жидкого теплоносителя, кг/м³; K – проницаемость фитиля ТС, м²; A_w – площадь поперечного сечения фитиля ТС, м²; σ – поверхностное натяжение теплоносителя, Н/м; μ_l – вязкость жидкого теплоносителя, Па·с; l_{eff} – эффективная длина ТС, м; r_e – капиллярный радиус канавок фитиля, м; θ – угол смачивания фитиля, °; ψ – угол наклона ТС, °; $g = 9,81$ м/с² – ускорение свободного падения.

Звуковое ограничение. Звуковой предел обычно возникает в тепловых трубах во время запуска или при низкотемпературной работе из-за связанной с этим очень низкой плотности пара в этих условиях. Это может привести к дроссельному или звуковому потоку пара. Максимальная теплопередающая способность при ограничении по звуковому пределу определяется по выражению [5, 16, 17]:

$$Q_s = A_v \cdot \rho_v \cdot L \cdot \sqrt{\frac{\gamma_v \cdot R_v \cdot T_o}{2 \cdot (\gamma_v + 1)}}, \quad (2)$$

где A_v – площадь сечения парового канала, м²; ρ_v – плотность пара, кг/м³; L – скрытая теплота парообразования, Дж/кг; γ_v – показатель адиабаты; R_v – газовая постоянная пара, Дж/(кг·К); T_o – температура невозмущенного потока, К.

Ограничение уноса. Взаимодействие противоточного потока жидкости и пара приводит к возникновению сил вязкого сдвига на границе раздела «жидкость – пар», которые могут препятствовать возврату жидкости в испаритель. В наиболее тяжелых случаях могут образовываться волны, и силы межфазного сдвига могут стать больше, чем силы поверхностного натяжения жидкости, в результате чего капли жидкости захватываются потоком пара и переносятся в конденсатор. Максимальная теплопередающая способность при ограничении по уносу жидкости определяется по выражению:

$$Q_e = A_v \cdot L \cdot \sqrt{\frac{\sigma \cdot \rho_v}{2 \cdot r_{h,s}}}, \quad (3)$$

где A_v – площадь сечения парового канала, м²; L – скрытая теплота парообразования, Дж/кг; σ – поверхностное натяжение теплоносителя, Н/м; ρ_v – плотность пара, кг/м³; $r_{h,s}$ – гидравлический радиус фитиля на поверхности раздела «пар – фитиль», м.

Ограничение кипения. При более высоких тепловых потоках в конструкции фитиля может происходить пузырьковое кипение, что может привести к тому, что пары будут захвачены фитилем, тем самым блокируя возврат жидкости и приводя к высыханию испарителя. Это явление, называемое пределом кипения, отличается от других ограничений, поскольку оно зависит от радиального или окружного теплового потока, подаваемого на испаритель, в отличие от осевого теплового потока или общей тепловой мощности, переносимой тепловой трубой. Предел кипения иногда называют пределом теплового потока [18–20] и определяется по выражению:

$$Q_b = \frac{2 \cdot \pi \cdot l_e \cdot k_e \cdot T_v}{L \cdot \rho_v \cdot \ln(r_i / r_v)} \left(\frac{2 \cdot \sigma}{r_n} \right), \quad (4)$$

где l_e – длина испарительной части тепловой трубы, м; k_e – эффективная теплопроводность фитиля тепловой трубы, Вт/(м·К); L – скрытая теплота парообразования, Дж/кг; σ – поверхностное натяжение теплоносителя, Н/м; ρ_v – плотность пара, кг/м³; T_v – температура пара, К; r_i – внутренний радиус трубы, м; r_v – радиус парового канала, м; r_n – радиус зародыша парового пузыря, который согласно [5] равен $2,54 \times 10^{-7}$ м.

На основе программы расчета термосифонов были получены зависимости теплопередающей способности от средней температуры ТС по каждому типу ограничений его работы для фреонов R134a, R410a, R407c (рис. 2–5). В качестве эта-

лонного ТС использовалось устройство с внешним диаметром 8 мм и следующими вариантами капиллярных структур: 14-ю Ω – образными канавками диаметром 0,5 мм; 14-ю прямоуголь-

ными канавками шириной 0,5 мм; 14-ю треугольными канавками глубиной 0,5 мм. В таблице 1 и 2 представлены основные характеристики теплоносителей и термосифонов с капиллярными структурами.

Таблица 1

Основные характеристики теплоносителей

Температура, °C	Скрытая теплота парообразования L , кДж/кг	Плотность жидкого теплоносителя ρ_l , кг/м ³	Вязкость жидкого теплоносителя μ_l , кг/(м·с)	Плотность пара ρ_v , кг/м ³	Поверхностное натяжение σ , Н/м	Показатель адиабаты γ_v	Газовая постоянная R_v , Дж/(кг·K)
R134a							
-30	2260,2	1418,4	0,000282	4,42	0,01607	1,24	81,5
-20	2194,0	1387,7	0,000236	6,79	0,01451		
-10	2127,4	1357,2	0,0002	10,07	0,01302		
0	2058,7	1326,4	0,000171	14,17	0,01158		
10	1986,4	1294,7	0,000149	19,74	0,01020		
20	1908,9	1261,4	0,000132	27,24	0,00886		
30	1824,6	1226,0	0,000118	37,20	0,00757		
R410a							
-30	2556,05	1277,6	0,000239	10,10	0,01356	1,55	114,5
-20	2476,61	1244,9	0,000211	14,48	0,01189		
-10	2388,28	1210,3	0,000187	20,47	0,01027		
0	2286,50	1172,9	0,000166	28,56	0,00870		
10	2166,65	1131,7	0,000147	39,40	0,00719		
20	2024,17	1085,9	0,00013	53,72	0,00575		
30	1854,46	1034,6	0,000113	72,51	0,00440		
R407c							
-30	2381,66	1340,2	0,000307	6,08	0,01556	1,33	96,7
-20	2318,09	1308,5	0,000269	9,05	0,01391		
-10	2243,80	1274,4	0,000237	13,15	0,01229		
0	2158,79	1238,0	0,000209	18,75	0,01072		
10	2063,05	1199,2	0,000186	26,18	0,00919		
20	1956,60	1158,1	0,000164	35,80	0,00770		
30	1839,43	1114,5	0,000142	47,97	0,00625		

Таблица 2

Основные характеристики термосифонов и капиллярных структур

Параметры термосифона			
Параметр	Обозначение	Величина	Размерность
Внешний диаметр корпуса	d_o	0,008	м
Длина испарительной секции	l_e	0,16	м
Длина конденсационной секции	l_c	0,15	м
Длина адиабатической секции	l_a	0,01	м
Эффективная длина термосифона	l_{eff}	0,1675	м
Угол наклона термосифона	ψ	0	°
Площадь сечения парового канала	$A_v \times 10^5$	1,26	м ²
Капиллярная структура			
Параметры для Ω – образной канавки			
Диаметр круглой части канавки	d_n	0,0005	м
Число канавок	n	14	
Капиллярный радиус канавок	r_e	0,0005	м
Гидравлический радиус на поверхности раздела «пар – фитиль»	$r_{h,s}$	0,0005	м
Внутренний радиус трубы	r_i	0,00275	м
Радиус парового канала	r_v	0,002	м
Угол смачивания	θ	90	°
Площадь поперечного сечения	$A_w \times 10^6$	5,37	м ²
Проницаемость	$K \times 10^9$	2,65	м ²
Эффективная теплопроводность	k_e	98,7	Вт/(м·K)
Параметры прямоугольной канавки			
Ширина канавки	w	0,0005	м
Глубина канавки	δ	0,0005	м
Число канавок	n	14	
Капиллярный радиус канавок	r_e	0,0005	м
Гидравлический радиус на поверхности раздела «пар – фитиль»	$r_{h,s}$	0,0005	м
Внутренний радиус трубы	r_i	0,00275	м
Радиус парового канала	r_v	0,00225	м
Угол смачивания	θ	90	°
Площадь поперечного сечения	$A_w \times 10^6$	5,25	м ²
Проницаемость	$K \times 10^9$	23,5	м ²
Эффективная теплопроводность	k_e	62,9	Вт/(м·K)
Параметры треугольной канавки			
Глубина канавки	δ	0,0005	м
Угол канавки	β	91	°
Число канавок	n	14	
Капиллярный радиус канавок	r_e	0,000355	м
Гидравлический радиус на поверхности раздела «пар – фитиль»	$r_{h,s}$	0,000505	м
Внутренний радиус трубы	r_i	0,00275	м
Радиус парового канала	r_v	0,00225	м
Угол смачивания	θ	90	°
Площадь поперечного сечения	$A_w \times 10^6$	3,53	м ²
Проницаемость	$K \times 10^9$	4,81	м ²
Эффективная теплопроводность	k_e	104,5	Вт/(м·K)

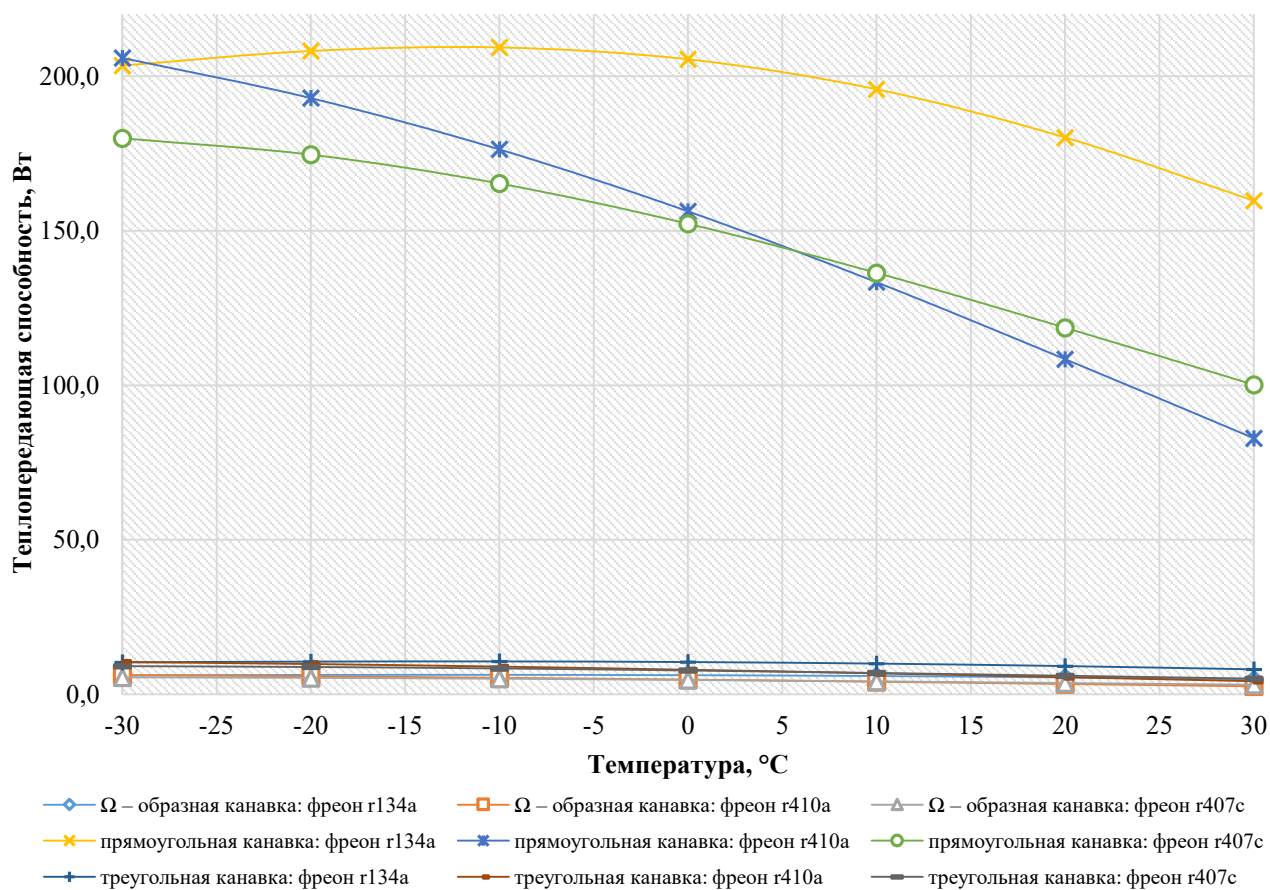


Рис. 2. Зависимость теплопередающей способности по капиллярному ограничению от средней рабочей температуры термосифонов

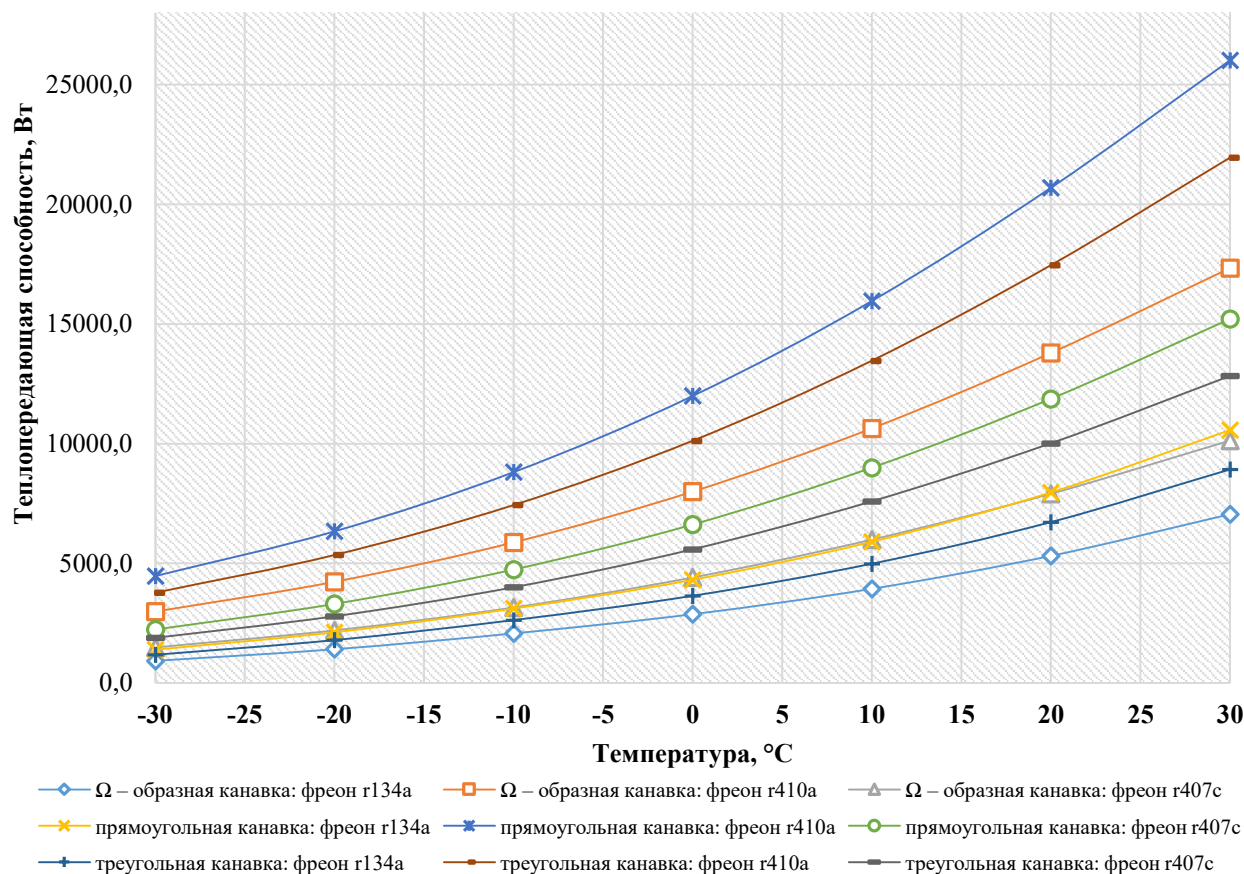
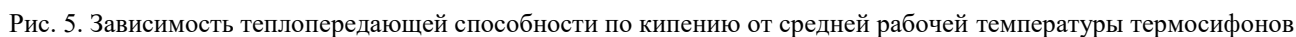
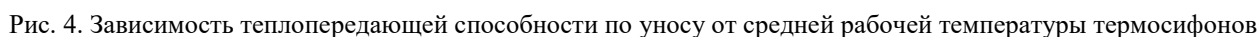


Рис. 3. Зависимость теплопередающей способности по звуковому ограничению от средней рабочей температуры термосифонов



Проанализировав рисунки 2 – 5, можно отметить, что для термосифонов с внешним диаметром 8 мм заправленных фреонами R134a, R410a, R407c наилучшим вариантом капиллярной структуры является прямоугольная канавка. В то же время, определить, какое рабочее тело будет наилучшим вариантом, возможно лишь по графику тепловой мощности ТС. Зависимость тепловой мощности ТС от средней рабочей температуры представляет собой совокупность теплопередающих способностей по всем типам ограничений в диапазоне температур рабочего тела.

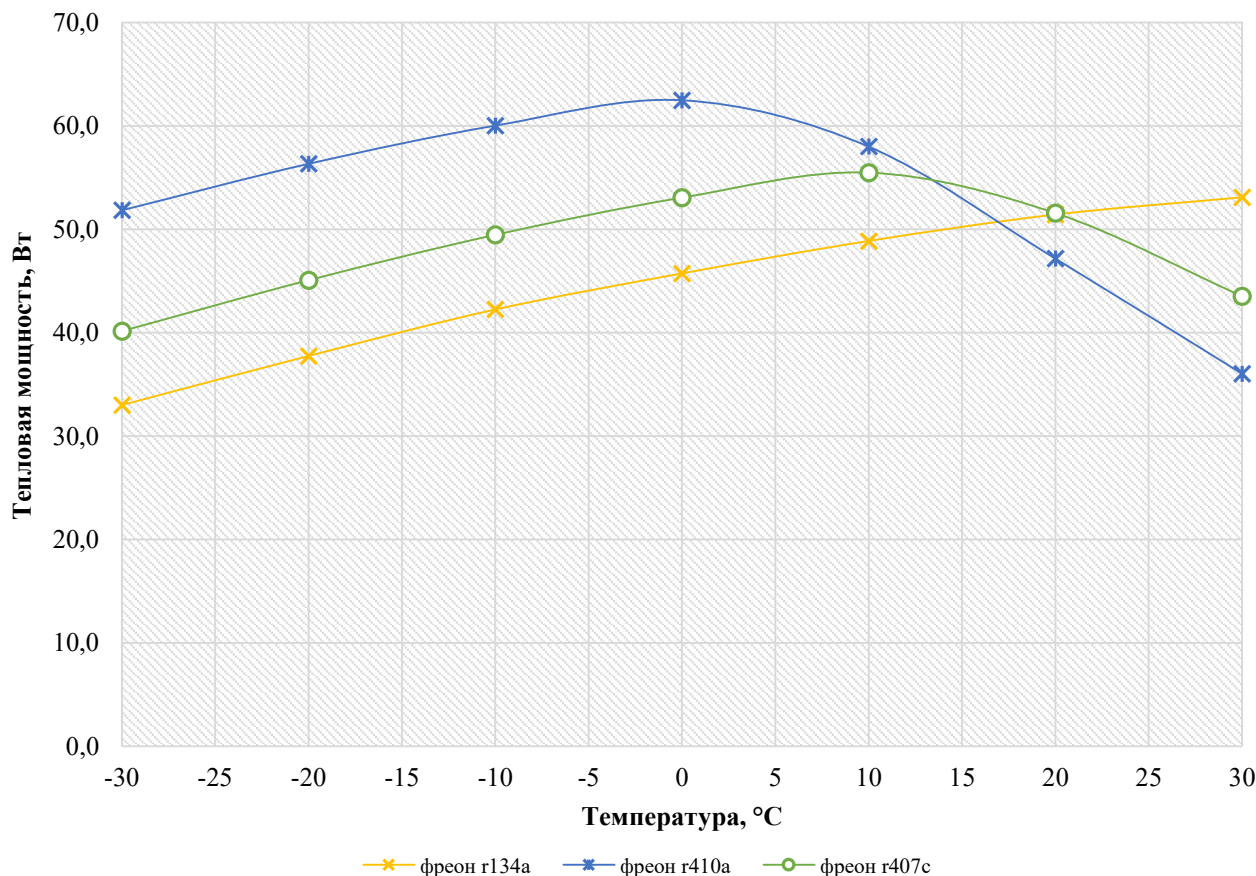


Рис. 6. Зависимость тепловой мощности от средней рабочей температуры термосифона с прямоугольной канавкой фреонов R134a, R410a, R407c

Выводы.

1. Графические зависимости четко определяют, какие ограничения теплопередающей способности больше всего влияют на общую производительность тепловой трубы. Наибольших значений достигают ограничение по звуковому пределу и кипению.

2. Критическими ограничениями, влияющими на характеристики тепловых труб, являются ограничение уноса и ограничение капиллярности.

3. При использовании в теплоутилизаторах ТТ с внешним диаметром 8 мм наибольшая тепловая мощность достигается с теплоносителем

Заштрихованная область (рис. 6) представляет собой зависимость тепловой мощности ТС от средней рабочей температуры во всем диапазоне температур рабочего тела. По сути, этот рабочий диапазон определяет область или комбинацию температур и максимальных мощностей, при которых тепловая трубка будет функционировать. Таким образом, можно добиться того, чтобы тепловая трубка могла транспортировать требуемую тепловую нагрузку или улучшить ее конструкцию.

R410a. В то же время превышение тепловой мощности по сравнению с фреонами R134a и R407c в среднем составляет 25 %.

4. Наилучшей капиллярной структурой для всех фреонов является прямоугольная канавка.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Тимофеев А.В., Яковлев В.А Совершенствование конструкции теплоутилизатора на тепловых трубах на основании результатов CFD – моделирования // Вестник гражданских инженеров. 2021. №3(86). С. 113–119.

2. Sangpab N., Phrut S., Niti K., Pradit T. Mathematical model of bent-flattened sintered-

grooved heat pipe with concept of receding-and-excessing fluid // *Case Studies in Thermal Engineering*. 2021. № 27. Pp. 1–16. doi:10.1016/j.csite.2021.101307.

3. Jouhara H., Bertrand D., Axcell B., Montorsi L., Venturelli M., Almahmoud S., Milani M., Ahmad L., Chauhan A. Investigation on a full-scale heat pipe heat exchanger in the ceramics industry for waste heat recovery // *Energy*. 2021. № 223. Pp. 1–23. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2021.120037>.

4. Xu Z., Zhang Y., Li B., Huang J. Modeling the phase change process for a two-phase closed thermosyphon by considering transient mass transfer time relaxation parameter // *International Journal of Heat and Mass Transfer*. 2016. № 101. Pp. 614–619. doi:10.1016/j.ijheatmasstransfer.2016.05.075.

5. Чи С. Тепловые трубы: теория и практика пер. В.Я. Сидорова. М.: Машиностроение, 1981. 207 с.

6. Alahmad M., Abd El-Aleem F. Heat transfer challenges in semiconductors processing and the applications of heat pipes for efficient heat removal // *Journal of king saud university – Engineering Sciences*. 2003. № 15(1). Pp. 141–154. doi:10.1016/S1018-3639(18)30767-0.

7. Fadhl B., Wrobel L.C., Jouhara H. CFD modelling of a two-phase closed thermosyphon charged with R134a and R404a // *Applied Thermal Engineering*. 2015. № 78. Pp. 482–490. doi:10.1016/j.applthermaleng.2014.12.062.

8. Лукс А.Л., Матвеев А.Л. Анализ основных расчетных и экспериментальных теплофизических характеристик аммиачных тепловых труб повышенной тепловой проводимости из алюминиевых сплавов // *Вестник СамГУ*. 2008. №3(62). С. 331–357.

9. Nemec P., Caja A., Malcho M. Mathematical model for heat pipe transfer limitations of heat pipe // *Mathematical and Computer modelling*. 2013. № 57. Pp. 126–136. doi:10.1016/j.mcm.2011.06.047.

10. Nemec P., Caja A., Lenhard R. Visualization of heat transport in heat pipes using a thermocamera // *Archives of Thermodynamics*. 2010. № 31(4). Pp. 125–132. doi:10.2478/V10173-010-0033-6.

11. Nemec P., Caja A., Malcho M., Lenhard R. Thermal performance measurement of heat pipe // *Archives of Thermodynamics*. 2010. № 31(3). Pp. 19–36. doi:10.4172/2229-8711.1000128.

12. Luo Y., Guodong W., Pengfei B., Huawei W., Ruipeng C., Yifan T., Xingliang C., Guofu Z. Modeling and experimental analysis of U-shaped segmented unidirectional heat pipe array cogeneration unit // *Case Studies in Thermal Engineering*. 2021. № 26. Pp. 1–16. doi:10.1016/j.csite.2021.101074.

13. Sukarno R., Putra N., Imansyah Ibnu H., Fuad Rachman F., Meurah Indra Mahlia T. Multi-stage heat-pipe heat exchanger for improving energy efficiency of the HVAC system in a hospital operating room // *International Journal of Low-Carbon Technologies*. 2021. № 16. Pp. 259–267. doi:10.1093/ijlct/ctaa048

14. Aridi R., Faraj J., Ali S., Gad El-Rab M., Lemenand T., Khaled M. Energy recovery in air conditioning system: comprehensive review, classifications, critical analysis and potential recommendations // *Energies*. 2021. № 14. Pp. 1–31. doi:10.3390/en14185869.

15. Yang K., Cong Z., Mao Y., Zhang X. Numerical simulation study of the heat transfer characteristic in Ω – shape grooved heat pipes // *Procedia Engineering*. 2017. № 205. Pp. 3916–3922. doi:10.1016/j.proeng.2017.10.033.

16. Jouhara H., Chauhan A., Nannou T., Almahmoud S., Delpech B., Wrobel L.C. Heat pipe based system – Advances and application // *Energy*. 2017. № 128. Pp. 729–754. doi:10.1016/j.energy.2017.04.028.

17. Дан П.Д., Рей Д.А. Тепловые трубы пер. Ю.А. Зейгарника. М.: Энергия, 1979. 272 с.

18. Guichet V., Delpech B., Khoedehgah N., Jouhara H. Experimental and theoretical investigation of the influence of heat transfer rate on the thermal performance of a multi-channel flat heat pipe // *Energy*. 2022. № 250. Pp. 1–19. doi:10.1016/j.energy.2022.123804.

19. Nookaraju B.Ch., Kurma Rao P.S.V., Nagarada S. Experimental and numerical analysis of thermal performance in heat pipes // *Procedia Engineering*. 2015. № 127. Pp. 800–808. doi:10.1016/j.proeng.2015.11.415.

20. Arat H., Arslan O., Ercetin U., Akbulut A. A comprehensive numerical investigation of unsteady-state two-phase flow in gravity assisted heat pipe enclosure // *Thermal Science and Engineering Progress*. 2021. № 25. Pp. 1–15. doi:10.1016/j.tsep.2021.100993.

Информация об авторах

Тимофеев Александр Васильевич, аспирант кафедры теплогазоснабжение, вентиляция, кондиционирование воздуха, газоснабжение и освещение. E-mail: timofeevavl@mail.ru. Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет. Россия, 190005, Санкт-Петербург, ул. 2-я Красноармейская, д. 4.

Поступила 06.10.2023 г.

© Тимофеев А.В., 2023

Timofeev A.V.

St. Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering

E-mail: timofeevavl@mail.ru

INVESTIGATION OF THE INFLUENCE OF THE CAPILLARY STRUCTURE OF A THERMOSIPHON ON ITS THERMAL POWER WITH HEAT CARRIERS R134a, R410a, R407c

Abstract. Thermosiphon (TC) is an evaporative-condensing heat exchange device, where the circulation of the working fluid (intermediate coolant) is carried out due to gravitational forces. There is no porous wick in thermosiphons, it is replaced by grooves of various geometric shapes. Structurally, thermosiphons are made in the form of hermetically sealed and elongated cylindrical vessels, the inner volume of which is filled with a working fluid. Liquid heat carriers are used as the working fluid, which can perform an aggregate-phase transition at operating temperatures observed during operation in a recuperative heat exchanger. In this article, author is talking about comparing the limits of thermal power of thermosiphons operating at operating temperatures of ventilation and air conditioning systems. At the same time, thermosiphons use freons R134a, R410a, R407c as the working medium, and the capillary structure of thermosiphons is represented in the form of grooves of the following types: a Ω -shaped groove, a rectangular groove and a triangular groove. For comparison, a thermosiphon with an outer diameter of 8 mm is used. The dependences of the thermal power on the operating temperature for all types of limitations of the heat transfer capacity of thermosiphons are presented, depending on the capillary structure used and the working fluid. The analysis of the best capillary structure of thermosiphons when using freons as a working body is carried out.

Keywords: heat exchanger, thermosiphon, condensation, evaporation, maximum heat transfer capacity.

REFERENCES

1. Timofeev A.V., Yakovlev V.A. Improving the design of a heat exchanger on heat pipes based on the results of CFD modeling [Sovershenstvovanie konstrukcii teploutilizatora na teplovyh trubah na osnovanii rezul'tatov CFD – modelirovaniya]. Bulletin of Civil Engineers. 2021. No. 3(86). Pp. 113–119. (rus)
2. Sangpab N., Phrut S., Niti K., Pradit T. Mathematical model of bent-flattened sintered-grooved heat pipe with concept of receding-and-excessing fluid. Case Studies in Thermal Engineering. 2021. Vol. 27. Pp. 1–16. doi:10.1016/j.csite.2021.101307
3. Jouhara H., Bertrand D., Axcell B., Montorsi L., Venturelli M., Almahmoud S., Milani M., Ahmad L., Chauhan A. Investigation on a full-scale heat pipe heat exchanger in the ceramics industry for waste heat recovery. Energy. 2021. Vol. 223. Pp. 1–23. doi:10.1016/j.energy.2021.120037.
4. Xu Z., Zhang Y., Li B., Huang J. Modeling the phase change process for a two-phase closed thermosyphon by considering transient mass transfer time relaxation parameter. International Journal of Heat and Mass Transfer. 2016. Vol. 101. Pp. 614–619. doi:10.1016/j.ijheatmasstransfer.2016.05.075.
5. Chi S.W. Heat pipe: Theory and practice [Teplovyye trubyy: teoriya i praktika per. V.YA. Sidorova]. The George Washington University. London. 1981. 207 p. (rus)
6. Alahmad M., Abd El-Aleem F. Heat transfer challenges in semiconductors processing and the applications of heat pipes for efficient heat removal. Journal of King Saud University – Engineering Sciences. 2003. Vol. 15(1). Pp. 141–154. doi:10.1016/S1018-3639(18)30767-0.
7. Fadhl B., Wrobel L.C., Jouhara H. CFD modelling of a two-phase closed thermosyphon charged with R134a and R404a. Applied Thermal Engineering. 2015. Vol. 78. Pp. 482–490. doi:10.1016/j.applthermaleng.2014.12.062.
8. Luks A.L., Matveev A.L. Analysis of the main computational and experimental thermophysical characteristics of ammonia heat pipes of increased thermal conductivity made of aluminum alloys [Analiz osnovnykh raschetnykh i eksperimental'nykh teplofizicheskikh harakteristik ammiachnykh teplovykh trub povyshennoj teplovoj provodimosti iz alyuminiyevykh splavov]. Bulletin of the Samara State University. 2008. No. 3(62). Pp. 331–357. (rus)
9. Nemec P., Caja A., Malcho M. Mathematical model for heat pipe transfer limitations of heat pipe. Mathematical and Computer modelling. 2013. Vol. 57. Pp. 126–136. doi:10.1016/j.mcm.2011.06.047.
10. Nemec P., Caja A., Lenhard R. Visualization of heat transport in heat pipes using a thermocamera. Archives of Thermodynamics. 2010. Vol. 31(4). Pp. 125–132. doi:10.2478/V10173-010-0033-6.
11. Nemec P., Caja A., Malcho M., Lenhard R. Thermal performance measurement of heat pipe. Archives of Thermodynamics. 2010. Vol. 31(3). Pp. 19–36. doi:10.4172/2229-8711.1000128.
12. Luo Y., Guodong W., Pengfei B., Huawei W., Ruipeng C., Yifan T., Xingliang C., Guofu Z.

Modeling and experimental analysis of U-shaped segmented unidirectional heat pipe array cogeneration unit. *Case Studies in Thermal Engineering*. 2021. Vol. 26. Pp. 1–16. doi:10.1016/j.csite.2021.101074.

13. Sukarno R., Putra N., Imansyah Ibnu H., Fuad Rachman F., Meurah Indra Mahlia T. Multi-stage heat-pipe heat exchanger for improving energy efficiency of the HVAC system in a hospital operating room. *International Journal of Low-Carbon Technologies*. 2021. Vol. 16. Pp. 259–267. doi:10.1093/ijlct/ctaa048.

14. Aridi R., Faraj J., Ali S., Gad El-Rab M., Lemenand T., Khaled M. Energy recovery in air conditioning system: comprehensive review, classifications, critical analysis and potential recommendations. *Energies*. 2021. Vol. 14. Pp. 1–31. doi:10.3390/en14185869.

15. Yang K., Cong Z., Mao Y., Zhang X. Numerical simulation study of the heat transfer characteristic in Ω – shape grooved heat pipes. *Procedia Engineering*. 2017. Vol. 205. Pp. 3916–3922. doi:10.1016/j.proeng.2017.10.033.

16. Jouhara H., Chauhan A., Nannou T., Almahmoud S., Delpech B., Wrobel L.C. Heat pipe

based system – Advances and application. *Energy*. 2017. Vol. 128. Pp. 729–754. doi:10.1016/j.energy.2017.04.028.

17. Dunn P.D. Reay D.A. Heat Pipes [Teplovye truby per. Yu. A. Zejgarnika]. Pergamon Press. 1976. 272 p. (rus)

18. Guichet V., Delpech B., Khoedehgah N., Jouhara H. Experimental and theoretical investigation of the influence of heat transfer rate on the thermal performance of a multi-channel flat heat pipe. *Energy*. 2022. Vol. 250. Pp. 1–19. doi:10.1016/j.energy.2022.123804.

19. Nookaraju B.Ch., Kurma Rao P.S.V., Nagarada S. Experimental and numerical analysis of thermal performance in heat pipes. *Procedia Engineering*. 2015. Vol. 127. Pp. 800–808. doi:10.1016/j.proeng.2015.11.415.

20. Arat H., Arslan O., Ercetin U., Akbulut A. A comprehensive numerical investigation of unsteady-state two-phase flow in gravity assisted heat pipe enclosure. *Thermal Science and Engineering Progress*. 2021. Vol. 25. Pp. 1–15. doi:10.1016/j.tsep.2021.100993.

Information about the authors

Timofeev, Alexander V. Postgraduate student. E-mail: timofeevavl@mail.ru. St. Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering. Russia, 190005, St. Petersburg, 2nd Krasnoarmeyskaya str., 4.

Received 06.10.2022

Для цитирования:

Тимофеев А.В. Исследование влияния капиллярной структуры термосифона на его тепловую мощность с теплоносителями R134a, R410a, R407c // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2023. № 3. С. 56–66. DOI: 10.34031/2071-7318-2022-8-3-56-66

For citation:

Timofeev A.V. Investigation of the influence of the capillary structure of a thermosiphon on its thermal power with heat carriers R134a, R410a, R407c. *Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov*. 2023. No. 3. Pp. 56–66. DOI: 10.34031/2071-7318-2022-8-3-56-66

DOI: 10.34031/2071-7318-2022-8-3-67-83

Зима А.Г.

Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет

E-mail: zimaandrei@mail.ru

МОДЕЛЬ ПОДЦЕНТРА САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКОЙ АГЛОМЕРАЦИИ (НА ПРИМЕРЕ ДЕРЕВНИ НОВОСАРАТОВКА). КОНЦЕПЦИЯ РАЗВИТИЯ ОБЩЕГОРОДСКОГО ЦЕНТРА

Аннотация. В рамках данной статьи проведён предпроектный градостроительный анализ, включающий ситуационный анализ на уровне Санкт-Петербургской агломерации, Всеволожского муниципального района; комплексный анализ на уровне Свердловского городского поселения, деревни Новосаратовка и прилегающих к ней территорий. Вследствие синтеза основных характеристик территории, выявленных по проведённому комплексному градостроительному анализу, составлена схема современного использования территории. Разработана унифицированная «модель подцентра» на примере населённого пункта деревня Новосаратовка с возможностью её применения при комплексном освоении тождественных территорий периферийных районов Санкт-Петербургской агломерации. Модель подцентра представлена четырьмя взаимосвязанными составляющими: экологической (основа для других составляющих), общественной, комфортной жилой средой и современной системой транспортной мобильности. Раскрытие такой важной составляющей модели, как общественная, рассмотрено в рамках формирования концептуального предложения по развитию территории предполагаемого общегородского центра подцентра – деревни Новосаратовка (согласно авторскому предложению). Описаны предпосылки концепции и её структура (каркас) – «ядра» и связи по таким направлениям, как общественно-деловое (деловой, научный кластеры) и социально-культурное (культурный, спортивный кластеры) с их характеристиками. Представлено градостроительное проектное предложение по территории общегородского центра.

Ключевые слова: Санкт-Петербургская агломерация; полицентрическая модель; периферийные территории; подцентр; деревня Новосаратовка; общегородской центр (субцентр); концепция развития территории; проектное предложение.

Введение. Актуальность и важность темы данной статьи обусловлена всё возрастающей ролью научных исследований отечественных и зарубежных авторов в области устойчивого развития, территориального планирования, пространственного освоения, делимитации и трансформации Санкт-Петербургской агломерации (в соответствии с Концепцией совместного градостроительного развития Санкт-Петербурга и территорий Ленинградской области (агломерации) на период до 2030 года и с перспективой до 2050 года) [1–4]. Изучению территориальной пространственно-расселенческой, поясной структуры периферийной зоны Санкт-Петербургской агломерации посвящено большое количество научных трудов отечественных исследователей, однако рассмотрение градостроительной организации элементов данной структуры выражено в имплицитной форме [5–7].

В рамках продолжения исследований в области формирования стратегии комплексного освоения территорий населённых пунктов периферийной зоны агломерации по полицентрической модели, населённый пункт деревня Новосаратовка с прилегающими к нему территориями был дифференцирован как объект исследования [8].

В ходе работы на основе выполненных предпроектных исследований, выявленных потенциалов и стратегических предложений по развитию (созданию комфортной городской среды), территория населённого пункта будет идентифицирована как агломерация второго порядка [1, 9, 10]. Из терминологически сходных понятий элементов системы расселения: агломерация второго порядка, субагломерация, опорный центр, подцентр, в исследовании решено использовать – подцентр агломерации [1, 9, 11]. Рассмотрение аспектов формирования агломерационного подцентра совместно с развитием вторичного элемента системы центра города (субцентра) – общегородского центра даст понимание о комплексном освоении территории на разных уровнях [12].

Вследствие вышесказанного целью исследования является разработка унифицированной модели подцентра с предложением по пространственно-планировочной организации общегородского центра.

Задачи исследования включают:

1. проведение предпроектного комплексного градостроительного анализа и синтез основных характеристик территории, потенциалов;
2. формирование градостроительной модели подцентра;

3. конкретизацию составляющей(их) модели в рамках концептуальных градостроительных предложений по общественному центру;

4. представление концептуальных предложений по развитию территории общегородского центра в проектных пространственно-планировочных решениях.

Практическая значимость проведённых исследований детерминируется возможностью применения принципов разработанной градостроительной модели и концепции подцентра и общегородского центра соответственно на примере деревни Новосаратовка для тождественных территорий периферийных районов Санкт-Петербургской агломерации [1, 8, 11].

Методологическая основа работы базируется на изучении и обобщении научных, нормативно-правовых, библиографических источников, карто- и топографических, статистических материалов с использованием методов комплексного градостроительного анализа; разработке градостроительной модели, концептуальных и проектных предложений с целью апробации результатов исследования.

Нормативно-правовой, градостроительной базой для проведения предпроектного анализа стали следующие документы: документы стратегического развития Санкт-Петербурга и Ленинградской области; Концепция их совместного градостроительного развития; Региональные и местные нормативы градостроительного проектирования Ленинградской области; Схема территориального планирования Всеволожского муниципального района и Стратегия его социально-экономического развития; Генеральный план и Правила землепользования и застройки Свердловского городского поселения; Программы комплексного развития его социальной и транспортной инфраструктуры и т.д.).

Основная часть. Учитывая современные тенденции развития мирового и отечественного градостроительства, цели в области устойчивого развития (ООН), национальные цели развития и проекты РФ, потребности населения и потенциал территорий, городская среда должна быть многофункциональной с ориентацией на формирование экологического (зелёного) каркаса, комфортного жилья, объектов спорта, здравоохранения, образования, культуры, туризма, науки, предпринимательства и трудоустройства, транспорта и т.д. [8, 13, 14]. Создание полноценной экологической и культурно-образовательной среды, что предполагает полицентрическая модель развития агломерации, необходимо для всестороннего развития личности [8, 13]. Именно комплексное освоение территорий является основным фактором их устойчивого развития [14, 15].

Комплексный предпроектный анализ, анализ планировочных ограничений территории включает:

1. ситуационный анализ на уровне Санкт-Петербургской агломерации и Всеволожского муниципального района (рис. 1) [1];

2. анализ на уровне Свердловского городского поселения (экологический и транспортный каркасы – рисунок 2; социально-культурный каркас – рисунок 3);

3. анализ на уровне деревни Новосаратовка и прилегающих к ней территорий (характеристика природных условий и транспортный каркас – рисунок 4; экологический и ландшафтный каркасы – рисунок 5; социально-культурный каркас и существующая застройка – рисунок 6; ландшафтно-визуальный анализ и промышленный каркас – рисунок 7).

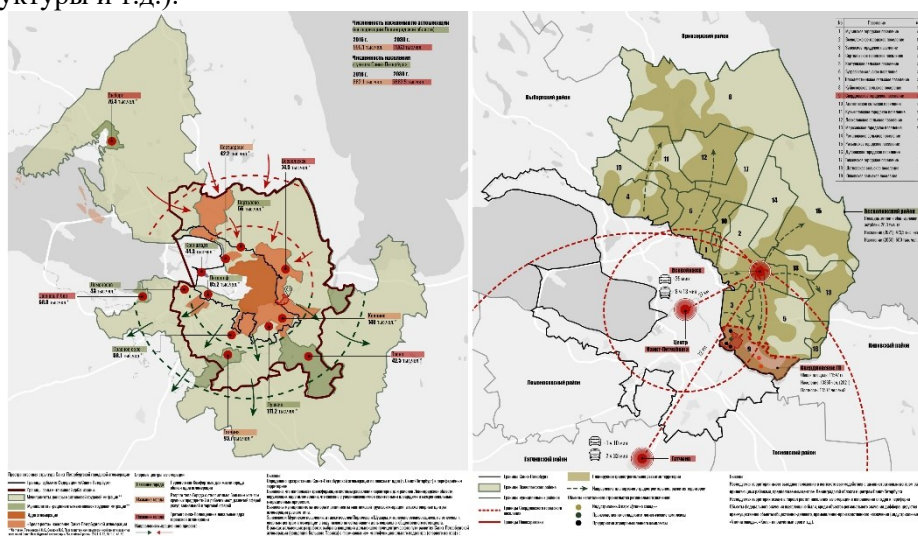


Рис. 1. Слева – схема пространственной структуры и трансформации Санкт-Петербургской агломерации; справа – ситуационная схема на уровне Всеволожского муниципального района

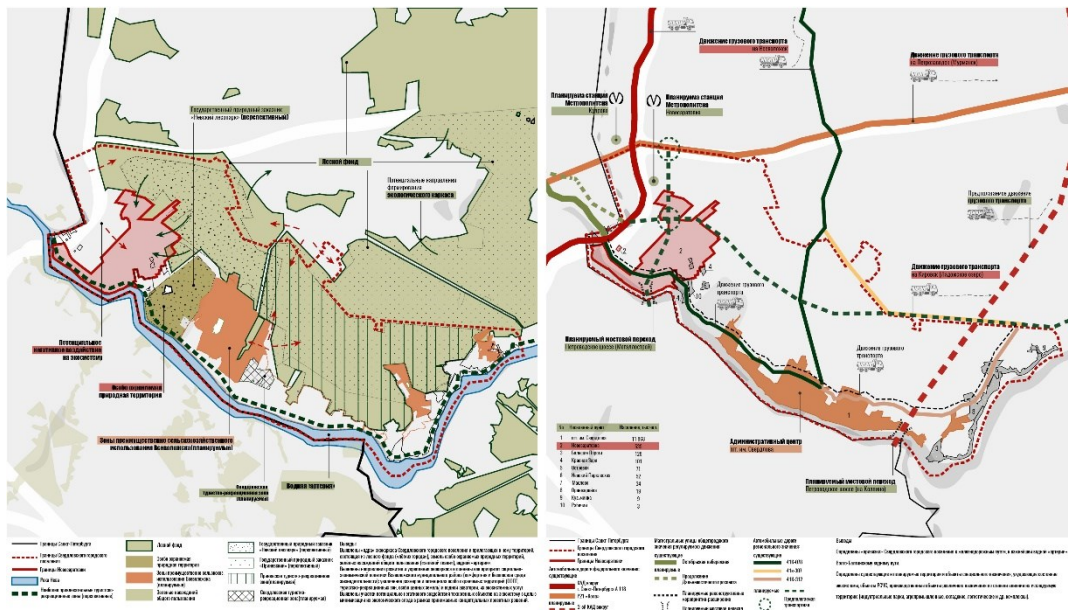


Рис. 2. Слева – схема экологического каркаса; справа – схема транспортного каркаса на уровне Свердловского городского поселения

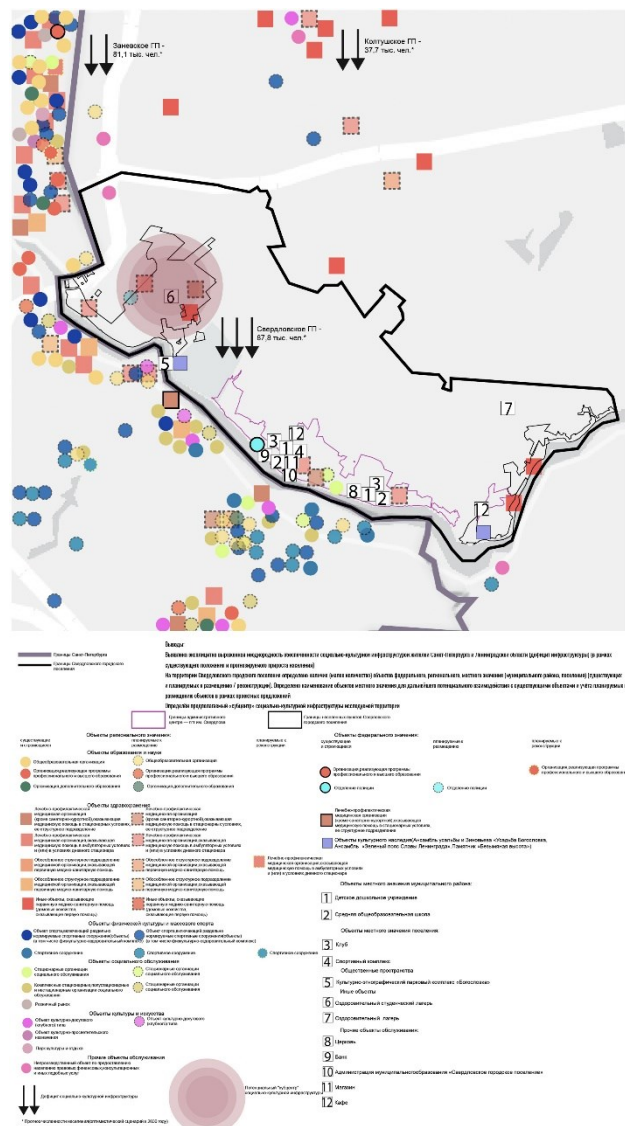


Рис. 3. Схема социально-культурного каркаса на уровне Свердловского городского поселения

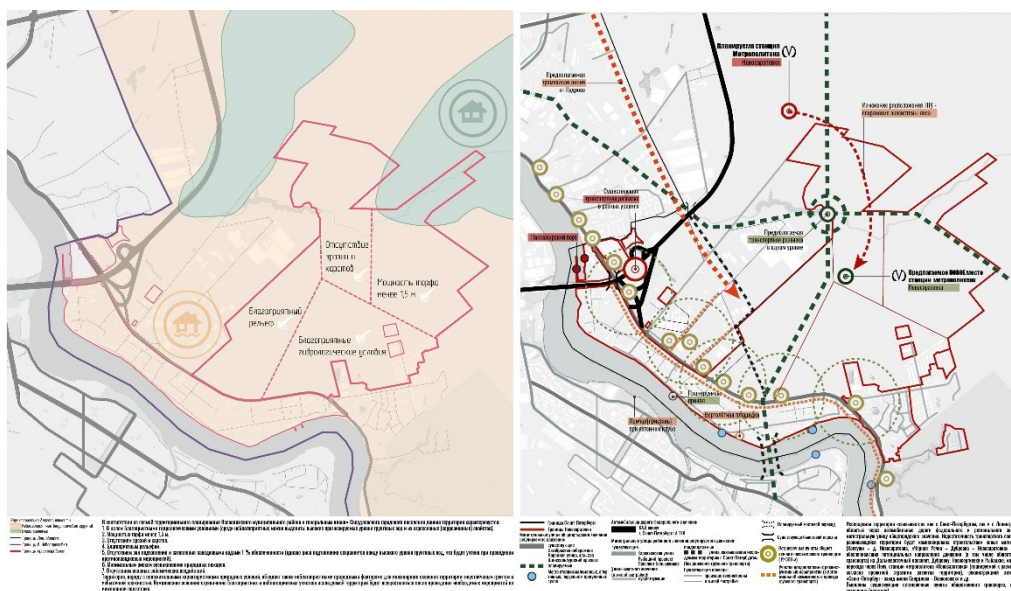


Рис. 4. Слева – схема оценки территории по благоприятности для капитального строительства; справа – схема транспортного каркаса на уровне деревни Новосаратовка

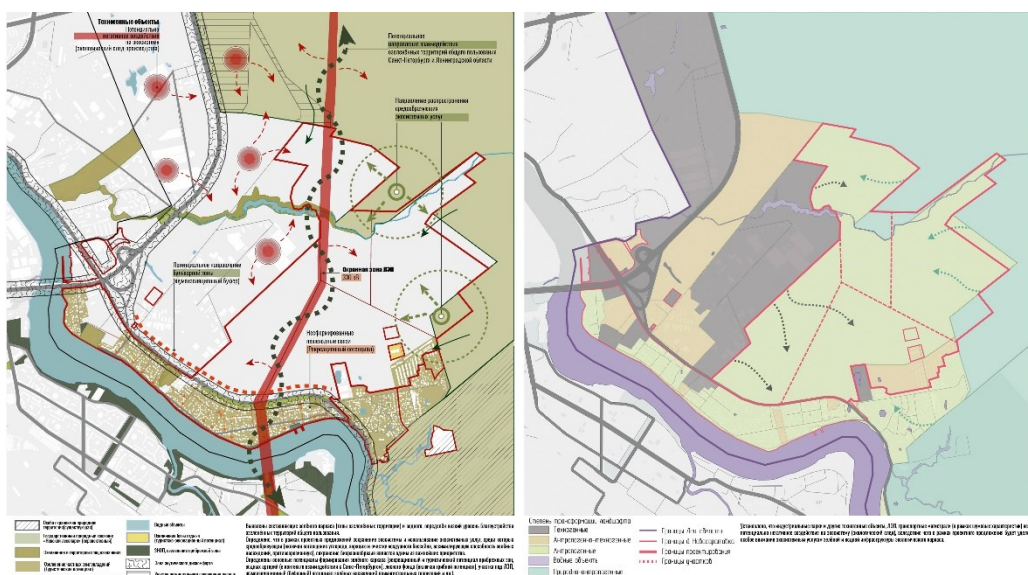


Рис. 5. Слева – схема экологического каркаса; справа – схема ландшафтно-градоэкологического анализа по степени трансформации ландшафтов

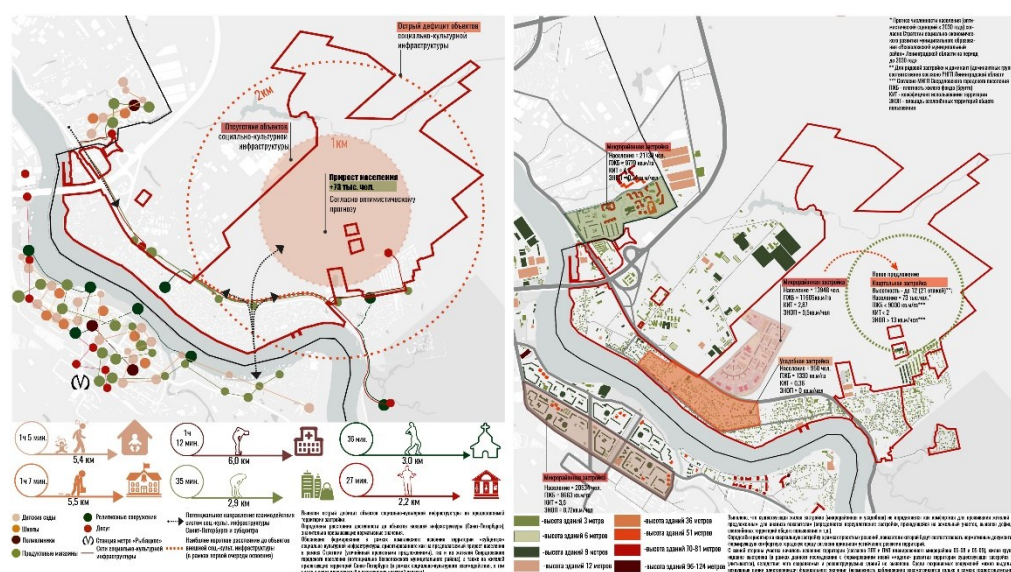


Рис. 6. Слева – схема социально-культурного каркаса; справа – схема существующей застройки

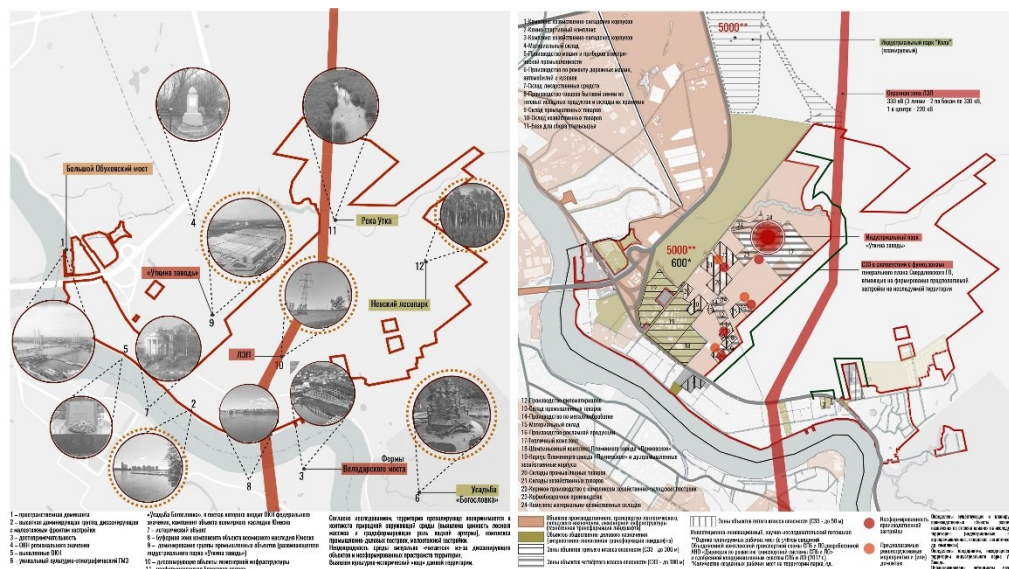


Рис. 7. Слева – схема ландшафтно-визуального анализа; справа – схема промышленного каркаса

Вследствие синтеза основных характеристик территории, выявленных по проведённым исследованиям, была составлена схема современного использования территории (рис. 8). Планируемое

функциональное зонирование территории исследования отображено на Генеральном плане Свердловского городского поселения (фрагмент – деревня Новосаратовка) – рисунок 8.

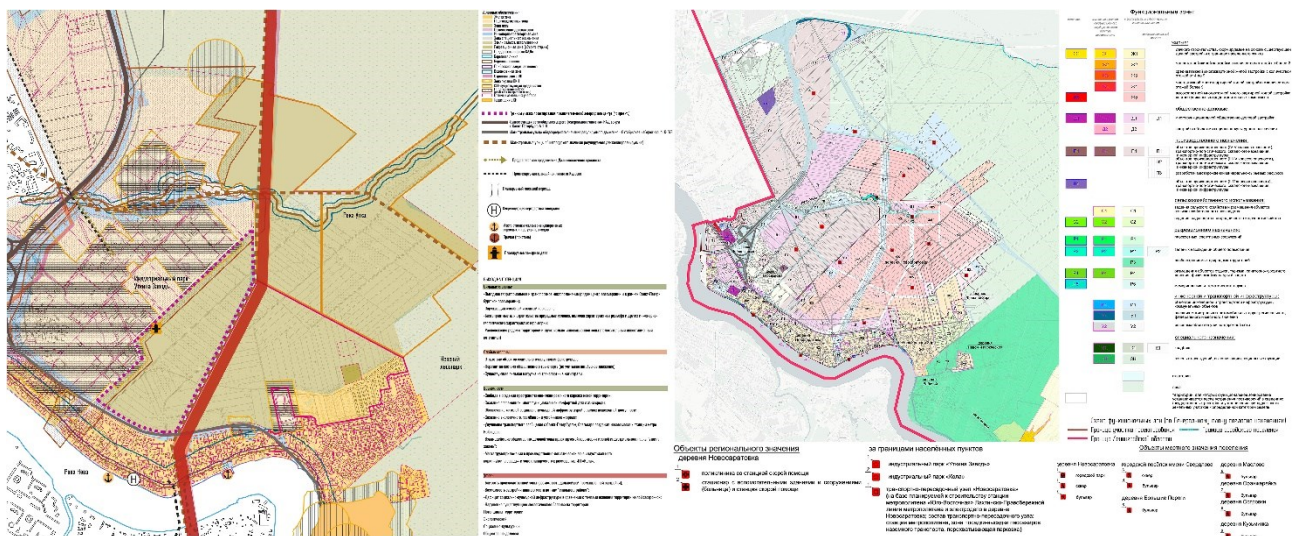


Рис. 8. Слева – схема современного использования территории; справа – Генеральный план Свердловского городского поселения. Карта функциональных зон (фрагмент – деревня Новосаратовка)

На основании вышеизложенного была сформирована модель подцентра, включающая 4 составляющие (рис. 9) [8]:

1 составляющая – Экологическая (основа для других составляющих):

- Создание устойчивого экологического каркаса (целостной системы из зелёных ядер различного масштаба и связей и водных объектов);
- Использование экосистемных услуг;
- Сбережение экосистемы (уменьшение экологического следа и выбросов углекислого газа).

2 составляющая – Общественная:

- Реализация концепции «15-минутного города»;
- Создание системы социально-культурного и общественно-делового каркасов;
- Развитие системы общественных пространств;
- Полицентричность и полифункциональность городской среды, ориентированной на разные категории населения.

3 составляющая – Комфортная жилая среда:

- Характеристики жилой квартальной застройки, обеспечивающие комфортное и здоровое проживание населения (согласно принципам устойчивого дизайна);

- Параметры пространственно-планировочной структуры проектируемой застройки – в соответствии с региональными нормативами градостроительного проектирования и европейским опытом (включая показатели высотности).

4 составляющая – Современная система транспортной мобильности:

- Приоритеты развития транспортной инфраструктуры – пешеходы / велосипедисты;

- Развитие велосипедного транспорта и средств индивидуальной мобильности с повышением мобильности населения;

- Развитие системы общественного транспорта;

- Удобная, проницаемая и безопасная улично-дорожная сеть.

Важно отметить, что для полноценного функционирования территории по представленной «модели» составляющие должны реализовываться совместно.

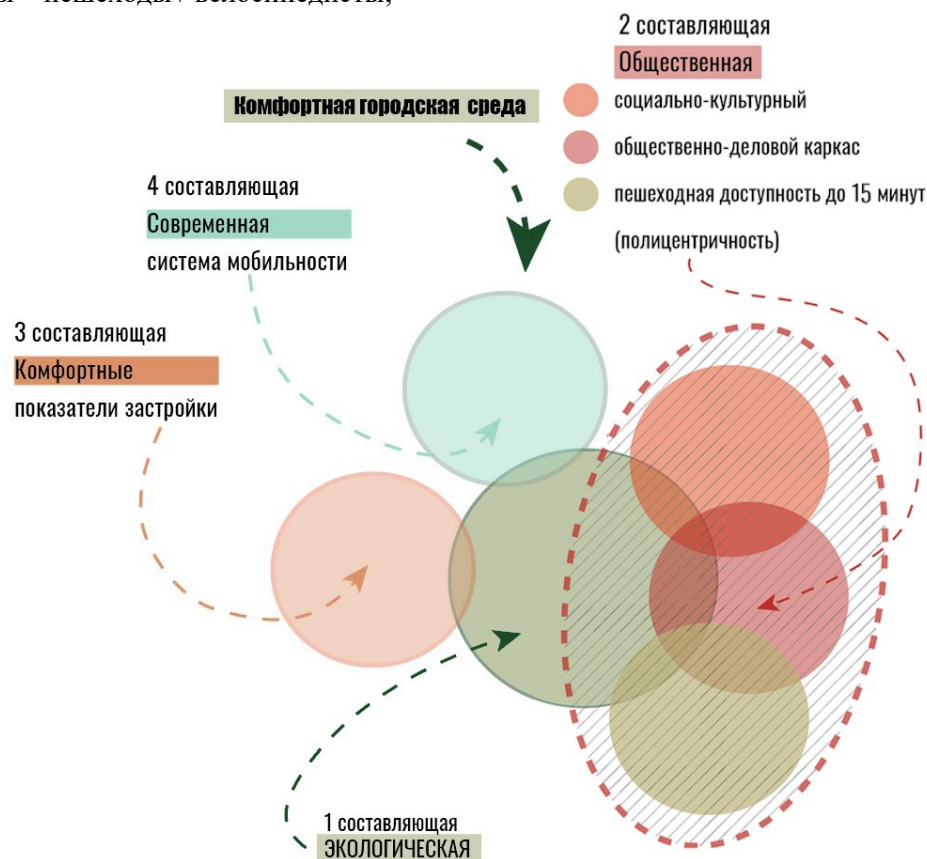


Рис. 9. Модель подцентра Санкт-Петербургской агломерации (на примере деревни Новосаратовка)

Одним из ключевых свойств модели является возможность её использования для комплексного пространственно-планировочного освоения подобных территорий агломерации как на уровне территории всего подцентра, так и различных элементов планировочной структуры. На уровне района/квартала описанные составляющие модели конкретизируются и подразделяются на подсоставляющие комфортной городской среды, раскрывающие и дополняющие характеристики каждой из 4 составляющих; разработка подсоставляющих является предметом отдельных углублённых локальных исследований по данной тематике.

Раскрытие той или иной составляющей модели на территории подцентра зависит от контекста, функционально-планировочной нагрузки его районов и характера их взаимодействия, при этом каждый из районов должен быть самодостаточным (со всеми составляющими модели).

Раскрытие такой важной составляющей модели, как общественная, будет рассмотрено в рамках формирования концептуального предложения по развитию территории предполагаемого общегородского центра деревни Новосаратовка (согласно авторскому предложению) с возможностью применения данной градостроительной концепции на территории других развивающихся населённых пунктов периферии агломерации (рис. 10) [1, 8, 15].

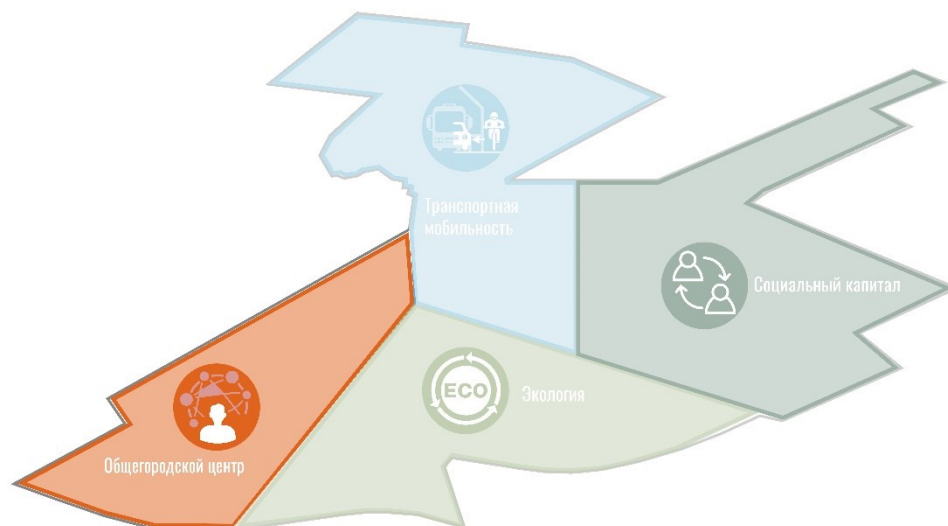


Рис. 10. Схема «Тематические программы развития районов (с отображением исследуемой – общественной)»

Иные составляющие в градостроительных концепциях развития других районов (экология, социальный капитал, транспортная мобильность) не рассматриваются, поскольку не являются предметом исследования в данной работе.

Основой для концептуального градостроительного предложения явились [8, 15, 16]:

1. Выгодное территориальное расположение общегородского центра, включая:

- транспортное взаимодействие как с другими районами нового мини-полиса Новосаратовка, так и с прилегающими районами Санкт-Петербурга при помощи системы магистральной улично-дорожной сети и общественного транспорта;
- примыкание к инвестиционно привлекательным производственно-логистическим объектам и местам трудоустройства (индустриальному парку);
- градостроительную роль пространственно-планировочной структуры центра в контексте окружающей среды.

2. Функциональная нагрузка общегородского центра, включая:

- ориентацию как на жителей смежных с ним территорий и всего подцентра, так и на жителей Свердловского поселения и Всеволожского района, близлежащих районов Санкт-Петербурга, на приезжающих гостей из других российских городов, на иностранных гостей и инвесторов;

- возможность создания уникальной, идентифицируемой городской ткани, открывающей и раскрывающей всю многогранность нового подцентра.

Исходя из вышеописанного, определено формирование территории общегородского центра в виде многофункциональной кластерной системы, в составе полицентрической структуры мини-полиса Новосаратовка с рядом функций моноцентрического ядра [16-18].

Предпосылками для концептуального предложения явилось назначение общегородского центра. Во-первых, это функциональное насыщение территории объектами периодического и эпизодического пользования с учётом потребностей различных категорий населения (рис. 11) [16, 19, 20].

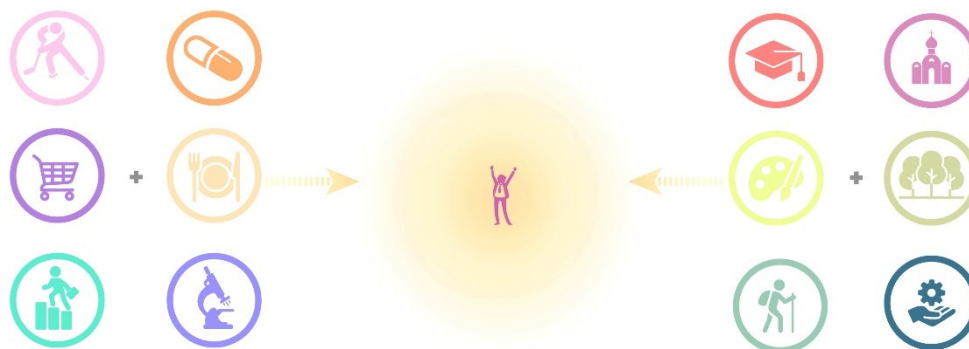


Рис. 11. Схема «Общегородской центр как функциональное ядро»

Во-вторых, это культурная функция. Современные «спальные» районы типовой застройки на новых периферийных территориях агломерации без общественного насыщения, к сожалению, «потеряли» свою идентичность, вследствие

чего первостепенной градостроительной задачей является создание для них культурного кода (рис. 12) [8, 16, 19].

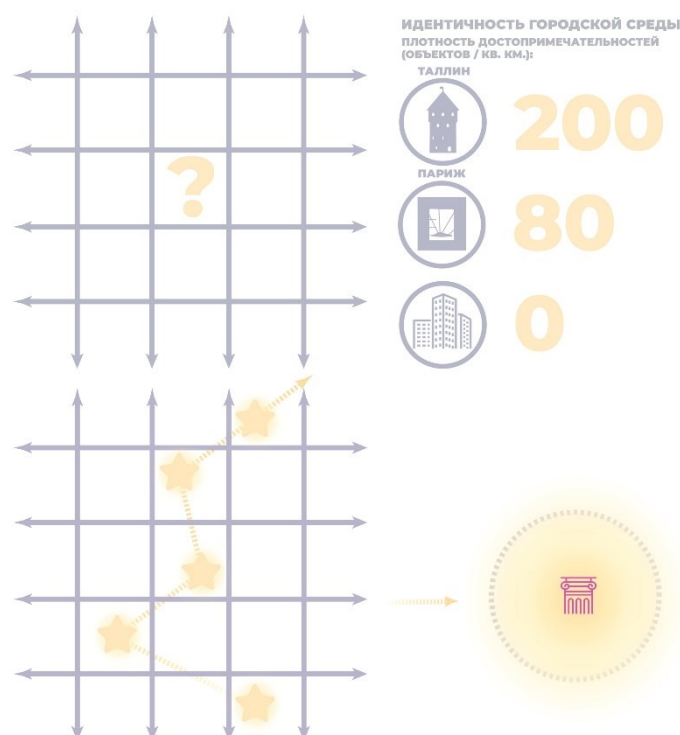


Рис. 12. Схема «Общегородской центр как культурное ядро»

Исторический центр – важная часть города. В процессе градостроительного развития на территории деревни Новосаратовка не сформировался исторический центр, в отличие от других населённых пунктов периферийной зоны агломе-

рации (рис. 13). Пути развития данных территорий были, безусловно, разными, но для дальнейшего устойчивого развития подцентра релевантно создать данный центр.

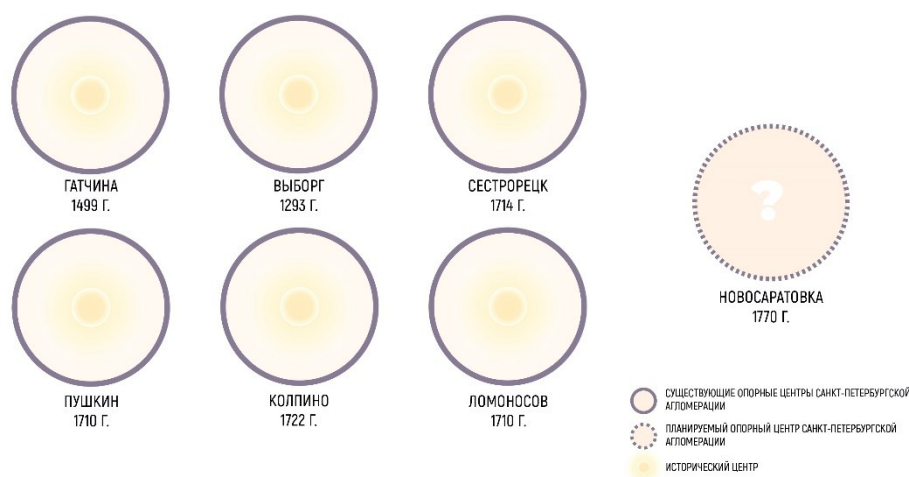


Рис. 13. Схема «Подцентры Санкт-Петербургской агломерации с историческими центрами и планируемый подцентр»

Общегородской центр, как несложившийся исторический центр деревни Новосаратовка, станет «сердцем» развития территории подцентра в

контексте взаимодействия с другими подцентрами Санкт-Петербургской агломерации (Санкт-Петербурга и Ленинградской области) (рис. 14) [1, 11, 15].

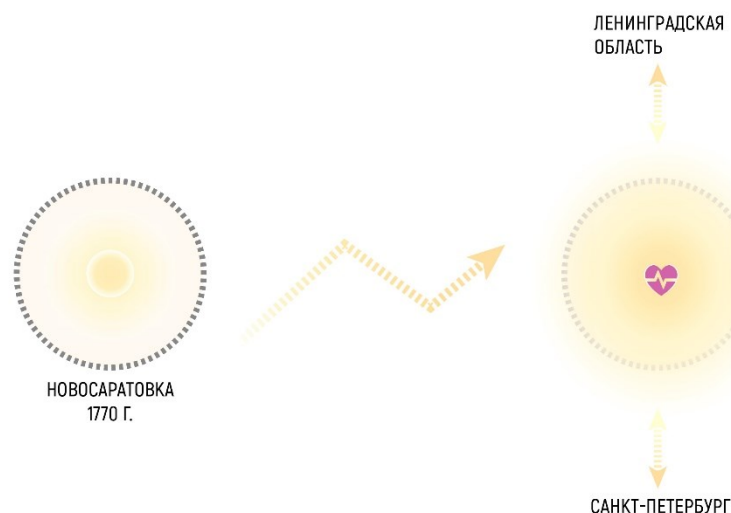


Рис. 14. Схема «Общегородской центр как «сердце» развития подцентра»

Для конкретизации концептуального предложения и перехода к кластерной системе было проведено исследование аналогов подобных территорий (зарубежных и российских) по принципу организации экологического и общественного каркасов.

При исследовании аналогов территории также учитывалось соответствие их всем основным составляющим «модели». По этому принципу для изучения организации экологического

каркаса были выбраны территории Ханинге (Швеция) и «город А-101 Север» (новая Москва, Новомосковский АО), а для общественного — территории Сколково (Одинцовский округ, Московская область) и также «город А-101 Север» (новая Москва, Новомосковский АО) с разработкой концепт-моделей соответствующих каркасов (рис. 15 и 16).



Рис. 15. Анализ аналогов подобных территорий по принципу организации экологического каркаса (Источник: а – <https://www.mandaworks.com/haninge-city>, б – <https://archi.ru/projects/russia/16020/gorod-a--sever>)



Рис. 16. Анализ аналогов подобных территорий по принципу организации общественного каркаса (Источник: а – https://gymnasium.sk.ru/city/p/general_plan.aspx, б – <https://archi.ru/projects/russia/16020/gorod-a--sever>)

Корреляцией описанных выше предпосылок и результатов проведённых аналитических исследований обусловлено концептуальное предложение по развитию общегородского центра,

которое можно условно представить в виде мозаики (рис. 17).



Рис. 17. Схема «Концептуальное предложение по развитию общегородского центра»

Одно из направлений развития субцентра дифференцируется как общественно-деловое, включающее в себя такое функциональное общественное насыщение, как наука, образование, сервисы/услуги, офисы/администрация, торговля, питание и рекреация как связующий элемент [8, 15, 16]. Общественно-деловой каркас

предлагается сформировать соответствующими ключевыми ядрами, образующими систему кластеров (научный и деловой), и сопутствующими локальными ядрами по направлениям транспортных артерий, новых связующих Санкт-Петербурга и Ленинградской области (в том числе через мостовой переход) (рис. 18) [8].

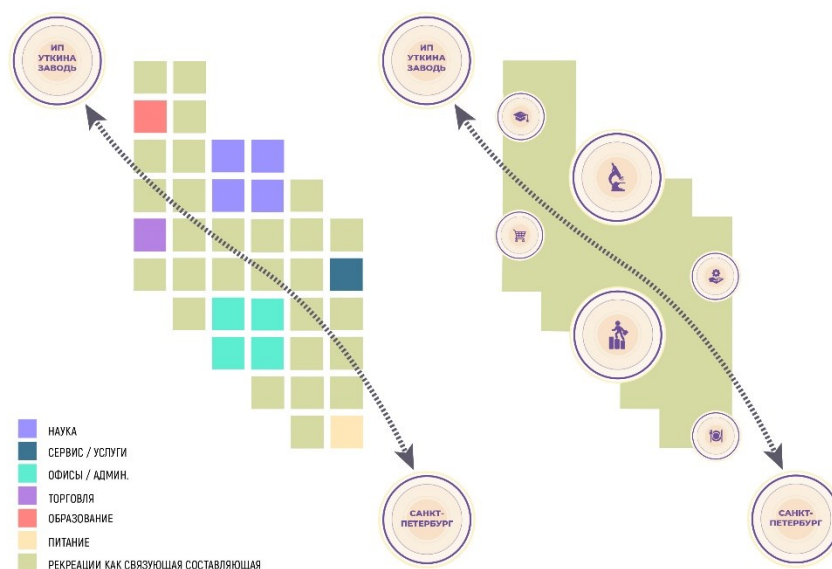


Рис. 18. Схема «Концепция общественно-делового каркаса»

Для уточнения принципов уже внутренней организации описанных кластеров (научного и делового) на базе изучения аналогов (инновационного центра «Сколково» и проектного предложения общественного центра территории «Зил-

Юг») были выявлены их характеристики с графическим отображением – с планировочными моделями (рис. 19).

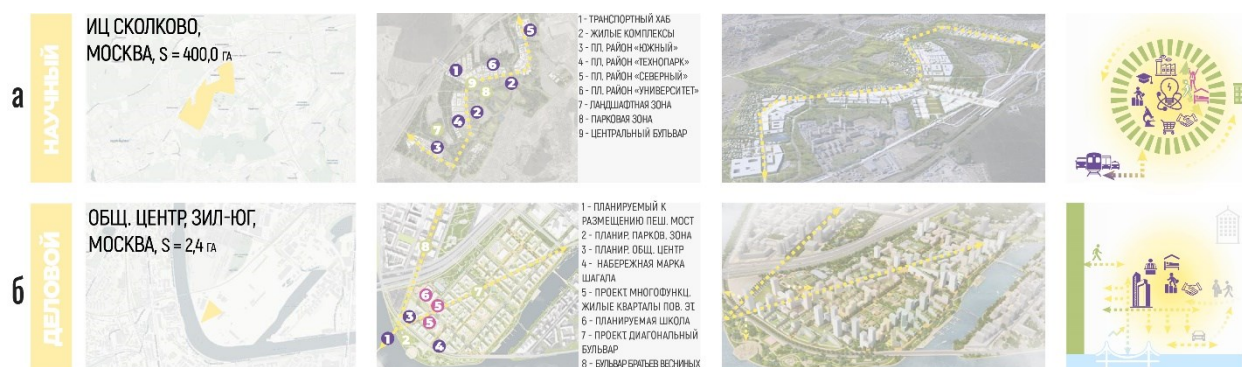


Рис. 19. Анализ аналогов кластеров:

а – научный; б – деловой

(Источник: а – <https://archi.ru/projects/russia/7857/innovacionnyi-centr-skolkovo-generalnyi-plan>
<https://archi.ru/projects/world/7018/genplan-innovacionnogo-centra-skolkovo>,
 б – <https://www.e-architect.com/moscow/zil-south-moscow-masterplan-by-ksap>)

Среди выявленных характеристик для научного кластера:

- научно-исследовательский образовательный центр – ядро кластера;
- взаимодействие с индустриальным парком и внешней транспортной инфраструктурой обеспечивает полноценное функционирование кластера;
- кластер как градостроительный ансамбль;
- кампус как важный элемент кластера;
- устойчивое развитие кластера обеспечивают окружающий зелёный каркас и применяемые зелёные технологии;
- примыкание к жилой застройке через бульварные артерии.

Для делового кластера:

- группа многофункциональных общественно-деловых, бизнес-комплексов – ядро кластера;
- мост как новый вектор развития;
- кластер как композиционная, пространственная, высотная доминанта на пересечении

новых магистралей в окружении застройки повышенной этажности;

- кластер как градостроительный ансамбль;
- формирование силуэта и образа застройки с учётом видовых характеристик;
- создание системы открытых общественных пространств;
- взаимодействие кластера с «активной» зелёной зоной;
- объекты размещения гостей и сотрудников кластера – неотъемлемый элемент.

Другое направление развития субцентра – социально-культурное, определяющееся таким функциональным насыщением, как культура, здравоохранение, религия, образование, туризм, спорт, питание, рекреация как связующий элемент [8, 19, 20]. Ядра социально-культурной инфраструктуры (открытые и закрытые общественные пространства), объединённые бульварной пешеходной осью, образуют полифункциональный социально-культурный каркас с двумя кластерами: культурным и спортивным (рис. 20) [8].

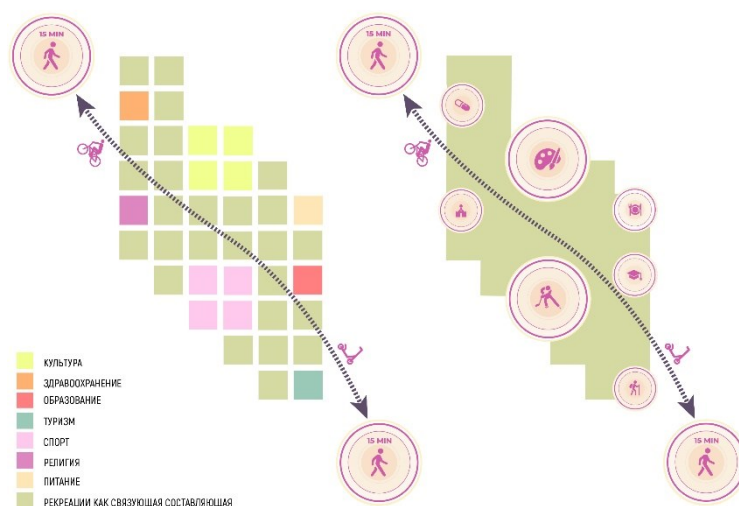


Рис. 20. Схема «Концепция социально-культурного каркаса»

На основе изучения пространственно-планировочного решения аналогов (территории парка «Зарядье» и «Парк Легенд») были выявлены сле-

дующие характеристики культурного и спортивного кластеров соответственно с их графическим отображением (рис. 21).



Рис. 21. Анализ аналогов кластеров:

а – культурный; б – спортивный

(Источник: а – <https://stroimsk.ru/park-zariad-ye>

<https://archi.ru/russia/51824/proekt-parka-zaryade-v-detalyakh>,

б – <https://masterskating.ru/rollers/mnogofunktsionalnyj-kompleks-tsska-arena/>

<https://www.behance.net/gallery/75582667/Park-of-Legend>)

Для культурного кластера можно выделить следующие характеристики:

- группа объектов культуры и досуга – ядро кластера;
- мостовой переход как элемент взаимодействия;
- кластер как градостроительный ансамбль;
- формирование пространственно-планировочной структуры кластера как уникального ландшафтно-градостроительного комплекса с учётом его визуального восприятия в окружающей городской среде;
- система рекреационных общественных открытых пространств и озеленения – основа кластера;
- многофункциональность;
- высокий уровень транспортной доступности (на общественном, личном транспорте и средствах индивидуальной мобильности);
- ориентация на активные потоки туристов и местных жителей;
- объекты размещения гостей/посетителей кластера – важный элемент.

Для спортивного кластера:

- объекты разных видов спорта с преобладанием основного вида – ядро кластера;
- кластер как градостроительный ансамбль и пространственная доминанта;

- ландшафтно-рекреационные, спортивно-игровые и событийные зоны в составе кластера и примыкающие к нему играют важную роль;
- многофункциональность;
- взаимодействие объектов спортивного и культурно-досугового, креативного, делового назначения для реализации потенциала обоих;
- высокий уровень транспортной доступности (на общественном, личном транспорте и средствах индивидуальной мобильности);
- ориентация на активные потоки спортсменов, болельщиков, гостей и местных жителей;
- объекты размещения спортсменов, тренеров, гостей/посетителей кластера – неотъемлемый элемент.

Общее концептуальное предложение по развитию территории общегородского центра соответствует модели подцентра, конкретизирует и раскрывает её в рамках общественной составляющей, подчёркивает важную роль функционального и культурного ядра (с учётом полицентрической структуры подцентра) (рис. 22).

На основании изложенных выше концептуальных предложений по развитию территории необходима корректировка генерального плана для населённого пункта (в части расположения улично-дорожной сети, положения функциональных зон, их пропорционального соотношения (с преобладанием зон общественно-делового и рекреационного назначения)) (рис. 23).

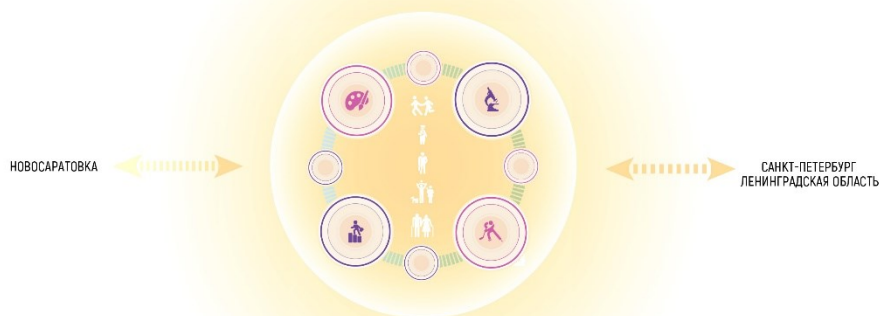


Рис. 22. Схема «Концепция развития территории общегородского центра»

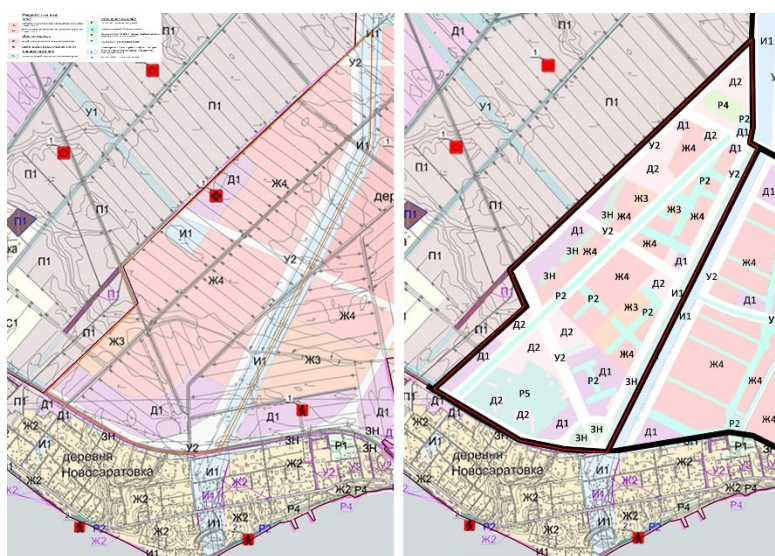


Рис. 23. Слева – существующее функциональное зонирование территории согласно генеральному плану; справа – проектное предложение по функциональному зонированию

Проектное пространственно-планировочное предложение по территории общегородского центра можно представить в виде системы раз-

личных проектных каркасов, корреляция которых образует единую полифункциональную зелёную городскую среду (рис. 24 и 25).



Рис. 24. Аксонометрический вид территории общегородского центра по проектному предложению



Рис. 25. Слева – проектные каркасы;
справа – проект планировки территории общегородского центра с эскизом застройки
(с аксонометриями характерных фрагментов ключевых открытых общественных пространств территории)

Заключение. В данной работе была предложена унифицированная модель подцентра, концептуальное и проектное (иллюстративное) предложение по развитию территории общегородского центра для их применения при комплексном освоении территорий населённых пунктов периферийной зоны Санкт-Петербургской агломерации. Важно сказать, что независимо от тематической программы развития района (квартала) в структуре подцентра (в соответствии с локальными особенностями, преимуще-

ствами и возможностями «места») на всех уровнях элементов планировочной структуры необходимо учитывать все составляющие (подсоставляющие) модели для создания комфортной городской среды и устойчивого развития территорий.

Благодарности. Автор выражает глубокую благодарность Колобовой Марии Валерьевне, Шило Арине Александровне, Урван Нионелле Васильевне за помощь в разработке предпроектных, аналитических градостроительных исследований.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Лачининский С.С., Сорокин И.С. Пространственная структура и особенности развития поселений Санкт-Петербургской агломерации // Балтийский регион. 2021. Т. 13. № 1. С. 48–69. doi: 10.5922/2079-8555-2021-1-3.
2. Резников И.Л. Выявление границ Санкт-Петербургской городской агломерации // Вестник Санкт-Петербургского университета. Науки о Земле. 2017. Т. 62. № 1. С. 89–103. doi: 10.21638/11701/spbu07.2017.106.
3. Лосин Л. А., Солодилов В. В. Территориальная структура Санкт-Петербургской городской агломерации // Региональная экономика и развитие территорий: Сборник научных статей. Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения. 2019. С. 180–186.
4. Монастырская М.Е., Песляк О.А. Методика определения границ городских агломераций // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2019. № 2. С. 111–121. doi: 10.12737/article_5c73fc21703586.16507052.
5. Олифир Д.И. Пространственное развитие Санкт-Петербургской агломерации. Москва: Общество с ограниченной ответственностью «Русайнс», 2022. 146 с.
6. Красовская О.В., Скатерщиков С.В. Вопросы определения границ и развития планировочной структуры крупнейших агломераций России применительно к схеме территориального планирования Санкт-Петербурга и Ленинградской области, включающей Санкт-Петербургскую городскую агломерацию // Архитектурный Петербург. 2018. № 3(58). С. 24–31.
7. Ходачек А.М. О Петербургской агломерации на основе концепции градостроительного развития // Экономика Северо-Запада: проблемы и перспективы развития. 2017. № 1. С. 35–47.
8. Зима А.Г., Шило А.А. Потенциалы и стратегии развития периферийных территорий Санкт-Петербургской агломерации (на примере деревни Новосаратовка) // Инженерный вестник Дона, 2022, № 7 URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n7y2022/7794.
9. Прохорская Е.Г. Принципы архитектурно-пространственной организации систем расселения в структуре Московской агломерации // Academia. Архитектура и строительство. 2013. № 3. С. 78–85.
10. Песляк О.А. Градостроительное планирование крупных урбанизированных территорий: на примере Санкт-Петербургской агломерации и Приневского урбанизированного региона: дис. ...канд. арх., спец. 2.1.13. Санкт-Петербург, 2021. 204 с.
11. Линов В.К. Принципы организации подцентров в Санкт-Петербургской полицентрической агломерации // Вестник гражданских инженеров. 2016. № 5. С. 28–35.
12. Поморов С.Б., Жуковский Р.С. Субцентры крупных и крупнейших городов России и мира. Новосибирск: Новосибирский государственный университет архитектуры, дизайна и искусств, 2019. 260 с.
13. Бухвальд Е.М. Национальные проекты в системе стратегического планирования в Российской Федерации // Теория и практика общественного развития. 2019. № 2. С. 50–54. doi: 10.24158/tipor.2019.2.8.
14. Челнокова В.М., Гуревич А.Б. Анализ проблем организации комплексного освоения территорий // Вестник гражданских инженеров. 2017. № 1. С. 161–166.
15. Бабенко С.В. Социально-экономические факторы комплексного освоения территорий в регионах России: дис. ...канд. эконом. наук, спец. 08.00.05. СПб, 2013. 134 с.
16. Жуковский Р.С. Формирование общественно-деловых субцентров крупных и крупнейших городов (на примере городов Западной Сибири): дис. ...канд. арх., спец. 05.23.22. Барнаул, 2018. 168 с.
17. Гайкова Л.В. Полицентризм как парадигма развития российских городов // Архитектон: известия вузов. 2015. № 2. С. 69–81.
18. Поморов С. Б., Жуковский Р. С. Анализ современных представлений о полицентрической структуре города // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2016. № 1. С. 67–79.
19. Поморов С. Б., Жуковский Р. С. Сравнительный анализ теоретических моделей общественно-деловых субцентров и центра города // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Прикладная экология. Урбанистика. 2016. № 2. С. 6–32. doi: 10.15593/2409-5125/2016.02.01.
20. Жуковский Р.С. Архитектурно-градостроительная типология общественно-деловых субцентров городов // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2017. № 1(60). С. 82–95.

Информация об авторах

Зима Андрей Георгиевич, магистрант кафедры градостроительства. E-mail: zimaandrei@mail.ru. Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет. Россия, 190005, Санкт-Петербург, 2-я Красноармейская ул., д. 4.

Поступила 04.09.2022 г.

© Зима А.Г., 2023

Zima A.G.

Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering

E-mail: zimaandrei@mail.ru

MODEL OF THE SUB-CENTER OF THE ST. PETERSBURG AGGLOMERATION (ON THE EXAMPLE OF NOVOSARATOVKA VILLAGE). DEVELOPMENT CONCEPT OF THE CITY CENTER

Abstract. Within the framework of this article, a pre-project urban planning analysis is carried out, including a situational analysis at the level of the St. Petersburg agglomeration, the Vsevolozhsky municipal district; a comprehensive analysis at the level of the Sverdlovsk urban settlement, the village of Novosaratovka and the territories adjacent to it. In result of the synthesis of the main characteristics of the territory, identified by the comprehensive urban planning analysis, a scheme of the modern use of the territory is drawn up. A unified «sub-center model» has been developed on the example of Novosaratovka with the possibility of its application in the integrated development of identical territories in the peripheral regions of the St. Petersburg agglomeration. The sub-center model is represented by four interrelated components: ecological (the basis for other components), public, comfortable living environment and a modern system of transport mobility. The disclosure of such an important component of the model as a public is considered as part of the formation of a conceptual proposal for the development of the territory of the proposed city center of the sub-center - the village of Novosaratovka (according to the author's proposal). The prerequisites of the concept and its structure (framework) – «cores» and connections in such areas as social and business (business, scientific clusters) and socio-cultural (cultural, sports clusters) with their characteristics are described. A town-planning design proposal for the territory of the city center has been presented.

Keywords: St. Petersburg agglomeration; polycentric model; peripheral territories; sub-center; the village of Novosaratovka; city center (subcenter); concept of territory development; project proposal.

REFERENCES

1. Lachininskiy S.S., Sorokin I.S. Spatial structure and features of the development of settlements in the St. Petersburg agglomeration [Prostranstvennaya struktura i osobennosti razvitiya poseleniy Sankt-Peterburgskoy aglomeratsii]. Baltic region. 2021. Vol. 13. No. 1. Pp. 48–69. doi: 10.5922/2079-8555-2021-1-3. (rus)
2. Reznikov I.L. Revealing the boundaries of the St. Petersburg urban agglomeration [Vyyavlenie granits Sankt-Peterburgskoy gorodskoy aglomeratsii]. Bulletin of the St. Petersburg University. Earth Sciences. 2017. Vol. 62. No. 1. Pp. 89–103. doi: 10.21638/11701/spbu07.2017.106. (rus)
3. Losin L.A., Solodilov V.V. Territorial structure of the St. Petersburg urban agglomeration [Territorial'naya struktura Sankt-Peterburgskoy gorodskoy aglomeratsii]. Regional economy and development of territories: Collection of scientific articles. St. Petersburg: St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation. 2019. Pp. 180–186. (rus)
4. Monastyrskaya M.E., Peslyak O.A. Methodology for determining the boundaries of urban agglomerations [Metodika opredeleniya granits gorodskikh aglomeratsiy]. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2019. No. 2. Pp. 111–121. doi: 10.12737/article_5c73fc21703586.16507052. (rus)
5. Olifir D.I. Spatial development of the St. Petersburg agglomeration [Prostranstvennoe razvitie Sankt-Peterburgskoy aglomeratsii]. Moscow: Limited Liability Company «Rusigns». 2022. 146 p. (rus)
6. Krasovskaya O.V., Skatershchikov S.V. Issues of determining the boundaries and developing the planning structure of the largest agglomerations of Russia in relation to the scheme of territorial planning of St. Petersburg and the Leningrad Region, including the St. Petersburg urban agglomeration [Voprosy opredeleniya granits i razvitiya planirovochnoy struktury krupneyshikh aglomeratsiy Rossii primenitel'no k skheme territorial'nogo planirovaniya Sankt-Peterburga i Leningradskoy oblasti, vkluchayushchey Sankt-Peterburgskuyu gorodskuyu aglomeratsiyu]. Architectural Petersburg. 2018. No. 3(58). Pp. 24–31. (rus)
7. Khodachek A.M. On the Petersburg agglomeration based on the concept of urban development [O Peterburgskoy aglomeratsii na osnove kontseptsii gradostroitel'nogo razvitiya]. Economy of the North-West: problems and development prospects. 2017. No. 1(53-54). Pp. 35–47. (rus)
8. Zima A.G., Shilo A.A. Potentials and strategies for the development of peripheral territories of the St. Petersburg agglomeration (on the example of the village of Novosaratovka) [Potentsialy i strategii

razvitiya periferiynykh territoriy Sankt-Peterburgskoy aglomeratsii (na primere derevni Novosaratovka)]. Don Engineering Gazette. 2022. No. 7. ivdon.ru/ru/magazine/archive/n7y2022/7794, free. (rus)

9. Prokhorskaya E.G. Principles of architectural and spatial organization of settlement systems in the structure of the Moscow agglomeration [Printsipy arkhitekturno-prostranstvennoy organizatsii sistem rasseleniya v strukture Moskovskoy aglomeratsii]. Academy. Architecture and construction. 2013. No. 3. Pp. 78–85. (rus)

10. Peslyak O.A. Urban planning of large urbanized territories: on the example of the St. Petersburg agglomeration and Prinevskiy urbanized region [Gradostroitel'noe planirovanie krupnykh urbanizirovannykh territoriy: na primere Sankt-Peterburgskoy aglomeratsii i Prinevskogo urbanizirovannogo regiona: dis. ...kand. arkh., spets. 2.1.13.]. St. Petersburg, 2021. 204 p. (rus)

11. Linov V.K. Principles of organization of sub-centers in the St. Petersburg polycentric agglomeration [Printsipy organizatsii podtsentrov v Sankt-Peterburgskoy politsestricheskoy aglomeratsii]. Bulletin of Civil Engineers. 2016. No. 5(58). Pp. 28–35. (rus)

12. Pomorov S.B., Zhukovskiy R.S. Subcenters of large and largest cities in Russia and the world [Subtsentry krupnykh i krupneyshikh gorodov Rossii i mira]. Novosibirsk: Novosibirsk State University of Architecture, Design and Arts. 2019. 260 p. (rus)

13. Bukhval'd E.M. National projects in the system of strategic planning in the Russian Federation [Natsional'nye proekty v sisteme strategicheskogo planirovaniya v Rossiyskoy Federatsii]. Theory and practice of social development. 2019. No. 2(132). Pp. 50–54. doi: 10.24158/tipor.2019.2.8. (rus)

14. Chelnokova V.M., Gurevich A.B. Analysis of the problems of organizing integrated development of territories [Analiz problem organizatsii

kompleksnogo osvoeniya territoriy]. Bulletin of Civil Engineers. 2017. No. 1(60). Pp. 161–166. (rus)

15. Babenko S.V. Socio-economic factors of the integrated development of territories in the regions of Russia [Sotsial'no-ekonomicheskie faktory kompleksnogo osvoeniya territoriy v regionakh Rossii: dis. ...kand. ekonom. nauk, spets. 08.00.05.]. St. Petersburg, 2013. 134 p. (rus)

16. Zhukovskiy R.S. Formation of social and business subcenters of large and largest cities (on the example of cities in Western Siberia) [Formirovanie obshchestvenno-delovykh subtsentrov krupnykh i krupneyshikh gorodov (na primere gorodov Zapadnoy Sibiri): dis. ...kand. arkh., spets. 05.23.22.]. Barnaul, 2018. 168 p. (rus)

17. Gaykova L.V. Polycentrism as a paradigm for the development of Russian cities [Politsentrizm kak paradigma razvitiya rossiyskikh gorodov]. Architecton: news of universities. 2015. No. 2(50). Pp. 69–81. (rus)

18. Pomorov S.B., Zhukovskiy R.S. Analysis of modern ideas about the polycentric structure of the city [Analiz sovremennykh predstavleniy o politsestricheskoy strukture goroda]. Bulletin of the Tomsk State University of Architecture and Civil Engineering. 2016. No. 1(54). Pp. 67–79. (rus)

19. Pomorov S.B., Zhukovskiy R.S. Comparative analysis of theoretical models of social and business subcenters and the city center [Sravnitel'nyy analiz teoreticheskikh modeley obshchestvenno-delovykh subtsentrov i tsentra goroda]. Bulletin of the Perm National Research Polytechnic University. Applied Ecology. Urbanistics. 2016. No. 2(22). Pp. 6–32. doi: 10.15593/2409-5125/2016.02.01. (rus)

20. Zhukovskiy R.S. Architectural and urban planning typology of social and business subcenters of cities [Arkhithekturno-gradostroitel'naya tipologiya obshchestvenno-delovykh subtsentrov gorodov]. Bulletin of the Tomsk State University of Architecture and Civil Engineering. 2017. No. 1(60). Pp. 82–95. (rus)

Information about the authors

Zima, Andrey G. Master's student of the Department of Urban Development. E-mail: zimaandrei@mail.ru. Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering. Russia, 190005, Saint Petersburg, 2nd Krasnoarmeyskaya st., 4.

Received 04.09.2022

Для цитирования:

Зима А.Г. Модель подцентра Санкт-Петербургской агломерации (на примере деревни Новосаратовка). Концепция развития общегородского центра // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2023. № 3. С. 67–83. DOI: 10.34031/2071-7318-2022-8-3-67-83

For citation:

Zima A.G. Model of the sub-center of the st. petersburg agglomeration (on the example of Novosaratovka village). Development concept of the city center. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2023. No. 3. Pp. 67–83. DOI: 10.34031/2071-7318-2022-8-3-67-83

DOI: 10.34031/2071-7318-2022-8-3-84-96

Обласов Ю.А., *Брюхов Г.В., Хусаинова А.А.

Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет

*E-mail: oblako2001@yandex.ru

ФОРМИРОВАНИЕ И ТИПОЛОГИЗАЦИЯ ОБЩЕСТВЕННЫХ КЛАДБИЩ В XVII-XX ВВ. НА ТЕРРИТОРИИ САНКТ-ПЕТЕРБУРГА В КОНТЕКСТЕ ОБЩЕЕВРОПЕЙСКИХ ТЕНДЕНЦИЙ

Аннотация. Кладбища всегда сопровождали человечество. Внешний вид и масштабы кладбищ менялись с течением исторического процесса, неизменным оставалось одно – они соседствовали с поселениями людей в той или иной форме. Благодаря ускорившемуся процессу урбанизации с началом промышленной революции, рост городов стремительно усилился, что повлекло за собой поглощение кладбищ городами и менее крупными населёнными пунктами. Оказавшиеся окружёнными городской средой, они – молчаливые свидетели прошлого, оказались исключены из неё, в большинстве своём утратив функцию мест погребения. В данной статье проведён анализ истории развития территорий общественных кладбищ Санкт-Петербурга в XVII-XX веках в контексте единого культурного Европейского пространства. Проведён анализ эволюции образности восприятия кладбища с течением времени и относительно территориального развития города. Выявлены типы кладбищ, формировавшихся и существовавших в этот период времени, установлены взаимосвязи между типами, а также влияние общественных и культурных тенденций на формирование этих типов. На основе исследования сделаны выводы о целесообразности применения выведенной типологии в качестве основы для ревитализации исторических кладбищ России, а также установлена возможность использования Европейского опыта при работе с данным типом территорий.

Ключевые слова: кладбище, ревитализация, реконструкция кладбищ, развитие территорий кладбищ, исторические кладбища.

Вступительная часть. Кладбище в своей сути тесно связано с понятием Мест памяти (фр. «lieux de mémoire»), выведенным Пьером Нора. «Места памяти – это останки. Крайняя форма, в которой существует коммеморативное сознание в истории, игнорирующей его, но нуждающейся в нем. Деритуализация нашего мира заставила появиться это понятие. Это то, что скрывает, облачает, устанавливает, создает, декретирует, поддерживает с помощью искусства и воли сообщество, глубоко вовлеченное в процесс трансформации и обновления, сообщество, которое по природе своей ценит новое выше старого, молодое выше дряхлого, будущее выше прошлого. Музеи, архивы, кладбища, коллекции, праздники, годовщины, трактаты, протоколы, монументы, храмы, ассоциации – все эти ценности в себе – свидетели другой эпохи, иллюзии вечности» [1]. Основываясь на этом определении, становится ясно то, что кладбища необходимы для людей, как места осознания себя, как части группы, прошедшей исторический путь развития и становления. Группа эта может быть какого угодно размера, начиная от семьи и заканчивая всем человечеством.

В археологической среде есть понимание того, что погребальные комплексы не в полной мере отражают бытовую сторону жизни людей, но для некрополей XVI – нач. XX вв. мы уверенно можем сказать, что погребальный обряд

является закономерным продолжением культурно-бытовой и религиозной традиции этого периода. Желание показать свой статус и состояние было естественно присуще людям даже после смерти, поэтому надмогильные сооружения многих известных исторических личностей представляют ценность не только культурно-историческую, но и архитектурную, так как являются произведениями определённых архитектурных стилей, образующими своеобразные ансамбли, с большим вниманием созданные архитекторами и скульпторами прошлого.

Под историческими кладбищами, в связи с отсутствием определения, в статье понимаются те кладбища, которые появились до 1917 года и в значительной степени сохранили планировочную структуру и/или среду, сформированную исторически.

Актуальность. Ни в российской, ни в зарубежной литературе не удалось обнаружить какой-либо структурированной типологии территорий исторических кладбищ. Исследования исторических некрополей с целью ревитализации практически не проводились ранее, что связано с неоднозначным и консервативным отношением людей к этому типу территорий. Целенаправленные исследования начались во второй половине 2010-х годов, и проводились в основном, в социально-психологическом ключе, при отсутствии методологической и теоретической базы для работы с конкретным типом городских территорий.

Таким образом, исторические кладбища, занимающие немалые пространства в городах, практически полностью исключены из общей архитектурно-социальной среды, являясь, в сущности, историческими, архитектурными и геологическими музеями под открытым небом. Сохраняя в себе память о людях, событиях, ритуально-обрядовой и культурной деятельности людей в прошлом, они медленно разрушаются, и сведения об этой стороне жизни пропадают.

Вопрос об интеграции кладбища в городскую среду связан с растущей урбанизацией и является одним из ключевых в развитии городских территорий с начала XX века. В результате роста городов, старинные некрополи, некогда находившиеся на окраинах или вовсе далеко за пределами поселений, оказались включены в городскую ткань, однако не полностью в неё интегрированы с точки зрения функционального использования. Массовые захоронения часто не производятся, а исторические памятники разрушаются, происходит **выпадение территорий**. В то же время, новые кладбища растут с каждым годом, и вопрос об их интеграции в структуру города может появиться уже в ближайшие 50–100 лет.

Понимая типологию и эволюционный процесс развития кладбищ XVIII – нач. XX века мы сможем сделать выводы о проблемах некрополей, дошедших до нашего времени на территориях человеческих поселений, а также разработать комплексы мер по их решению, основываясь на историческом контексте и первоначальном замысле архитекторов при проектировании кладбищ, а также естественно сложившемся процессе формирования территорий, которые будут учитываться при реконструкции среды и комплексной ревитализации территорий кладбищ.

Цель – выявление типов исторических кладбищ и процессов, способствовавших их формированию в XVIII – XX вв., с целью дальнейшего применения при комплексной ревитализации.

Задачи:

1. Выявление специфики исторических кладбищ в Российской Федерации на примере Санкт-Петербурга.
2. Изучение и типологизация исторических кладбищ в контексте Европейской культурной традиции.
3. Формирование вывода о возможности применения Европейского опыта ревитализации кладбищ на основе исторического контекста.

Основная часть. До основания Петербурга в 1703 году на территории Ингерманландии кладбища были представлены участками при церквях. В городе Ниене археологически были обнаружены 2 кладбища, одно на церковной территории

в городе, другое примыкало к крепостной церкви [2]. Расположение при храмах даёт повод обозначить эти некрополи, как **приходские**, то есть находящиеся при определённой церкви, на которых хоронили её прихожан. После захвата и разрушения города, кладбища, скорее всего оказались заброшены и со временем исчезли.

К началу 18 века мы можем выделить 3 типа некрополей, характерных для нового Петербурга – **приходской, общегородской и монастырский**.

Одними из первых кладбищ в Санкт-Петербурге стали православное и немецкое кладбища при церкви святого Сампсона, открытые в 1711 году [3] и ставшие **общегородскими**. На них хоронили состоятельных людей и солдат со всего города. Немецкое Сампсониевское кладбище было предназначено для представителей различных христианских неправославных конфессий: католиков, лютеран, кальвинистов, англиканцев и т.д. На нём были похоронены многие известные строители города и учёные: Доменико Трезини, Андреас Шлютер, Георг-Иоганн Маттарнови, Жан-Батист Леблон, Николай Фёдорович Гербель, Бартоломео Карло Растрелли, Луи Каравак, Лаврентий Лаврентиевич Блюментрост [4, 5].

На кладбище **при** Александро-Невском **монастыре**, возникшем в 1713 году, погребения могли позволить только самые богатые и именитые члены Российского общества – дворяне, министры, члены царской семьи, так как погребения совершались только при наличии специального указа. Отдельно в типологии стоят **кладбища для погребения умерших при госпиталях и больницах**, как старое Богословское кладбище, которые нельзя считать приходскими, но и общегородскими в то время можно назвать с трудом.

Следующим этапом развития территорий кладбищ становится появление **кластеров из нескольких кладбищ** для погребения умерших от эпидемий, а затем и представителей различных вероисповеданий по соседству. Это решение было продиктовано эпидемией оспы 1768 года – из-за погребения погибших людей в поселениях, кладбища сами становились источником распространения болезни, поэтому старые кладбища закрывались, а новые открывались уже за пределами городов [6, 7]. Так формируются кластеры Волковского, Смоленского (как конгломерата кладбищ), Большеохтинского некрополей. Следующим подобным толчком станет эпидемия холеры 1830-1831 гг., в результате которой появится Митрофаньевское кладбище. Такие кластеры будут иметь общегородское значение, и по мере их переполнения будут открываться новые

некрополи похожей структуры, такие как новое Богословское кладбище.



Рис. 1. Сампсониевское кладбище на плане Николаса де Фера 1717 года.
[Источник: http://www.etomesto.ru/map-peterburg_1717/?ysclid=lcamsr0e7h310904116]

В XIX веке происходит слияние кластерной структуры и общегородской функции. В результате распространения и улучшения качества медицины, большее количество людей стало умирать в больницах и лечебницах. В 1871 году в соответствии с указом Александра II [7] были открыты несколько кладбищ нового формата – Преображенское и Парголово. Кластерная структура сочеталась с общегородской функцией, как и ранее, но кладбище с самого начала имело примитивный проект устройства, что означало переход от естественного роста и развития территории некрополя к

идее изначальной организации пространства [8].

Эта тенденция коррелирует с Европейской практикой того времени. Например, Центральное кладбище Вены, открытое в 1874 году, имеет одну из самых масштабных планировочных структур среди Европейских некрополей, заложенную с самого начала проектирования архитекторами Карлом Милиусом и Альфредом Блунчли [9]. При этом, на Петербургских кладбищах с начала XIX века происходит формирование пейзажных планировок на уже существующей базе.



Рис. 2. План центрального кладбища Вены
[Источник: http://katboreal.com/wp-content/uploads/2016/05/09_gruen_gr.jpg]

Тенденция к усилению пейзажности кладбища и осознанию необходимости благоустройства территорий некрополей в целом была характерна для XIX века. Основа для этой тенденции была заложена в период романтизма. Ярчайшими образцами изобразительного искусства этой

эпохи можно назвать произведения Каспара Давида Фридриха «Кладбище», «Аббатство в дубовом лесу» (рис. 3-4), в которых смерть и некрополь, как её вместилище, выступают в живописной, естественной роли.



Рис. 3. «Кладбище» (1825 г.)

[Источник: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Caspar_David_Friedrich_053.jpg#/media/File:Caspar_David_Friedrich_053.jpg]



Рис. 4. «Аббатство в дубовом лесу» (1809-1810 гг.)

[Источник: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/3/32/Caspar_David_Friedrich_-_Abtei_im_Eichwald_-_Google_Art_Project.jpg]



Рис. 6. Никольское кладбище Александро-Невской лавры. Санкт-Петербург
[Источник: <https://vita-colorata.livejournal.com/319446.html>]

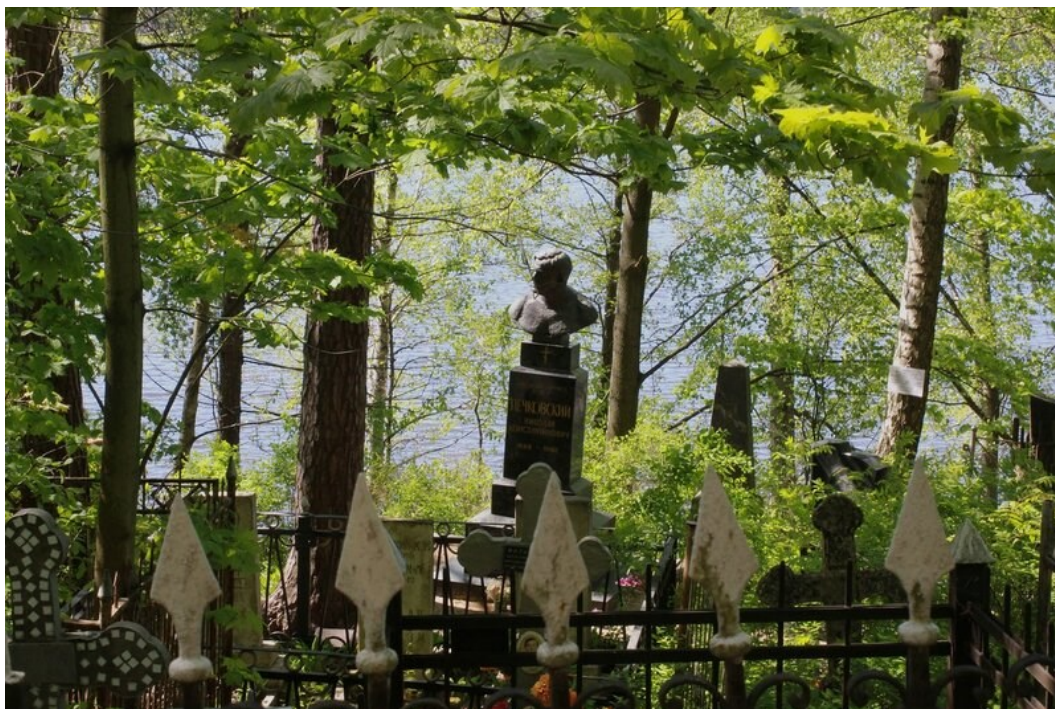


Рис. 7. Шуваловское кладбище. Санкт-Петербург
[Источник: <https://popuga.livejournal.com/2718789.html>]

Все три причины в сумме способствуют появлению таких кладбищ как в России, так и в странах Европы. Стеснённость и как следствие, малая вероятность появления новых мест под захоронение или запустения уже существующих могил создавали основу для элитарности и пре-

стижности некрополя, за могилами следили родственники или обслуживающие кладбища организации. Многие из таких некрополей в современном мире являются музеями, так как расположены в самых красивых и престижных местах, а люди, похороненные на них, в своё время сильнейшим образом оказали влияние на всемирный

исторический процесс. Примером таких некрополей помимо Лазаревского, могут служить

кладбище Пер-Лашез в Париже, Кладбище де Симиез в Ницце, Вышеградское кладбище в Праге (рис. 8–11) [11].



Рис. 8. Лазаревское кладбище Александро-Невской лавры
[Источник: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/5/5a/Lazarev_Cemetery_1.jpg]

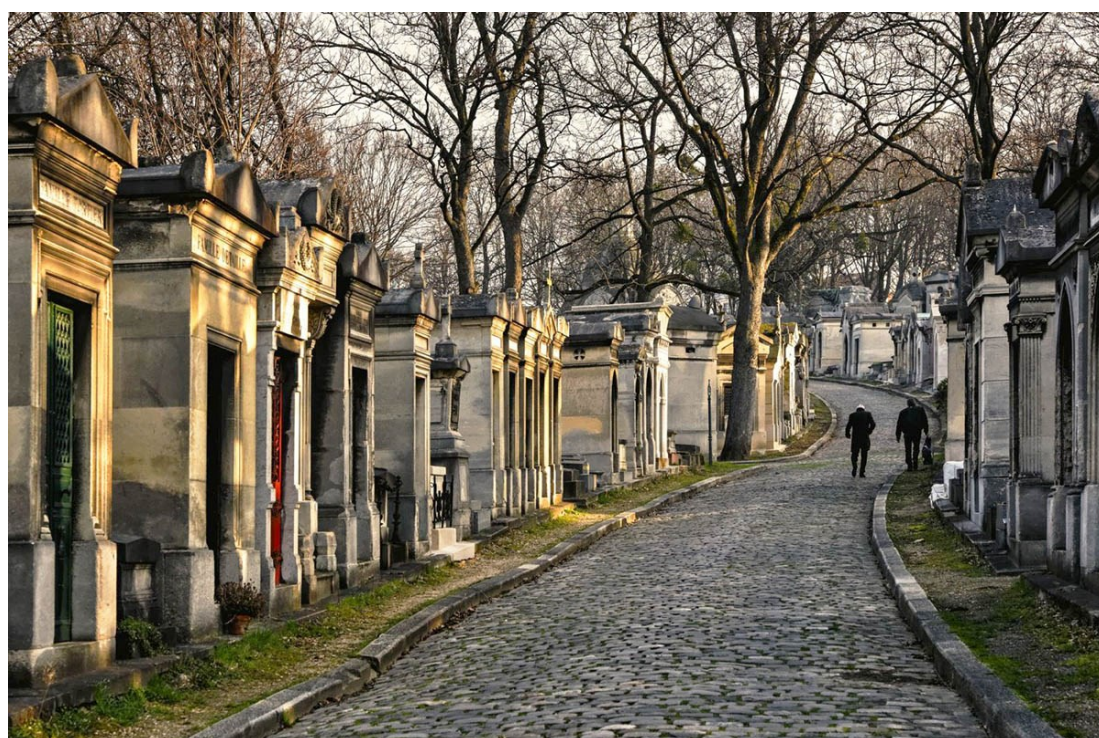


Рис. 9. Кладбище Пер-Лашез. Париж
[Источник: <https://timetraveling.ru/images/paris/9-veshei/05-pere-lachaise.jpg>]



Рис. 10. Кладбище де-Симьез. Ницца [Источник: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/f/f9/Cimeti%C3%A8re_Colline_du_Ch%C3%A2teau_Nice.JPG]



Рис. 11. Вышеградское кладбище. Прага
[Источник: <https://yelkz.livejournal.com/596176.html?replyto=3815120>]

Отдельно можно выделить **кладбище-рощу** или **кладбище-луг**. Данный тип некрополя происходит от приходского Европейского кладбища, когда небольшая церковная территория, как пра-

вило, лишённая растительности в виде кустарников и деревьев, больше напоминала луг с могильными камнями. Такие примеры можно увидеть в Великобритании, северной Франции, Бельгии, Германии и странах Скандинавии. Дальнейшее

развитие некрополь-луг получает при масштабировании этого простого принципа от приходского на общегородской уровень и часто пересекается с кладбищем-парком, как одна из его ландшафтных зон. Новый этап развития этого типа некрополя начался после Первой мировой войны. Тогда встал вопрос об оформлении воинских захоронений и увековечивании памяти о жертвах Великой войны. [12] Согласно Версальскому договору, каждая страна была официально ответственна за содержание воинских захоронений на своей территории [13], но соответствующим странам погибших солдат, как правило, предоставлялась свобода самостоятельно проектировать и строить военные кладбища. Большинство

архитекторов после Первой мировой войны пытались создать мемориалы, которые были бы, как описывает историк культуры Джей Уинтер, благородными, возвышенными, трагичными и бесконечно печальными. [12] Этой цели во многом отвечала природа – луг (на кладбищах служащих стран Антанты) (рис. 12) или дубовая роща (на кладбищах служащих Центральных держав) (рис. 13), с хорошей просматриваемостью и без ярких цветовых акцентов, где на фоне природы рядами располагаются кресты или надгробные камни. Эта композиция позволяла оценить масштаб и ужас прошедшей войны. Немецкое военное кладбище близ Сологубовки под Петербургом можно отнести к типу кладбища-луга.



Рис. 12. Воинское кладбище в Вердене. Франция [Источник: <https://mixyfotos.ru/%D0%BA%D0%BB%D0%B0%D0%B4%D0%B1%D0%B8%D1%89%D0%B0-%D1%81%D0%BE%D0%BB%D0%B4%D0%B0%D1%82-%D1%84%D0%BE%D1%82%D0%BE/>]

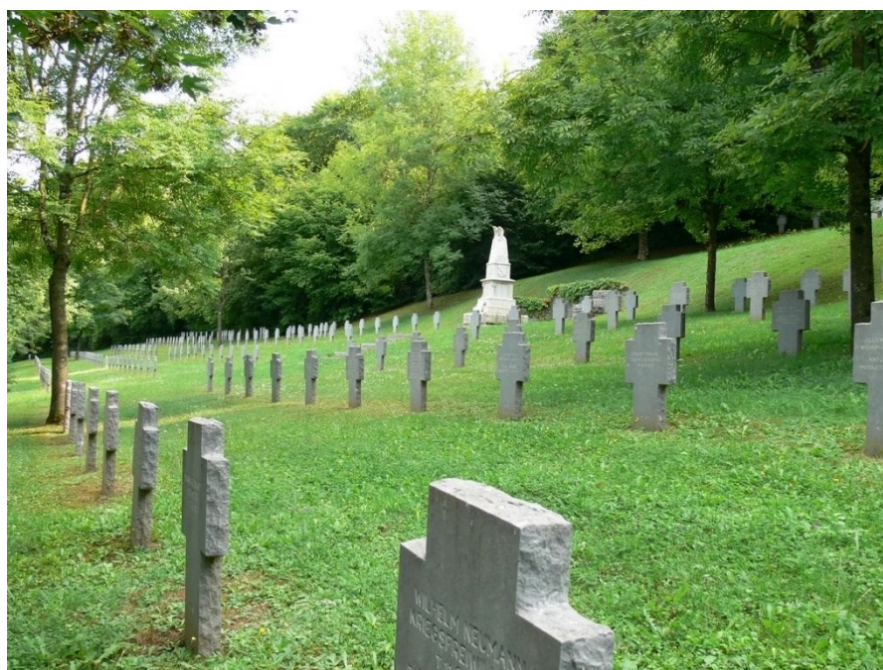


Рис. 13. Немецкое воинское кладбище в департаменте Буйонвиль. Франция [Источник: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/d/d8/F54_Bouillonville_cimet%C3%A8re-allemand.JPG?uselang=ru]

Возвышенность восприятия, просматриваемость, неброская красота природы и её максимальная естественность легли в основу создания кладбищ, в том числе и мемориальных, уже в XX веке, ярко воплотившись в Финских лесных клад-

бищах (рис. 14), которые скорее похожи на живописную рощу, чем на густой лес. В этом и заключается типологическое отличие таких кладбищ от кладбища-леса, идущего корнями в своей идейной основе к эпохе романтизма и описанного выше.



Рис. 14. Кладбище в Сортавале. Финляндия

[Источник: <https://pora-valit.livejournal.com/3706180.html?replyto=462199364>]

При этом, функциональное назначение не было ограничено исключительно захоронениями. Кладбища ещё со средних веков выступали в роли общественных мест, таких как рынки [14], места отправления культа (катакомбы христиан в Риме) или площадки для проведения праздничных гуляний, связанных с поминовением родственников [15]. Подобное двойственное отношение, связанное с мистически-религиозными понятиями о смерти и одновременно с использованием кладбищ для общественных собраний, по крайней мере в России, сохранялось вплоть до начала XX века.

Выводы.

1. В ходе исследования выявлен ряд типов кладбищ, характерных для общеевропейской культурной традиции.

2. Российские исторические кладбища, формировавшиеся в единой Европейской культурной среде (характерно для Санкт-Петербурга), схожи типологически с европейскими некрополями.

3. Восприятие кладбищ, как своеобразных парковых или рекреационных зон, складывалось исторически. В контексте этого восприятия происходила эволюция типов некрополей, отвечающая запросам того или иного исторического периода.

4. Планировочная структура кладбищ развивалась на протяжении XVIII-XX вв. от хаотичной

к организованной ортогональной. При том, ортогональность проявлялась как в планировке участков, так и в расположении надмогильных сооружений.

5. Проведённое исследование позволит учитывать исторически сложившуюся типологию кладбищ при проведении ревитализации.

6. Благодаря единству культурной среды, схожему процессу формированию кладбищ и общности типов некрополей, при разработке методов и подходов для ревитализации Российских исторических кладбищ целесообразно будет использовать Европейский опыт с учётом адаптации в соответствии с Российским законодательством и реалиями.

7. На основе выведенной типологии возможна разработка собственных новых методов и подходов к ревитализации территорий исторических кладбищ.

Источник финансирования. Грант на выполнение научно-исследовательских работ обучающимися СПбГАСУ от 23.12.2021.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Нора П., Озуф М., Ж. де Пюимеж, Винок М. Франция-память / Проблематика мест памяти. СПб.: Изд-во С.-Петербур. ун-та, 1999. 333 с.

2. Сорокин П.Е. О застройке города Ниена XVII в. По историческим и археологическим данным [Электронный ресурс]. Систем. требования: AdobeAcrobatReader. URL: https://www.kunstkamera.ru/files/lib/Skandinavskite18/978-5-88431-351-4_6.pdf?ysclid=la5t0pl6in578292766 (дата обращения: 05.09.2022)

3. Богданов А.И. Описание Санкт-Петербурга : Полное издание уникального российского историко-географического труда середины XVIII века / Северо-Западная Библийская Комиссия С.-Пб.: С-Петербургский филиал Архива РАН, 1997. 414 с.

4. Гусенцова Т. М., Добрынина И. Н. Путешествие по Выборгской стороне. СПб.: Изд-во Остров, 2007. 240 с.

5. Пекарский П.П. История Императорской академии наук в Петербурге / [соч.] Петра Пекарского. СПб.: издание Отд-ния рус. яз. и словесности Императорской акад. наук, 1870-1873. 774 с.

6. Правительствующий сенат. Указ от 24 декабря 1771 года «О сношении губернаторов и воевод с духовными правительствами по отводу мест для кладбищ и построения церквей», Полное собрание законов Российской империи, с 1649 года. СПб.: Типография II отделения Собственной Его Императорского Величества канцелярии, 1830. Т. XIX. 1770–1774. № 13.724. с. 409.

7. Александр II. Полное собрание законов Российской империи / Об устройстве кладбищ в С.-Петербурге. Собрание второе. СПб.: Типография II отделения Собственной Его Императорского Величества канцелярии, 1874. Т. XLVI. Отделение второе. 1871, № 50058. с. 410–411.

8. Мерц И. Городское преображенское кладбище с приёмной станцией для покойников в Санкт-Петербурге // Зодчий. 1873. № 1. С. 42–44.

9. Communal- Zeitung / Friedhofspläne // Neue Freie Presse. Morgenblatt. 1871. №2421. с. 7. [Электронный ресурс]. URL: [https://anno.onb.ac.at/cgi-](https://anno.onb.ac.at/cgi-content/anno?aid=nfp&datum=18710523&seite=7&zoom=35)

[content/anno?aid=nfp&datum=18710523&seite=7&zoom=35](https://anno.onb.ac.at/cgi-content/anno?aid=nfp&datum=18710523&seite=7&zoom=35) (дата обращения: 11.10.2022). (нем.)

10. Правительство Санкт-Петербурга. Комитет по государственному контролю, использованию и охране памятников истории и культуры. распоряжение от 13 декабря 2018 года N 519-р / О включении выявленного объекта культурного наследия в единый государственный реестр объектов культурного наследия (памятников истории и культуры) народов Российской Федерации в качестве объекта культурного наследия регионального значения "Смоленское лютеранское кладбище", об утверждении границ и режима использования территории объекта культурного наследия [Электронный ресурс]. Систем. Требования: AdobeAcrobatReader. URL: <https://docs.cntd.ru/document/551978865?marker=7DM0KC> (дата обращения: 01.11.2022)

11. Dlabikova I., Frolikova-Palanova K., Perinkova M. Revitalisation of historic public cemeteries in central zones of urban areas / WIT Transactions on Ecology and The Environment // The Sustainable City XII. 2017. Vol. 223. Pp. 147–158.

12. Уинтер Дж., Николаи Ф.В. Места памяти и тени войны // Вестник Мининского университета. 2016. № 1-2.

13. Ключников Ю.В., Сабанин А. Версальский мирный договор. Полный перевод с французского подлинника под редакцией проф. Ю.В. Ключникова и Андрея Сабанина со вступительной статьей проф. Ю. В. Ключникова и предметным указателем. Москва. Изд-ие Литиздата НКВД. 1925. с. 198.

14. Ariés P. The hour of our death., Prague: Argo, 2000. 86 с.

15. Пропп В.Я. Русские аграрные праздники. Л.: Изд-во ЛГУ, 1963. 165 с.

Информация об авторах

Обласов Юрий Александрович, старший преподаватель кафедры архитектурного и градостроительного наследия. E-mail: archrick@yandex.ru. Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет. Россия, 190005, г. Санкт-Петербург, 2-я Красноармейская ул., д.4.

Брюхов Григорий Владимирович, бакалавр кафедры архитектурного и градостроительного наследия. E-mail: oblako2001@yandex.ru. Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет. Россия, 190005, г. Санкт-Петербург, 2-я Красноармейская ул., д.4.

Хусаинова Александра Андреевна, бакалавр кафедры архитектурного и градостроительного наследия. E-mail: a.a.khsainova@gmail.com. Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет. Россия, 190005, г. Санкт-Петербург, 2-я Красноармейская ул., д.4.

Поступила 20.10.2022 г.

© Обласов Ю.А., Брюхов Г.В., Хусаинова А.А., 2023

Oblasov Y.A., *Bryukhov G.V., Khusainova A.A.
St. Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering
**E-mail: oblako2001@yandex.ru*

FORMATION AND TYPOLOGATION OF PUBLIC CEMETERIES IN THE XVII-XX CENTURIES ON THE TERRITORY OF ST. PETERSBURG IN THE CONTEXT OF PAN-EUROPEAN TRENDS

Abstract. *Cemeteries have always accompanied humanity. The appearance and scale of the cemeteries has changed over the course of the historical process, but one thing remains unchanged - they are adjacent to human settlements in one form or another. The accelerated process of urbanization with the beginning of the Industrial Revolution led to the rapid growth of cities. This led to the absorption of cemeteries by cities and smaller settlements. Cemeteries are surrounded by an urban environment and are excluded from it. They are silent witnesses of the past, who have lost the functions of burial places. This article analyzes the history of the development of public cemeteries in St. Petersburg in the 17th-20th centuries in the context of a single cultural European space. The analysis of the evolution of the imagery perception of the cemetery over time and in relation to the territorial development of the city is carried out. The types of cemeteries that are formed and existed during this period are identified; the relationship between the types is established, as well as the influence of social and cultural trends on the formation of these types. Based on the study, conclusions are drawn about the feasibility of using the derived typology as a basis for the revitalization of historical cemeteries in Russia. In addition, the possibility of using European experience when working with this type of territory is established.*

Key words: *cemetery, revitalization, reconstruction of cemeteries, development of cemeteries, historical cemeteries.*

REFERENCES

1. Nora P., Ozouf M., J. de Puymezh, Vinok M. France-memory. Problems of places of memory [Franciya-pamyat'. Problematika mest pamyati]. St. Petersburg: Publishing House of St. Petersburg. unta, 1999. 333 p.
2. Sorokin P.E. On the development of the city of Nyen in the 17th century. According to historical and archaeological data [O zastroyke goroda Niena XVII v. Po istoricheskim i arheologicheskim dannym]. [Electronic resource]. System. Requirements: Adobe Acrobat Reader. URL: https://www.kunstkamera.ru/files/lib/Skandinavskite18/978-5-88431-351-4_6.pdf?ysclid=la5t0pl6in578292766 (date of treatment: 09.05.2022)
3. Bogdanov A.I. Description of St. Petersburg. Complete edition of the unique Russian historical and geographical work of the middle of the XVIII century. Northwest Bible Commission. [Opisanie Sanktpeterburga: Polnoe izdanie unikal'nogo rossijskogo istoriko-geograficheskogo truda serediny XVIII veka. Severo-Zapadnaya Biblejskaya Komissiya.] S.-Pb.: St. Petersburg Branch of the Archive of the Russian Academy of Sciences, 1997. 414 p.
4. Gusentsova T.M., Dobrynina I.N. Journey along the Vyborg side. [Puteshestvie po Vyborgskoj storone.] St. Petersburg: Izd-vo Ostrov, 2007. 240 P.
5. Pekarsky P.P. History of the Imperial Academy of Sciences in St. Petersburg. [op.] Peter Pekarsky. [Pekarskij P.P. Istoriya Imperatorskoj akademii nauk v Peterburge. [coch.] Petra Pekarskogo.] St. Petersburg: edition of the Department of Russian. lang. and literature of the Imperial Acad. Sciences, 1870-1873. 774 p.
6. Governing Senate. Decree of December 24, 1771 "On the relationship of governors and voivodes with spiritual governments on the allotment of places for cemeteries and the construction of churches", Complete collection of laws of the Russian Empire, from 1649. [Ukaz ot 24 dekabrya 1771 goda «O snoshenii gubernatorov i vovod s duhovnymi pravitel'stvami po otvodu mest dlya kladbishch i postroeniya cerkvej», Polnoe sobranie zakonov Rossijskoj imperii, s 1649 goda.] SPb.: Printing house of the II branch of His Imperial Majesty's Own Chancellery, 1830. T. XIX. 1770-1774. No. 13.724. p. 409.
7. Alexander II. Complete collection of laws of the Russian Empire. On the arrangement of cemeteries in St. Petersburg. Meeting second. [Polnoe sobranie zakonov Rossijskoj imperii. Ob ustrojstve kladbishch v S.-Peterburge. Sobranie vtoroe.] - St. Petersburg.: Printing house of the II department of His Imperial Majesty's Own Chancellery, 1874. Vol. XLVI. Section two. 1871, No. 50058. Pp. 410-411.
8. Merz I. City Transfiguration Cemetery with a reception station for the dead in St. Petersburg [Gorodskoe preobrazhenskoe kladbishche s priyomnoj stanciej dlya pokojnikov v Sankt-Peterburge]. The Architect. 1873. No. 1. Pp. 42-44.
9. Communal Newspaper. Cemetery Plans. New Free Press. morning paper. 1871. - №2421. p. 7

URL: <https://anno.onb.ac.at/cgi-content/anno?aid=nfp&datum=18710523&seite=7&zoom=35> (accessed 10/11/2022). (de)

10. Government of St. Petersburg. Committee for state control, use and protection of historical and cultural monuments. ORDER dated December 13, 2018 N 519-r. On the inclusion of the identified object of cultural heritage in the unified state register of cultural heritage objects (monuments of history and culture) of the peoples of the Russian Federation as an object of cultural heritage of regional significance "Smolensk Lutheran cemetery", on the approval of borders and regime of use of the territory of the object of cultural heritage [Rasporyazhenie ot 13 dekabrya 2018 goda N 519-r. O vkluchenii vyyavlen-nogo ob"ekta kul'turnogo naslediya v edinyj gosudarstvennyj reestr ob"ektov kul'turnogo naslediya (pamyatnikov istorii i kul'tury) narodov Rossijskoj Federacii v kachestve ob"ekta kul'turnogo naslediya regional'nogo znacheniya "Smolenskoe lyuteranskoe kladbishche", ob utverzhdenii granic i rezhima ispol'zovaniya territorii ob"ekta kul'turnogo naslediya] [Electronic resource]. System. Requirements: Adobe Acrobat Reader. URL:

<https://docs.cntd.ru/document/551978865?marker=7DM0KC> (date of access: 11/01/2022)

11. Dlabikova I., Frolikova-Palanova K., Perinkova M. Revitalization of historic public cemeteries in central zones of urban areas. WIT Transactions on Ecology and The Environment. The Sustainable City XII. 2017 Vol. 223.Pp. 147–158.

12. Winter J., Nicolai F.V. Places of memory and shadows of war. [Mesta pamyati i teni vojny.]. Bulletin of Minin University. 2016. No. 1-2.

13. Klyuchnikov Yu.V., Sabanin A. Versailles peace treaty. Full translation from the French original, edited by prof. Yu. V. Klyuchnikov and Andrey Sabanin with an introductory article by prof. Yu. V. Klyuchnikov and subject index. [Versal'skij mirnyj dogovor. Polnyj perevod s francuzskogo podlinnika pod redakciej prof. Yu.V. Klyuchnikova i Andrey Sabanina so vstupitel'noj stat'ej prof. YU. V. Klyuchnikova i predmetnym ukazatelem.] Moscow. Publishing house Litizdat NKID. 1925. 198 p.

14. Aries P., The hour of our death., Prague: Argo, 2000. 86 p.

15. Propp V.Ya. Russian agricultural holidays. [Russkie agrarnye prazdniki.]. L.: Publishing house of Leningrad State University, 1963. 165 p.

Information about the authors

Oblasov, Yury A. Senior Lecturer of the Department of Architectural and Urban Planning Heritage. E-mail: archrick@yandex.ru. St. Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering. Russia, 190005, St. Petersburg, 2nd Krasnoarmeyskaya st., 4.

Bryukhov, Grigory V. Bachelor of Architectural and Urban Heritage Department. E-mail: oblako2001@yandex.ru. St. Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering. Russia, 190005, St. Petersburg, 2nd Krasnoarmeyskaya st., 4.

Khusainova, Alexandra A. Bachelor of Architectural and Urban Heritage Department. Email: a.a.khsainova@gmail.com. St. Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering. Russia, 190005, St. Petersburg, 2nd Krasnoarmeyskaya st., 4.

Received 20.10.2022

Для цитирования:

Обласов Ю.А., Брюхов Г.В., Хусаинова А.А. Формирование и типологизация общественных кладбищ в XVII–XX вв. на территории Санкт-Петербурга в контексте общеевропейских тенденций // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2023. № 3. С. 84–96. DOI: 10.34031/2071-7318-2022-8-3-84-96

For citation:

Oblasov Y.A., Bryukhov G.V., Khusainova A.A. Formation and typologation of public cemeteries in the xviii-xx centuries on the territory of st. petersburg in the context of pan-european trends. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2023. No. 3. Pp. 84–96. DOI: 10.34031/2071-7318-2022-8-3-84-96

DOI: 10.34031/2071-7318-2022-8-3-97-110

**Супранович В.М., Сафронова А.Д.*

Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет

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

ТЕНДЕНЦИИ ФОРМООБРАЗОВАНИЯ МУСОРОПЕРЕРАБАТЫВАЮЩИХ ОБЪЕКТОВ. ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ И ИХ ВЛИЯНИЕ НА АРХИТЕКТУРУ МПО

Аннотация. В статье рассмотрена актуальная проблема интеграции мусороперерабатывающих объектов (МПО) в городскую структуру. Цель работы – выявление тенденций формообразования МПО и формулировка рекомендаций по включению данных объектов в контекст среды Санкт-Петербурга. В рамках НИР 2022 на кафедре Архитектурного проектирования СПбГАСУ проведен комплексный анализ участков, предложенных КГА СПб, для размещения данных объектов. Установлены общие требования к территориям, влияющие на дальнейшее проектирование МПО. Выполнен системный анализ зарубежного опыта проектирования МПО, выявлены факторы – внутренние и внешние, влияющие на формообразование изученных объектов. Установлено, что решение взаимосвязей между внутренними и внешними факторами приводит к организации соподчинённых пар факторов. Определены основные тенденции создания объемно-планировочных параметров мусороперерабатывающих зданий, с учетом гуманизации их облика: многофункциональность объекта, варианты конфигурации технологического модуля, влияние окружающей среды на формообразование объекта (подражание характеру рельефа) и озеленение фасадов. Полученные результаты систематизированы и даны рекомендации по формообразованию МПО в условиях Санкт-Петербурга: на уровне генерального плана МПО, организации функционального зонирования объекта, сопоставление образа здания с городской средой и/или ландшафтом. Предложены модели формообразования МПО в городской структуре.

Ключевые слова: здания МПО, тенденции формообразования, городская среда, экология, Санкт-Петербург.

Введение. Проблема утилизации и переработки твердых бытовых отходов актуальна для всего мира. В ряде стран этот вопрос успешно решается не только благодаря социально-экономическим мерам на уровне государственной политики, но и на уровне архитектурно-художественного воплощения объектов мусоропереработки, находящихся как внутри, так и вне городских границ [1].

Согласно указу президента Российской Федерации №8 «О создании публично-правовой компании по формированию комплексной системы обращения с твердыми коммунальными отходами “Российский экологический оператор”» от 14 января 2019г., в Российской Федерации предполагается снижение нагрузки на окружающую среду за счет перехода от утилизации отходов на полигонах к переработке на мусороперерабатывающих предприятиях. Это касается и Северо-западного региона.

В 2021 году комитет по архитектуре и градостроительству Санкт-Петербурга разработал территориальную схему размещения объектов мусоропереработки (МПО), согласно которой выделены четыре участка в границах города. Предполагается, что размещение внутри городских границ позволит оптимизировать транспортные потоки, за счет сокращения пути отходов до МПО. Однако большинство существующих объектов сортировки и переработки отходов в России

представляют собой монофункциональные производственные большепролетные здания, не имеющие архитектурной эстетики [2].

Целью публикации данной статьи является выявление тенденций формообразования мусороперерабатывающих объектов, и их влияние на проектирование данных сооружений внутри городских границ.

Задачами исследования являются: анализ участков предполагаемого размещения мусороперерабатывающих объектов СПб; комплексное изучение существующих зарубежных аналогов; выявление факторов, влияющих на формообразование изученных МПО; определение основных тенденций, влияющих на формообразование МПО; формулировка рекомендаций по формированию образа объектов МПО в Санкт-Петербурге.

Объект исследования – архитектура мусороперерабатывающих объектов.

Материалы и методы исследования. Согласно существующим социологическим исследованиям в России ежегодно производится около 60–70 тонн отходов [3]. С точки зрения вопросов экологических и технических особенностей обращения с отходами, рассмотренными в работах Бикбау М.Я., Рывкина М.Д., внедрение МПО – это альтернатива разрастающимся полигонам.

Однако комплексное проектирование и интеграцию данных объектов в городскую среду еще предстоит начать.

Для качественного включения объектов мусоропереработки необходимо учитывать архитектурную типологию промышленных зданий. Поэтому в ходе исследования были изучены работы Вавиловой Т.Я., Попова Д.В., Сазыкиной Е.В. и материалы международного опыта Jeanine Mullera и Ramaraj A., Nagammal J.

Общие вопросы формообразования и композиции рассмотрены в работах Иконникова А.В. и Курбатова Ю.И., а материалы Лебедевой Ю.С., Рыбиновича В.И. и Положай Е.Д. «Архитектурная бионика» и Georgoulas A., Kara H., Asensio Villoria L, изучены с точки зрения гуманизации образа здания.

Формирование исторической промышленной архитектуры и проблематика ее перепрофилирования изучена в работах М.С. Штиглиц, В.М. Супранович.

Для определения тенденций формообразования мусороперерабатывающих объектов в городской среде и последующих рекомендации для Санкт-Петербурга выбраны следующие **методы исследования**:

1. Комплексный анализ участков, предложенных КГА СПб для размещения МПО в городской структуре. Участки исследованы с точки зрения основных градостроительных характеристик: зоны использования территорий согласно ПЗЗ, взаимодействие с зонами охраны территорий и зон охраны объектов культурного наследия, нормативных показателей высотности застройки, ограничений по прилеганию к жилой застройке, а также рекреационным зонам;

2. Системный анализ зарубежного опыта проектирования. К изучению предложены объекты, размещенные в разных странах и различных условиях проектирования. Системный анализ включает в себя: изучение схем градостроительного размещения, схем генеральных планов участков, функциональных схем зонирования объектов, рассмотрение численных показателей мощности объектов и технологий, градостроительные условия размещения, объемно-планировочные и архитектурно-художественные особенности данных объектов. Перечисленные данные рассматриваются с точки зрения основных групп факторов, влияющих на процесс формообразования объектов мусоропереработки.

3. Систематизация основных направлений формообразования архитектуры МПО, с учетом гуманизации облика зданий, для формирования

рекомендаций по проектированию в условиях Санкт-Петербурга.

Основная часть. Историческое развитие Санкт-Петербурга предполагало размещение промышленных предприятий на периферии городских границ [4]. В связи с их расширением, это привело к образованию «Серого пояса» Санкт-Петербурга [5].

Перенос предприятий, произошедший за последние десятилетия, показал, что исключение данных объектов ведет к обеднению функционального использования городских территорий, утрате памятников промышленной архитектуры, и не подтверждает экономической целесообразности данных решений. Поэтому отмечается тенденция возвращения ряда производств в город. В связи с увеличением городской площади, некоторые современные производства, несмотря на периферийное размещение уже граничат с жилой застройкой.

Важно отметить, что в последние годы, архитектура промышленных зданий в России в большинстве своем носила утилитарный характер. Но исторический опыт формирования заводской архитектуры говорит о возможности полноценной включенности предприятий в городскую среду [6]. Таким образом, очевидна необходимость формирования архитектуры объектов промышленности с учетом контекста городской среды, предполагающая изменение, как функционального наполнения зданий, так и гуманизации их образа. Мусороперерабатывающие объекты относятся к зданиям с большепролетным типом конструкций, имеющим протяженные плоскости фасадов и внушительные высотные характеристики, поэтому формообразование данных объектов является ключевым вопросом для их интеграции в городской контекст [7].

В рамках Научно-исследовательской работы «Изучение тенденций формообразования мусороперерабатывающих объектов в городской среде» 2022 на базе кафедры Архитектурного проектирования СПбГАСУ разработаны рекомендации по формированию образа объектов МПО в Санкт-Петербурге.

Комплексный анализ участков, предложенных КГА СПб для размещения МПО в городской структуре, выявил удаленность предлагаемых территорий от исторической городской среды (рис. 1). Данные приведены на основе документа, предоставленного КГА, «Данные о планируемом строительстве, реконструкции, выведении из эксплуатации объектов обработки, утилизации, обезвреживания, размещения отходов в Санкт-Петербурге».

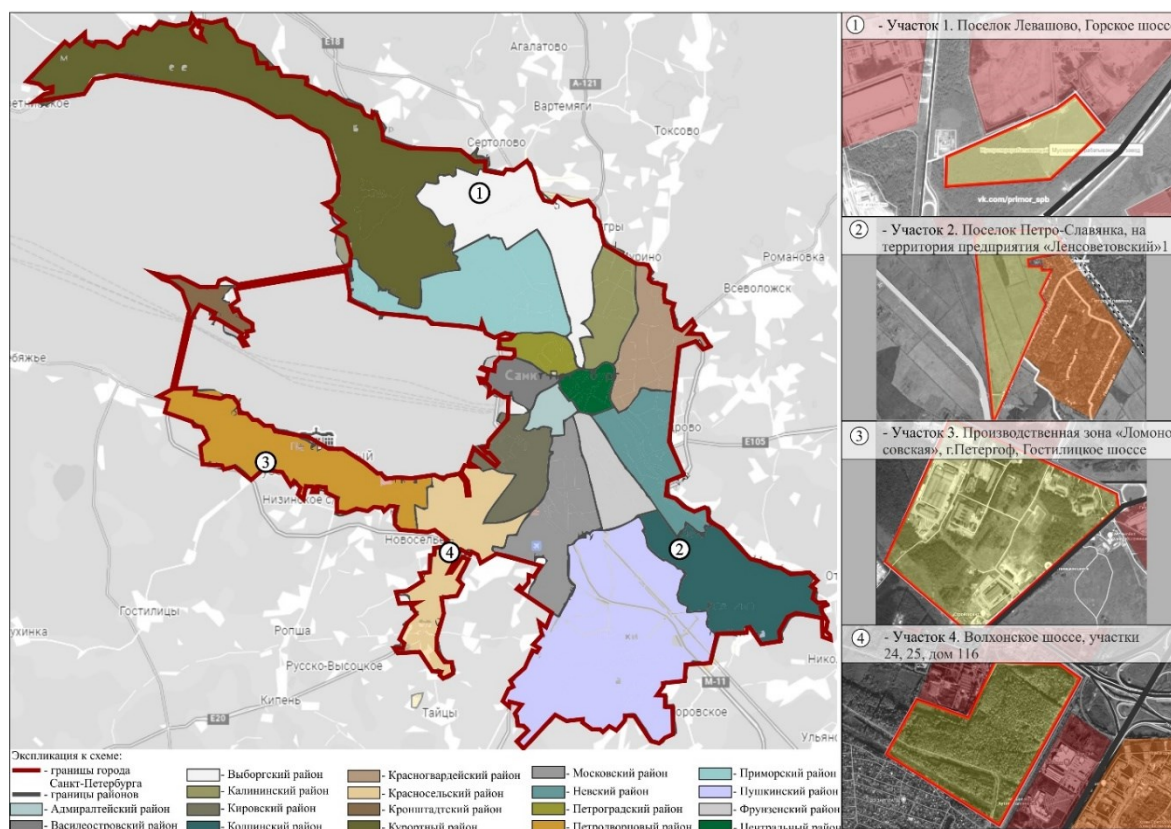


Рис. 1. Схема размещения участков (МПО), предложенных КГА СПб

Участки находятся в зонах ТИ1-1, ТИ1-2, ТИЗ, ТПД2_3 согласно ПЗЗ Санкт-Петербурга от 2021 года. Данные зоны соответствуют нормативным требованиям для проектирования на них специальных объектов инженерной инфраструктуры. Площади участков составляют от 10 до 25 га. Установлены общие требования к территориям, влияющие на дальнейшее проектирование, согласно Градостроительные регламенты Санкт-Петербурга от 21.06.2016:

1) минимальные отступы объектов земельных участков:

- по границы смежных земельных участков или по границам территорий, на которых земельные участки не образованы, не менее 10 м;

- в случае если земельный участок является смежным с территориями, расположенными в границах территориальных зон, градостроительными регламентами которых не установлены виды разрешенного использования, предусматривающие размещение объектов капитального строительства, и (или) смежных с территориями объектов культурного наследия, включённых в единый государственный реестр объектов культурного наследия народов Российской Федерации, минимальный отступ не менее 3 м;

- минимальные отступы от границ земельных участков стен зданий, строений и сооружений, совпадающих с улицами и (или) красными линиями указанных улиц – 0 м;

2) максимальное количество этажей надземной части объектов не устанавливается;

3) особые условия по максимальной высоте объектов не установлены;

4) максимальная общая площадь объектов капитального строительства нежилого назначения МПО не устанавливается;

5) площадь озеленения участка нормируется стандартными правилами проектирования;

6) минимальное количество мест для стоянки (размещения) индивидуального автотранспорта в границах земельного участка рассчитывается исходя из площади здания;

7) максимальный размер земельных участков, в том числе их площадь, и максимальный процент застройки в границах земельного участка не подлежат установлению.

Предложенные участки располагаются на расстоянии от 35 до 70 км друг от друга, в разных районах, что позволит создать единую инфраструктурную сеть по борьбе с ТКО. Установленные требования к проектированию подтверждают выполнения технических элементов объемов зданий без ограничений по существующим регламентам: количественные параметры зданий, длина и ширина не имеют предельных значений с точки зрения нормативной документации зон охраны. Это позволяет предложить широкий спектр направлений для разработки архитектурно-художественной составляющей образа объектов МПО.

Системный анализ зарубежного опыта проектирования проводится для пяти примеров объектов мусоропереработки, размещенных в разных странах и различных условиях проектирования (рис. 2):

1. Великобритания, город Лидс, Newmarket Approach, LS9 0RJ, Завод Гросс Грин. 2016;

2. Польша, Краков, Jerzego Giedroycia 23, Завод Eco-Incinerator. 2015;

3. Китай, Шеньчжэнь, R83M+2X8, Longgang, Shenzhen, Завод Shenzhen Energy. 2019-наст. момент;

4. Дания, Роскилле, Navervej 14A, Завод Роскилле, 2014;

5. Япония, Хиросима, 1-chōme-5-1 Minamiyoshijima, 2004.

№ объекта/ адрес	1	2	3	4	5
градостроительные особенности расположения	Великобритания, г. Лидс, Newmarket Approach, LS9 0RJ, Завод Гросс Грин	Польша, Краков, Jerzego Giedroycia 23, Завод Eco-Incinerator	Китай, Шеньчжэнь, R83M+2X8, Longgang, Shenzhen, Завод Shenzhen Energy	Дания, Роскилле, Navervej 14A, Завод Роскилле	Япония, Хиросима, 1-chōme-5-1 Minamiyoshijima
	место размещения от исторической среды города 				
	Участок 6,5 га	Участок 10 га	Участок 7,5 га	Участок 3,5 га	Участок 4,25 га
	близость транспортных магистралей 				
	близость жилой застройки 				
особенности формообразования	близость объектов ландшафта 				
	Находится в 20км от парковой зоны. Озеленённый фасад, составляет 17% от общего озеленения	Находится в 1км от национального парка. Посажен на рельеф, включен в систему естественных холмов	Находится на территории национального парка. Посажен на рельеф.	Находится в 5км от парковой зоны. Посажен на рельеф, в образе имитирует горную систему территории.	Находится в 7км от городской парковой зоны. Имеет собственный ландшафтный парк на участке, внутрен-
	технологический модуль/специализация 				
	Мусороперерабатывающая система. 214 тыс.тонн/год	Мусоросжигательная система. 220 тыс.тонн/год	Мусороперерабатывающая система. 620 тыс.тонн/год	Мусоросжигательная система. 200 тыс.тонн/год	Мусороперерабатывающая система. 210 тыс.тонн/год
формообразование	габаритные размеры 				
	дополнительные функции 				
архитектурный образ	Принцип возобновляемого источника энергии	Вырабатывает электричество, тепло и топливо. На территории работает детский научно-образовательный центр	Вырабатывает электричество. На территории работает учебный центр по утилизации и вторичной переработке отходов.	Вырабатывает электричество и тепло	Вырабатывает электричество. На территории работает музей и смотровая площадка

Рис. 2. Анализ зарубежного опыта

Комплексный анализ включал изучение: схем градостроительного размещения; схем генеральных планов участков; функциональных схем зонирования объекта; рассмотрение численных показателей мощности объектов и технологий, а также описания специализации, основных градостроительных и архитектурно-художественных особенностей, изучение дополнительных функций. Количественные показатели приведенных объектов индивидуальны по каждому из выбранных для анализа пунктов.

Установлено, что габариты участков варьируются от 3,5 до 10,0 га, что практически вдвое меньше площади участков, предлагаемых КГА. Формообразование объектов зависит от технологии переработки, а также мощности завода. Каждый из них имеет высотную доминанту в виде трубы. Представленные объекты мусоропереработки включены в городскую структуру. Участки размещения тяготеют к транспортным узлам и развязкам, что сокращает нагрузку на транспортные сети, формирует кратчайшие логистические связи [8].

Возможно выделить следующие внутренние и внешние факторы [9], влияющие на формообразование МПО:

- Внутренние факторы – функция МПО.

1) Конфигурация пространств и их взаимосвязей – «линейная технологическая схема» (блоки взаимодействуют между собой «конвейерно») и одновременно многофункциональность (включение дополнительной функции). Такие здания, в большинстве своем, имеют вытянутые прямоугольные формы [10];

2) Качество среды, влажность, температура, освещенность. При условии автоматизации основного процесса работы, здание может иметь большие габариты, но не все помещения инсолируются. Поэтому количество «глухих» поверхностей фасадов и «верхнего света» увеличивается [11–12].

- Внешние факторы – среда и ее характеристики: градостроительные и природно-климатические особенности размещения объекта, масштаб окружения, объемно-пространственные, историко-культурные, цветовые, текстурные и фактурные свойства контекста, совокупность этих свойств.

Архитектурный образ здания напрямую влияет на гуманизацию объекта в среде, что в свою очередь, помогает повысить интерес населения к проблеме переработки мусора.

Необходимость решения взаимосвязей между внутренними и внешними факторами приводит к организации следующих соподчинённых пар (рис. 3):

1. Конфигурации внутреннего и внешнего пространства;

2. Структуры внутренних пространств и их взаимодействия с объемно-пространственной структурой здания и окружения;

3. Отражение функциональной структуры и ее влияния на образ;

4. Функциональное зонирование помещений и их интерьеры в связи с внешней средой.

В ходе проведенного комплексного анализа можно говорить о тенденциях в области современного проектирования объектов МПК в городской среде:

1. Конфигурация технологического модуля по переработке мусора.

В проанализированных объектах разной мощностью наблюдается тенденция использования линейно-конвейерного технологического модуля для переработки мусора, в том числе и на заводе Шеньжень в Китае, несмотря на то, что форма объема круглая, процесс переработки внутри построен по классическому линейному принципу, а блок дополнительной функции закольцован. То есть основа формообразования в плане – прямоугольник и круг, и производные объемные формы от данных фигур [14–15].

2. Влияние окружающей среды на формообразование объекта.

Требуется следование принципам контекстного проектирования [16]. Выделены два основных примера взаимодействия объектов с окружающей средой [17–18]:

а) подражание форм в образе естественному холмистому рельефу [19].

Так объекты в Польше и Китае взаимодействуют на нюансах с окружающим рельефом. В своем формообразовании они несут плавные скругленные формы, повторяющие невысокие естественные зеленые холмы. Этот подход проявляется и в отделочных материалах, где преобладают зеленые и коричневые цвета.

б) подражание форм в образе естественному горному рельефу.

Объект в Дании имеет большую высоту, работающую на контрасте с малоэтажной окружающей застройкой, но на нюансах с естественным рельефом. Таким образом, объект имеет граненую форму, напоминающую скалы. Цветовая гамма при оформлении фасадов – серо-коричневая, выполнен ассоциативный ряд взаимодействия объекта и окружающего ландшафта.

3. Повышение процента озеленения городской среды за счет формообразования объекта.

На примере объекта в Великобритании можно говорить о том, что целесообразно увеличивать общий процент озеленения городов, за счет использования вертикального фасадного

озеленения. В планировочную структуру объекта Японии интегрирована зеленая общественная галерея с натуральными растениями. Это повышает экологичность проектируемого объекта и вносит вариативность в оформление фасадов.

4. Включение дополнительных функций в комплекс МПО.

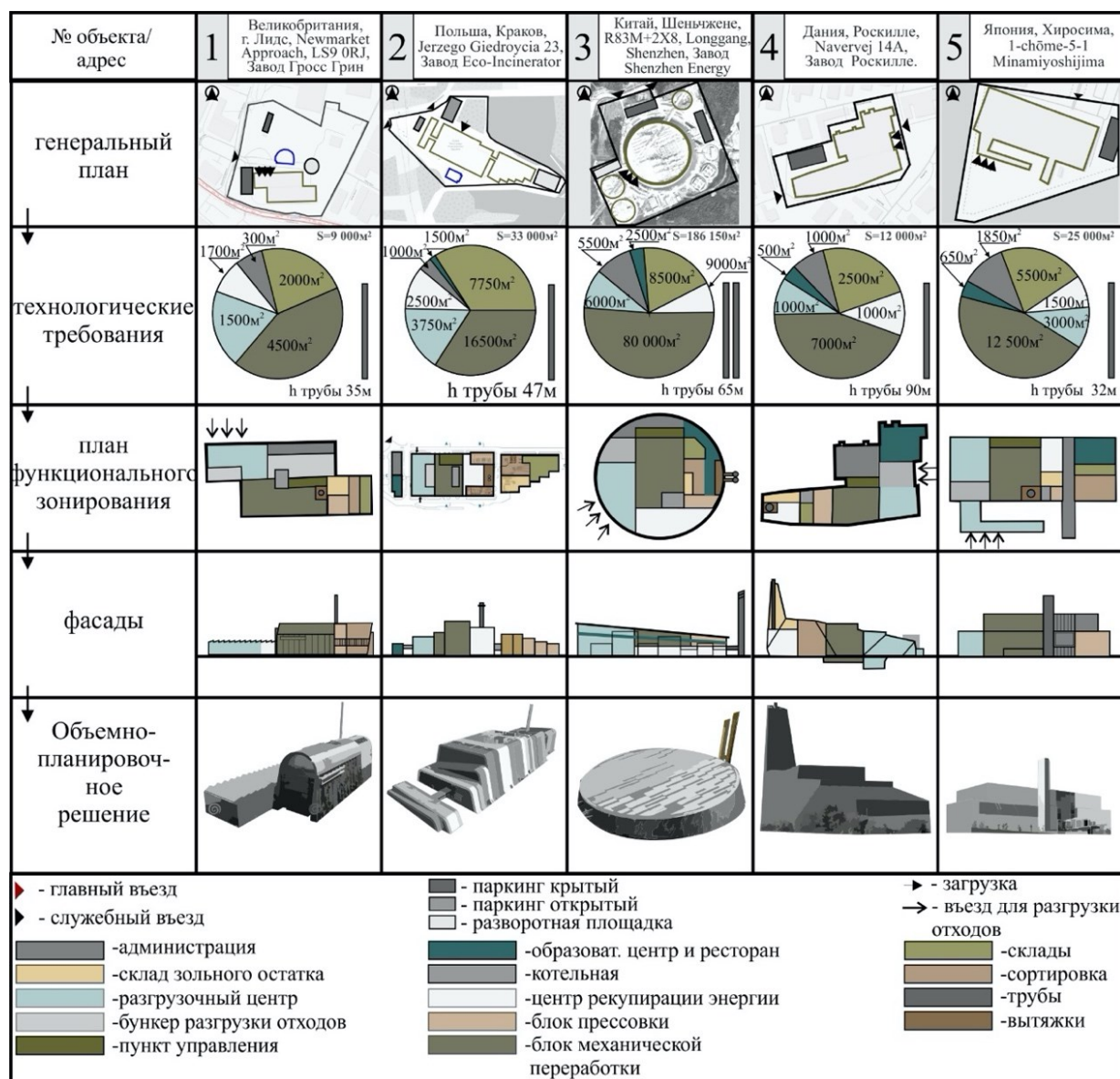


Рис. 3. Схема определения конфигурации внутренних и внешних пространств.
Влияние на формообразование объекта

Все проанализированные объекты имеют дополнительную функцию в областях образования и развлечения или альтернативной энергетики. Это привлекает внимание населения к проблеме мусора и улучшает социальное восприятие объектов [19–20].

Вывод. Итогом работы становится модель проектирования МПО, в основе которой лежит взаимодействие между функцией объекта и био-ническими принципами. Необходимо развитие общей системы формообразования специальных МПО в структуре города с точным следованием, заявленным четырем пунктам для выхода на но-

вый уровень взаимодействия объектов по переработке мусора с городской инфраструктурой, а также факторов, влияющих непосредственно на их формообразование.

Систематизация данных комплексного анализа участков МПО, предложенных КГА, а также системного анализа международного опыта проектирования специальных объектов инженерной инфраструктуры позволила сформировать проектные предложения схем формообразования объектов МПО в городской структуре Санкт-Петербурга.

1. На уровне генерального плана МПО:

- должен быть посажен на участок с минимальным отступом от границ участка 10 м;
- средняя площадь пятна застройки должна составлять не менее 10 000 м² и не более 35 000 м²;
- высота технологической трубы не может превышать 18 м;
- должен располагаться в непосредственной близости к транспортным узлам;
- должен иметь два въезда на участок проектирования, быть обеспечен круговым пожарным проездом шириной 4,5 м, на расстоянии 10-12 м от здания;
- должен иметь две разнесенных парковочных зоны, для легкового автотранспорта (расчет производится на основе данных о площади здания и количестве людей), а также для спецтехники;
- должен иметь на участке площадку для выгрузки вблизи разгрузочного блока;
- должен быть обеспечен разворотной площадкой радиусом 8 метров;
- при посадке здания на участок учитывается естественный рельеф.

2. Организация функционального зонирования объекта.

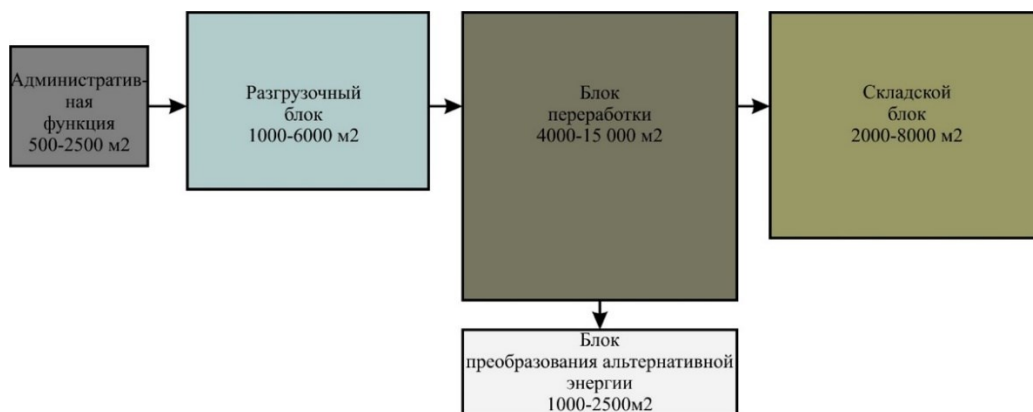


Рис. 4. Схема линейно-технологического построения блоков

Дополнительными функциональными блоками могут выступать: блок первичной сортировки мусора – первичная сортировка привезенных отходов, располагается между разгрузочным блоком и блоком переработки; блок преобразования альтернативной энергии, характерен для мусоросжигательных объектов.

Линейный технологический модуль задает четкую взаимосвязь и структуру между функциональными блоками (рис. 4). В его состав входят:

1. Административный блок – размещение структур управления и эксплуатации объекта (офисные помещения, помещения персонала, помещения обслуживания). Средняя площадь блока 500–2500 м², высота от 3,5 до 6,5 м. Данный блок может быть включен в основной объем комплекса;

2. Разгрузочный блок – приемка мусора на переработку. Объем имеет ячеистую структуру с отдельными подъездами для грузовых машин. Средняя площадь блока 1000–6000 м², высота от 6–8 м, для организации подкрановых систем для выгрузки и перемещения контейнеров с ТБО.

3. Блок переработки – прессование, химическое воздействие или сжигание отходов. Структура блока – зальная. Средняя площадь 15 000 м², высота от 10 – 12 м. Данный блок имеет главное композиционное значение в функциональной структуре, благодаря площадным и высотным характеристикам.

4. Складской блок – сортировка переработанного сырья. Структура блока – зальная. Средняя площадь 2000–8000 м², высота 6–8 м.

При соблюдении данной технологической модели за основу формообразования возможно принять две фигуры прямоугольник и круг, а позже при разработке образа использовать производные объемные формы от данных фигур (рис. 5).

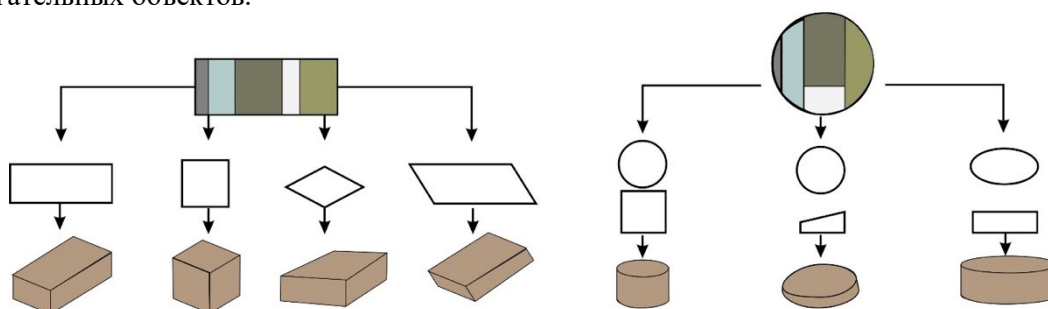


Рис. 5. Схема вариантов объемных форм

Таким образом, получаем вытянутую форму общего объема здания с линейной конфигурацией модулей. На данном этапе закладываются связи между функциональными блоками комплекса.

3. Сопоставление образа комплекса с окружающим ландшафтом.

Необходимо учитывать особенности ландшафта и природных особенностей местности Санкт-Петербурга. Требуется опора на ассоциативный ряд. На территории участков, предложенных КГА, преобладает ровный рельеф, с редкими и небольшими холмистыми участками. Возможно, использовать подражание форм в образе окружающему естественному холмистому рельефу, скругленные детали фасада с преобладанием коричневых и зеленых оттенков в отделочных материалах для создания ассоциативного ряда. Возможно озеленение поверхности кровли для увеличения площади рекреационных пространств, а также имитация изображения лесных массивов на фасадах объекта.

4. Организация многофункциональной структуры объекта.

Предлагается включить в функциональный состав МПО следующие дополнительные блоки:

а) учебно-образовательный: блок помещений для обучения и просвещения различных групп населения по вопросам экологии, сортировки и переработки мусора. В состав блока

включаются помещения классов, лекционных залов, экспозиционные пространства-рекреации, дополнительные помещения для персонала и т. д.;

б) научно-исследовательский блок: блок помещений для проведения исследований и научной деятельности. В состав блока входят: кабинеты, лаборатории, лекционные залы, дополнительные помещения для персонала и т. д.;

в) спортивный блок: блок для организации спорта с использованием внешних форм и габаритов мусороперерабатывающих объектов в качестве элементов рельефа. Данный блок не связан с внутренней организацией завода. В составе помещений спортивного блока входят пространства для организации обслуживания людей, занимающихся спортом.

На основе полученных результатов возможно предложить следующие модели формообразования МПО в городской структуре:

1) Модель формообразования объекта мусоропереработки с включением учебно-образовательной функции (рис. 6). Дополнительный учебно-образовательный блок примыкает к административному блоку для организации «потоков» посетителей и работников предприятия. Образ не имеет высотной доминанты в виде технологической трубы, следовательно, санитарные отступы от жилой застройки могут быть сокращены. Предлагается ассоциация формы с холмистым рельефом;

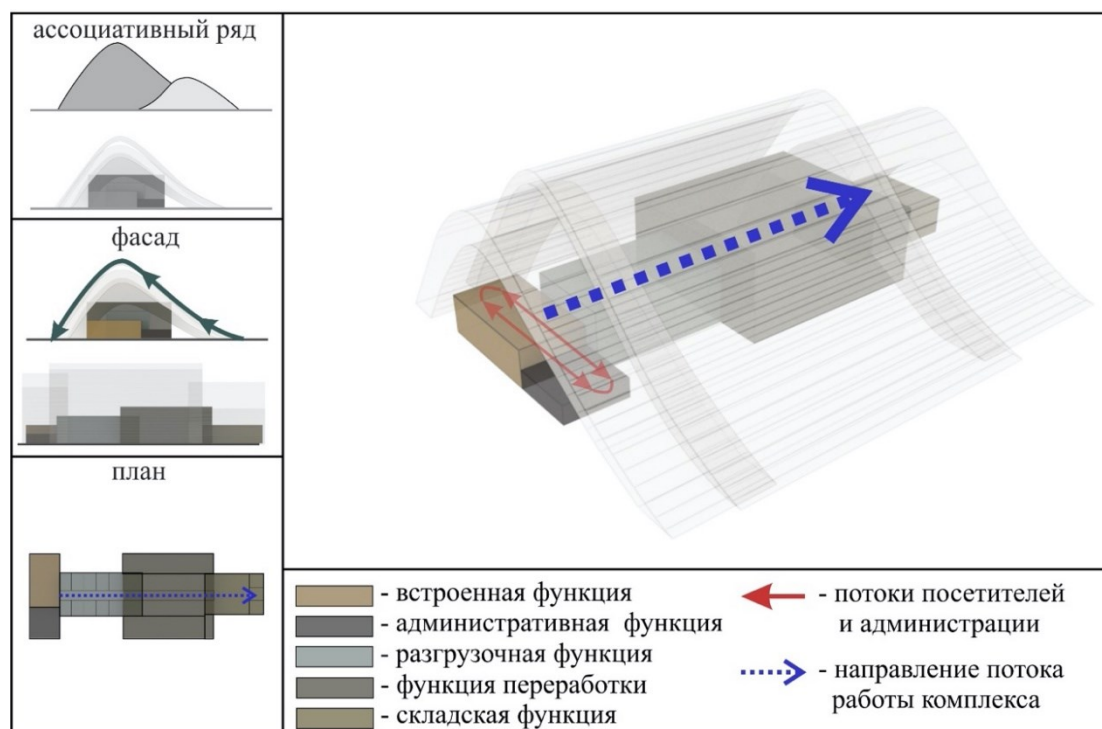


Рис. 6. Модель формообразования объекта мусоропереработки с включением учебно-образовательной функции

2) Модель формообразования объекта мусоропереработки с включением научно-исследовательской функции (рис. 7). Научно-исследовательский блок имеет «п» образное примыкание к линейно-технологическому модулю для обеспечения инсоляции помещений работы научных ра-

ботников, а также организации связи через «галерею» всех частей модуля с исследовательским процессом. Объект имеет значительные площадные характеристики. Формообразование объема предлагается решать единой формой, для создания ассоциаций с лесным массивом;

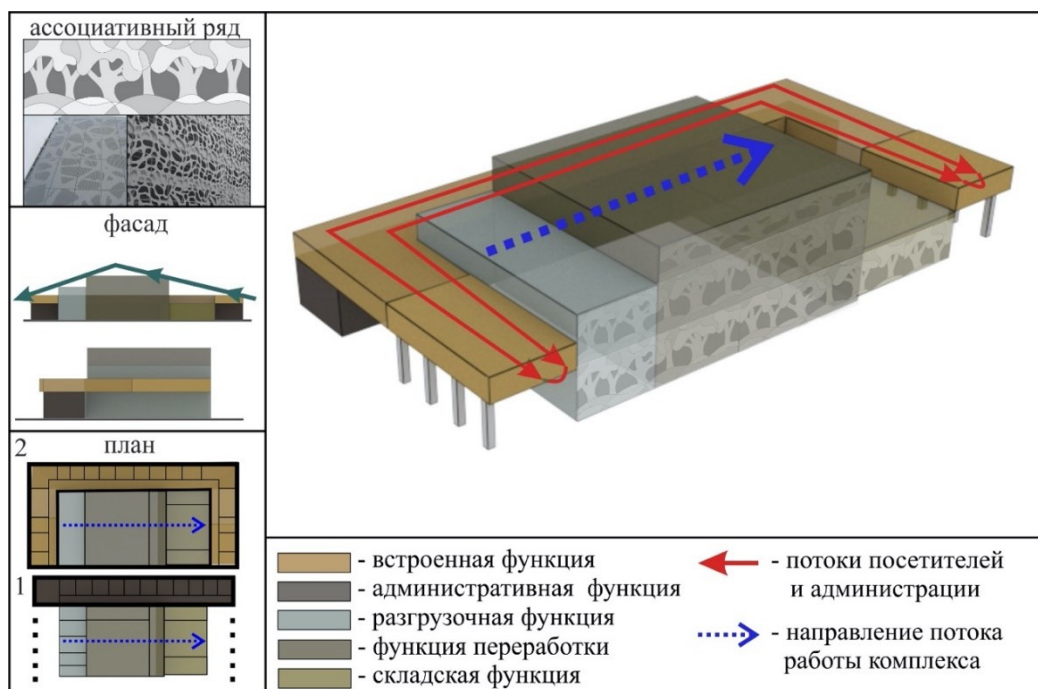


Рис. 7. Модель формообразования объекта мусоропереработки с включением научно-исследовательской функции

3) Модель формообразования объекта мусоропереработки с включением спортивной функции (рис. 8). Зона спорта организовывается

при взаимодействии объемов с пологими фасадами и разновысотными блоками. Создается ассоциация с горным природным рельефом.

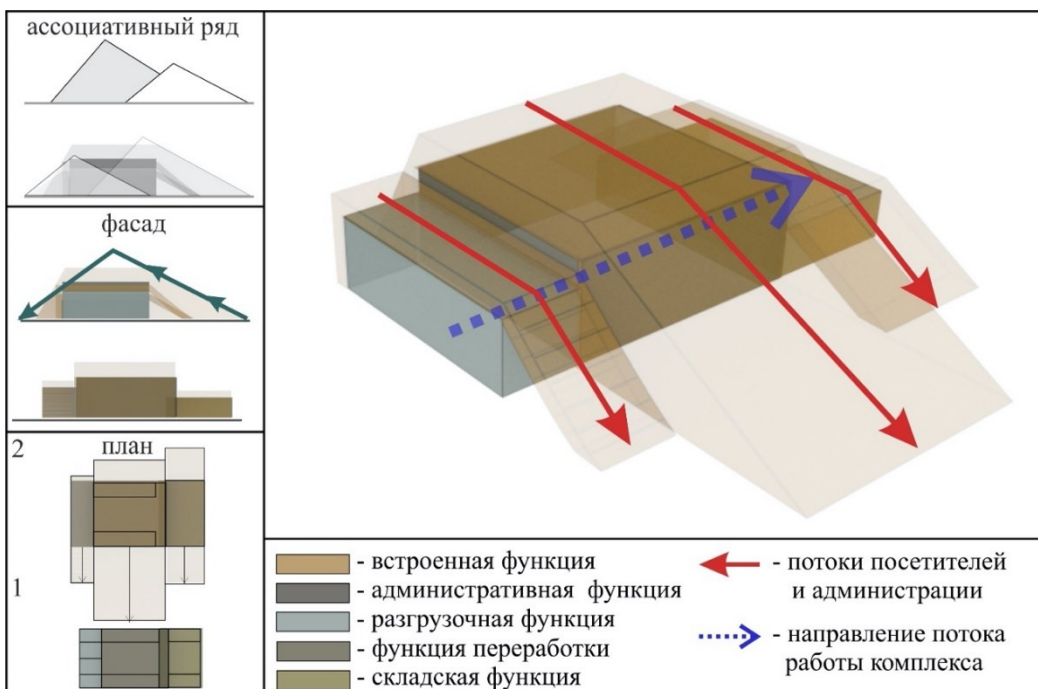


Рис. 8. Модель формообразования объекта мусоропереработки с включением спортивной функции

4) Модель формообразования объекта мусоропереработки с включением блока создания

альтернативной энергии (рис. 9) Блок по выработке альтернативной энергии примыкает к

блоку переработки (вдоль направления технологического модуля). Данный комплекс имеет большой радиус санитарного разрыва, так как использует технологию переработки по средствам

сжигания. Образ данного объекта также построен на ассоциативном анализе естественного рельефа.

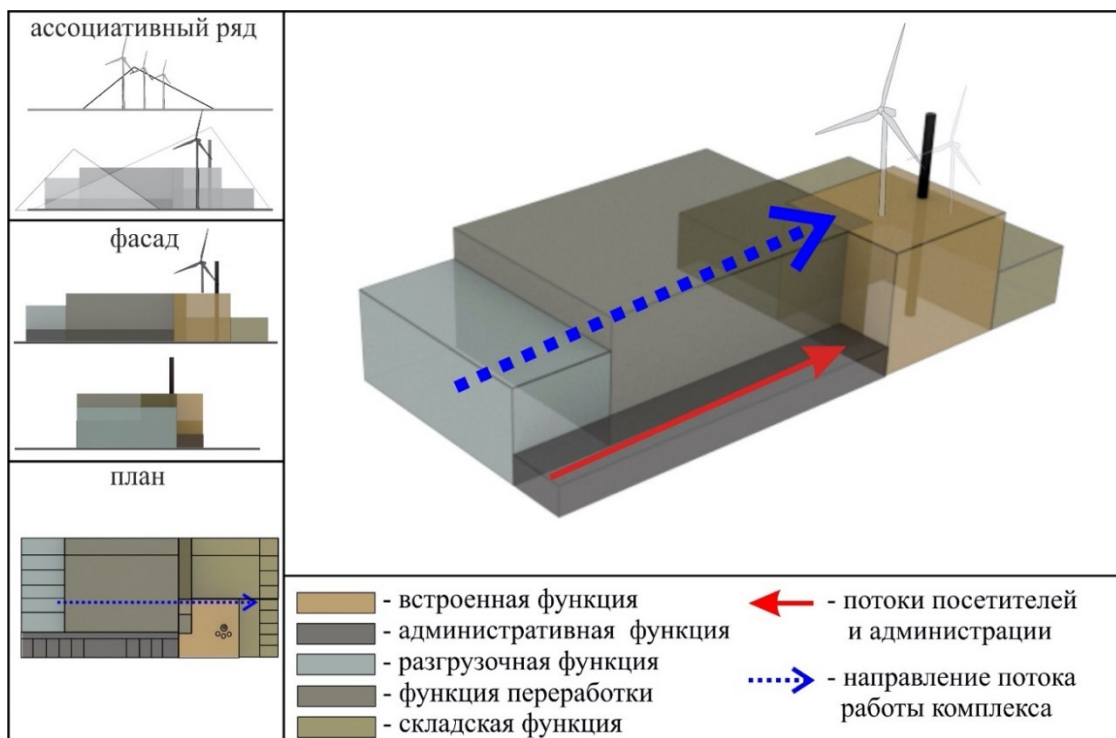


Рис. 9. Модель формообразования объекта мусоропереработки с включением блока создания альтернативной энергии

5) Модель формообразования объекта мусоросжигания с блоком предварительной сортировки отходов (рис. 10) Дополнительный блок включает в себя 4 мусоросортировочные станции по мировому принятому стандарту: бумага, стекло, пластик, не перерабатываемые отходы.

Блок интегрирован в структуру технологического процесса переработки и является частью конвейерного технологического модуля. Формообразование объема предлагается решать единой формой, для создания ассоциаций с лесным массивом;

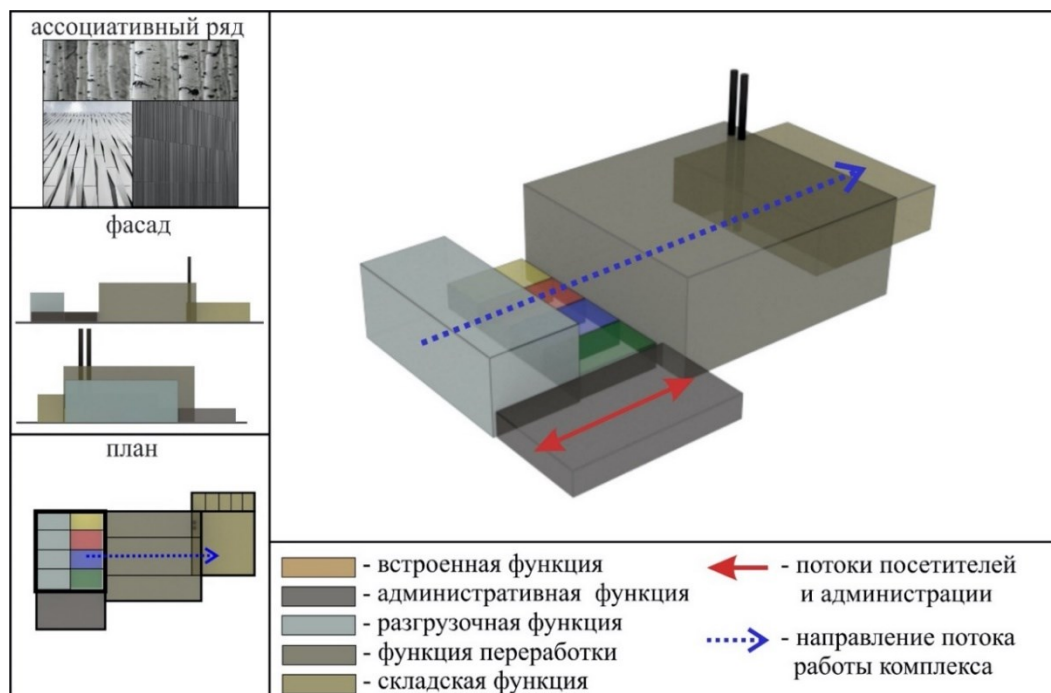


Рис. 10. Модель формообразования объекта мусоросжигания с блоком предварительной сортировки отходов

б) Модель формообразования объекта мусоросжигания с перекрестной системой организации технологических модулей переработки (рис. 11) Данная система подразумевает под собой, первичную сортировку отходов по классам. Предполагается 4 линейно-конвейерных блока, в каждом из которых происходят процессы перера-

ботки. Административный блок – отдельно стоящий, связан переходами с основным объемом здания. В качестве ассоциативного ряда в плане за основу взят четырёхлистник, структура данного цветка отражает необходимую взаимосвязь между блоками комплекса. Эта структура отражена и в формообразовании объекта.

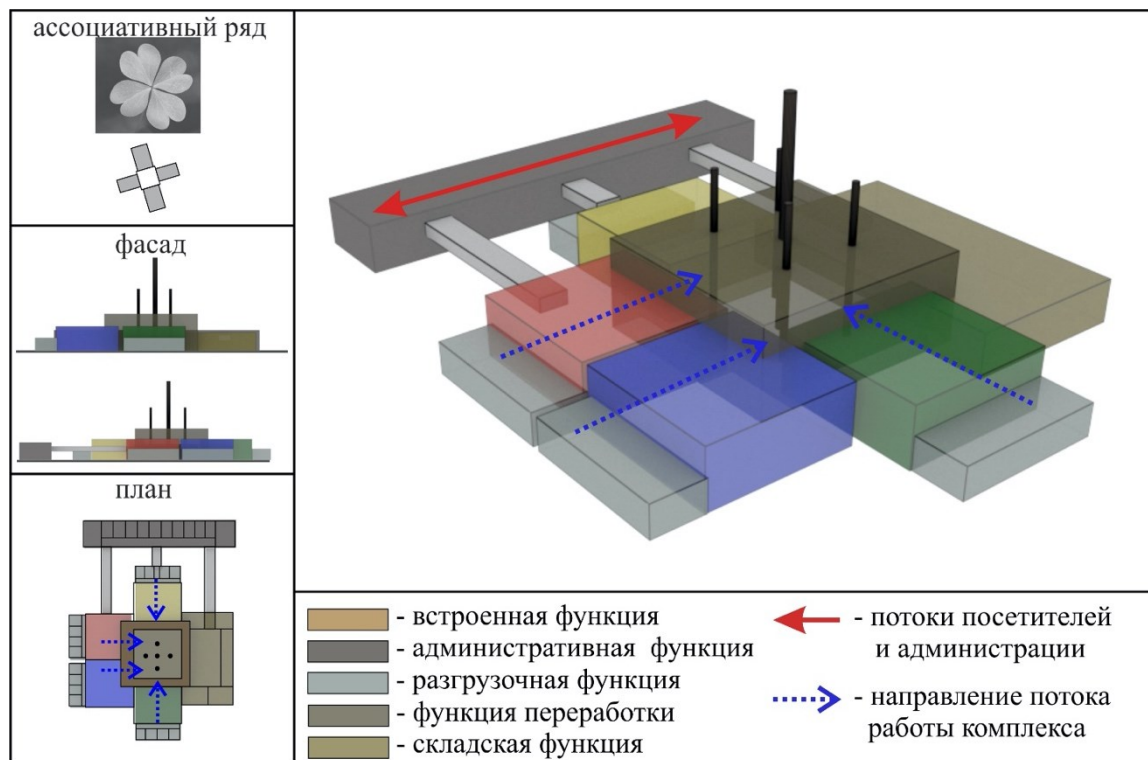


Рис. 11. Модель формообразования объекта мусоросжигания с перекрестной системой организации технологических модулей переработки

Дальнейшее исследование вариантов формообразования МПО и их габаритных характеристик зависит от их конкретного территориального размещения в контексте городской среды, а также вопросов оптимизации параметров объекта.

Источник финансирования. Конкурс грантов на выполнение научно-исследовательских работ обучающимися Санкт-Петербургского Государственного Архитектурно-строительного Университета (СПбГАСУ) в 2022 году.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Рывкин М.Д. Бытовой мусор и мегаполис: проблемы утилизации // Твердые бытовые отходы. 2007. № 5 (11). С. 22–23.
2. Говорушко С.М., Лазарев С., Петухов В.И., Зелинская Е.В. Обращение с твердыми коммунальными отходами: Россия на фоне мира // Астраханский вестник экологического образования. 2021. № 2 (62). С. 4–31.
3. Лебедева М.А., Барьеры перехода к «zero waste» в сфере обращения с твердыми комму-

нальными отходами в регионах СЗФО. // Проблемы развития территории. 2022. Т.26 №5. С. 110–123.

4. Нефедов В.А., Штиглиц М. С., Устройство промышленных территорий Санкт-Петербурга // Proceedings of the institution of civil engineers: urban design and planning 2016. Т.169 №1. С. 30–42.

5. Супранович, В.М. Основные задачи преобразования промышленных территорий городов, включающих объекты культурного наследия // Сборник статей. М: МАРХИ, 2018. С. 122–123.

6. Супранович В.М., Сафронова А.Д., Факторы, определяющие формообразование мусороперерабатывающих объектов в городской структуре // Сборник научных трудов кафедры архитектурного проектирования. Современные подходы и методики научно-исследовательской работы в архитектуре. М: СПбГАСУ. 2022 С. 18–22.

7. Пирожков Д.С., Малыгин А.С. Мусороперерабатывающий комплекс как элемент для фор-

мирования комфортной жилой среды // Региональные архитектурно-художественные школы. 2011. №1. С.111–112.

8. Сеферян Л.А., Морозов В.Е., Шищенко Д.А. Сравнение стран Европы по мусороперерабатывающей отрасли // Инженерный вестник Дона. 2018. № 3 (50). С. 94–102.

9. Курбатов Ю.И. Условия формирования полноценной конфигурации архитектурной формы // Вестник гражданских инженеров. 2017. № 4 (63). С. 23–25.

10. Рыжих Ю.С. Проблема утилизации бытовых отходов // Устойчивое развитие науки и образования. 2019. № 10. С. 125–128.

11. Курбатов Ю.И. Очерки по теории формообразования // Сборник статей. М: СПБГАСУ 2015. 132 с.

12. Павловский А.А. К вопросу о размещении мусороперерабатывающих объектов на территории крупнейших городов России // Астраханский вестник экологического образования. 2020. № 4 (58). С. 44–56.

13. Вавилова Т.Я., Коваленков И.О. Актуальные направления архитектурного проектирования объектов обращения с отходами // Вестник СПБГАСУ. Градостроительство и архитектура. 2016. №1(22). С. 91–96.

14. Бикбау М.Я. Новые технологии для обезвреживания и полной переработки бытовых отходов. М.: Изд-во ИТК «Дашков и К», 2020. 76 с.

15. Попов Д.В. Типология Современных Мусоросжигательных Заводов (ТБО) // Архитектон:

известия вузов. 2018. №3(63). [Электронный ресурс]. Систем. требования: AdobeAcrobatReader. URL: <https://cutt.ly/VXW5cw8> (дата обращения: 15.10.2021)

16. Ramaraj A., Nagammal J. Exploring the 'r's and constructing the big picture of 'recycling' in architecture and construction industry // A/Z ITU Journal of the Faculty of Architecture. 2021. Т. 18. №1. С. 153–169.

17. Jeannine M. The Architecture of Waste Designing New Avenues for Public Engagement with Trash // Ri-vista. 2018. 01. 36-52. Систем. Требования: AdobeAcrobatReader. URL: <https://core.ac.uk/download/pdf/228596475.pdf> (дата обращения: 20.06.2022)

18. Бука В. Ю., Иванова О. Г., Шеромова И. А., Тема природы в архитектуре зданий // Архитектура и дизайн: история, теория, инновации. 2020. №4. С. 187–192.

19. Лебедев Ю. С., Рабинович В. И., Положай Е. Д. Архитектурная бионика // М.: Стройиздат. 1990. 269 с.

20. Georgoulas A., Kara H., Asensio Villoria L. Architecture and Waste Management // «Harvard Design Magazine». 2015. 40 p.

21. Михайлов В.В., Савостенко В.А. Особенности проектирования современных мусороперерабатывающих заводов // Архитектура и дизайн: история, теория, инновация. 2018. № 3. С. 161–166.

Информация об авторах

Супранович Валерия Михайловна, кандидат архитектуры, архитектурный факультет, кафедра архитектурного проектирования. E-mail: vmsupranovich@gmail.com. Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет. Россия, 190005, г. Санкт-Петербург, 2-я Красноармейская ул., д.4.

Сафронова Арина Дмитриевна, студент кафедры архитектурного проектирования. E-mail: arinasddd@gmail.com. Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет. Россия, 190005, г. Санкт-Петербург, 2-я Красноармейская ул., д.4.

Поступила 02.11.2022 г.

© Супранович В.М., Сафронова А.Д., 2023

***Supranovich V.M., Safronova A.D.**

Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering

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

SHAPING TRENDS OF WASTE RECYCLING OBJECTS. MAIN DIRECTIONS AND THEIR IMPACT ON WRO ARCHITECTURE

Abstract: The article deals with the actual problem of integrating waste processing facilities (WRO) into the urban structure. The purpose of the work is to identify trends in the formation of WROs and formulate recommendations for including these objects in the context of the environment of St. Petersburg. As part of the research work in 2022, the Department of Architectural Design of SPbGASU carried out a comprehensive analysis of the sites proposed by the St. Petersburg Civil Aviation Committee for the placement of these objects. The general territorial requirements that impact the subsequent design of the WRO have been established. A

systematic analysis of foreign experience in designing WROs has been carried out, and factors - internal and external - that affect the formation of the studied objects have been identified. It has been established that the solution of interrelations between internal and external factors leads to the organization of subordinate pairs of factors. The main trends in the creation of space-planning parameters of waste processing buildings are determined, taking into account the humanization of their appearance: the multifunctionality of the object, configuration options for the technological module, the influence of the environment on the shape of the object (imitation of the nature of the relief) and landscaping of facades. The obtained results are systematized and recommendations are given in the formation of WRO in the conditions of St. Petersburg: at the level of the general plan of the WRO, organization of the functional zoning of the object, comparison of the image of the building with the urban environment and / or landscape. Models of WRO shaping in the urban structure are proposed.

Keywords: WRO buildings, shaping trends, urban environment, ecology, St. Petersburg.

REFERENCES

1. Rivkin M.D. Household waste and mega-city: problems of recycling. [Bytovoj musor i megapolis: problemy utilizacii]. Municipal Solid Waste magazine. 2007. No. 5 (11). Pp. 22–23. (rus)
2. Govorushko S., Lazarev S., Petukhov V., Zelinskaya E. An overview of municipal solid waste management: russia on the background of the world. [Obrashchenie s tverdymi kommunal'nymi othodami: Rossiya na fone mira]. Astrakhan Bulletin of Ecological Education. 2021. No. 2 (62). Pp. 4–31. (rus)
3. Lebedeva M. Transition barriers to “zero waste” in the field of municipal solid waste management in the regions of the northwestern federal district. [Problemy razvitiya territorii]. 2022. Vol. 26. No. 5. Pp. 110–123. (rus)
4. Nefedov V. Stieglitz M. Refunctionalisation of industrial territories in Saint Petersburg. Proceedings of the institution of civil engineers: urban design and planning. 2016. Vol. 169. No. 1. Pp. 30–42.
5. Supranovich V. Main tasks of transformation of industrial areas of cities, including objects of cultural heritage [Osnovnye zadachi preobrazovaniya promyshlennykh territorij gorodov, vkluchayushchih ob"ekty kul'turnogo naslediya]. Moscow Institute of Architecture (State Academy). 2018. Pp. 122–123. (rus)
6. Supranovich V., Safronova A. Determinants of waste-recycling plant formation in urban structure. Sbornik nauchnykh trudov kafedry arhitekturnogo proektirovaniya. [Sovremennye podhody i metodiki nauchno-issledovatel'skoj raboty v arhitekture]. Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering (SPBGASU). 2022. Pp. 18–22. (rus)
7. Pirogov D., Maligin A. Garbage processing complex as an element for the formation of a comfortable living environment. [Musoropererabatyvayushchij kompleks kak element dlya formirovaniya komfortnoj zhiloj sredy]. [Regional'nye arhitekturno-hudozhestvennye shkoly]. 2011. No. 1. Pp. 111–112. (rus)
8. Seferyan L.A., Morozov V.E., Shishchenko D.A. Comparison of European countries in the waste industry. [Sravnenie stran Evropy po musoropererabatyvayushchej otrasli]. Inzhenernyj vestnik Dona. 2018. No. 3(50). Pp. 94–102. (rus)
9. Kurbatov Yu. Conditions of forming a full-fledged configuration of the architectural form. [Usloviya formirovaniya polnocennoj konfiguracii arhitekturnoj formy]. Bulletin of Civil Engineers. Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering. 2017. No. 4(63). Pp. 23–25. (rus)
10. Ryzhikh Yu.S. The problem of disposal of domestic waste. [Problema utilizacii bytovykh othodov]. Sustainable development of science and education. 2019. No. 10. Pp. 125 – 128. (rus)
11. Kurbatov Yu. Essays on the theory of shaping. [Ocherki po teorii formoobrazovaniya]. Bulletin of Civil Engineers. Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering. 2015. 132 p. (rus)
12. Pavlovskii A. On the placement of waste processing facilities on the territory of the largest cities of Russia. [K voprosu o razmeshchenii musoropererabatyvayushchih ob"ektov na territorii krupnejshih gorodov Rossii]. Astrakhan Bulletin of Ecological Education. 2020. No. 4(58). Pp. 44–56. (rus)
13. Vavilova T.Y., Kovalenkov I.O. Current directions of the architectural design of waste management plants. [Aktual'nye napravleniya arhitekturnogo proektirovaniya ob"ektov obrashcheniya s othodami]. Urban construction and architecture. 2016. Vol. 6, No. 1. Pp. 91–96. URL: <https://journals.eco-vector.com/2542-0151/article/view/54306/37648> (date of treatment: 20.03.2022). (rus)
14. Bikbau M. New technologies for the treatment and complete treatment of household waste [Novye tekhnologii dlya obezvrezhivaniya i polnoj pererabotki bytovykh othodov]. Dashkov & K. 2020. 76 p. (rus)
15. Popov D. Typology of modern waste incinerators (MSW). [Tipologiya Sovremennykh Musoroszhitel'nykh Zavodov (TBO)]. ARCHITECTON.

Proceedings of higher education. 2018. No. 3(63). AdobeAcrobatReader.

URL: http://archvuz.ru/2018_3/9 (date of treatment: 20.10.2021)

16. Ramaraj A., Nagammal J. Exploring the 'r's and constructing the big picture of 'recycling' in architecture and construction industry. A/Z ITU Journal of the Faculty of Architecture. 2021. Vol. 18. No. 1. Pp. 153–169.

17. Jeannine Muller. The Architecture of Waste Designing New Avenues for Public Engagement with Trash. Ri-vista. 2018. No 1. Pp. 36 – 52. AdobeAcrobatReader. URL: <https://core.ac.uk/download/pdf/228596475.pdf> (date of treatment: 20.06.2022)

18. Buka V., Ivanova O., Sheromova I. The theme of nature in building architecture. [Tema prirody v arhitekture zdanii]. [Arhitektura i dizajn: istoriya, teoriya, innovaciya]. 2020. No. 4. Pp. 187–192. (rus)

19. Lebedev Yu., Rabinovich V., Polozhai E., Architectural bionics. [Sroyizdat]. 1990. 269 p. (rus)

20. Georgoulas A., Kara H., Asensio Villoria L. Architecture and Waste Management. «Harvard Design Magazine». 2015. Pp. 40–47.

21. Mihailov V., Savostenko V. Design features of modern waste processing plants. [Osobennosti proektirovaniya sovremennyh musoropererabatyvayushchih zavodov]. [Arhitektura i dizajn: istoriya, teoriya, innovaciya]. 2018. No. 3. Pp. 161–166. (rus).

Information about the authors

Supranovich, V. M. PhD. E-mail: vmsupranovich@gmail.com. Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering (SPbGASU). Russia, 190005, Saint Petersburg, 2-ya Krasnoarmeiskaya st.,4.

Safronova, A. D. Student. E-mail: arinasddd@gmail.com. Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering (SPbGASU). Russia, 190005, Saint Petersburg, 2-ya Krasnoarmeiskaya st.,4

Received 02.11.2022

Для цитирования:

Супранович В.М., Сафронова А.Д. Тенденции формообразования мусороперерабатывающих объектов. Основные направления и их влияние на архитектуру МПО // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2023. № 3. С. 97–110. DOI: 10.34031/2071-7318-2022-8-3-97-110

For citation:

Supranovich V.M., Safronova A.D. Shaping trends of waste recycling objects. Main directions and their impact on WRO architecture. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2023. No. 3. Pp. 97–110. DOI: 10.34031/2071-7318-2022-8-3-97-110

DOI: 10.34031/2071-7318-2022-8-3-111-121

Касимова А.Р.*Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет**E-mail: adema-23352@inbox.ru*

ФОРМИРОВАНИЕ МОБИЛЬНОЙ АРХИТЕКТУРЫ ОБЪЕКТОВ ЭТНОКУЛЬТУРНОГО ТУРИЗМА В УСЛОВИЯХ РОССИЙСКО-КАЗАХСТАНСКОГО ПРИГРАНИЧЬЯ

Аннотация. *Российско-Казахстанское приграничье обладает значительным потенциалом для развития этнокультурного туризма. Одной из рекомендуемых форм организации туризма на исследуемой территории является применение мобильных объектов. На основании этого целью исследования служит выявление особенностей формирования подобных мобильных туристских зданий. Задачи исследования направлены на изучение исторического опыта формообразования жилищ кочевых народов и анализ современных, трансформируемых, передвижных, временных мобильных зданий с учетом специфики условий Российско-Казахстанского приграничья. Методы, применяемые в научной работе - сравнительный анализ мобильных зданий по различным критериям и численный метод определения коэффициента компактности архитектурной формы. В рамках исследования рассмотрены отличные по способу передвижения и среде обитания подвижные модули, определены наиболее распространенные виды трансформации объектов, разобран способ достижения высокой степени мобильности домов кочевых народов, рассчитаны коэффициенты компактности мобильных зданий, исследована архитектурно-планировочная организация современных передвижных построек и проанализированы конструктивные и технологические решения систем жизнеобеспечения транспортабельных зданий. В результате исследования были выявлены следующие требования к формированию мобильных туристских зданий в исследуемом регионе: передвижение здания посредством автомобильных транспортных средств, трансформация объема с помощью телескопического выдвигания, стремление к компактности архитектурных форм, функциональная целесообразность жилища и автономность инженерных систем объекта. Сделан вывод о том, что выявленные требования к проектированию мобильных туристских зданий будут способствовать созданию современных объектов, соответствующих принципам устойчивого развития туризма.*

Ключевые слова: *Российско-Казахстанское приграничье, трехступенчатая система организации этнокультурного туризма, мобильность, трансформация, компактность, функциональная целесообразность, автономность.*

Введение. Российско-Казахстанский приграничный регион имеет богатый природный и историко-культурный потенциал для активного развития этнокультурного туризма. В ранних наших исследованиях было выявлено свыше 300 этнических поселений, где сохранились многочисленные объекты материального и нематериального культурного наследия, среди которых природные и историко-архитектурные памятники, традиционные обряды, праздники и игры, особенности производства ремесленных изделий, приготовления национальных блюд, исполнения народных песен и др. [1]. Помимо значительного туристского потенциала данная территория обладает и сдерживающими факторами, такими как недостаточная развитость транспортной инфраструктуры, разрозненность и большая удаленность друг от друга этнических поселений. Поэтому автором была предложена трехступенчатая система организации этнокультурного туризма для условий Российско-Казахстанского приграничья, охватывающая выявленные этнические поселения (Рис. 1) [2].

Для каждой ступени системы характерен определенный этап погружения в культуру этноса: первый этап – осмотр смоделированных экспозиций на территории туристских учреждений, второй – изучение объектов культурного наследия в близлежащих этнических поселениях и третий – продолжительное посещение отдаленных труднодоступных этнических поселений для вовлечения в хозяйственно-бытовую деятельность и участие в семейных ритуалах и праздниках. Мобильные туристские здания применяются для каждого из этапов, однако для третьего рекомендуются основными средствами достижения поселений. Предполагается, что применение подобных мобильных зданий будет способствовать охране экологической и культурной идентичности местности, что отвечает концепции устойчивого развития туризма.

Таким образом, целью исследования является выявление особенностей формирования мобильных зданий в системе организации этнокультурного туризма для условий Российско-Казахстанского приграничья. Задачами исследования

служат: рассмотрение исторических типов жилищ кочевых народов и анализ современных сборно-разборных, передвижных, временных мобильных зданий с учетом специфики природно-

климатических, ландшафтных характеристик и транспортной инфраструктуры исследуемого региона.

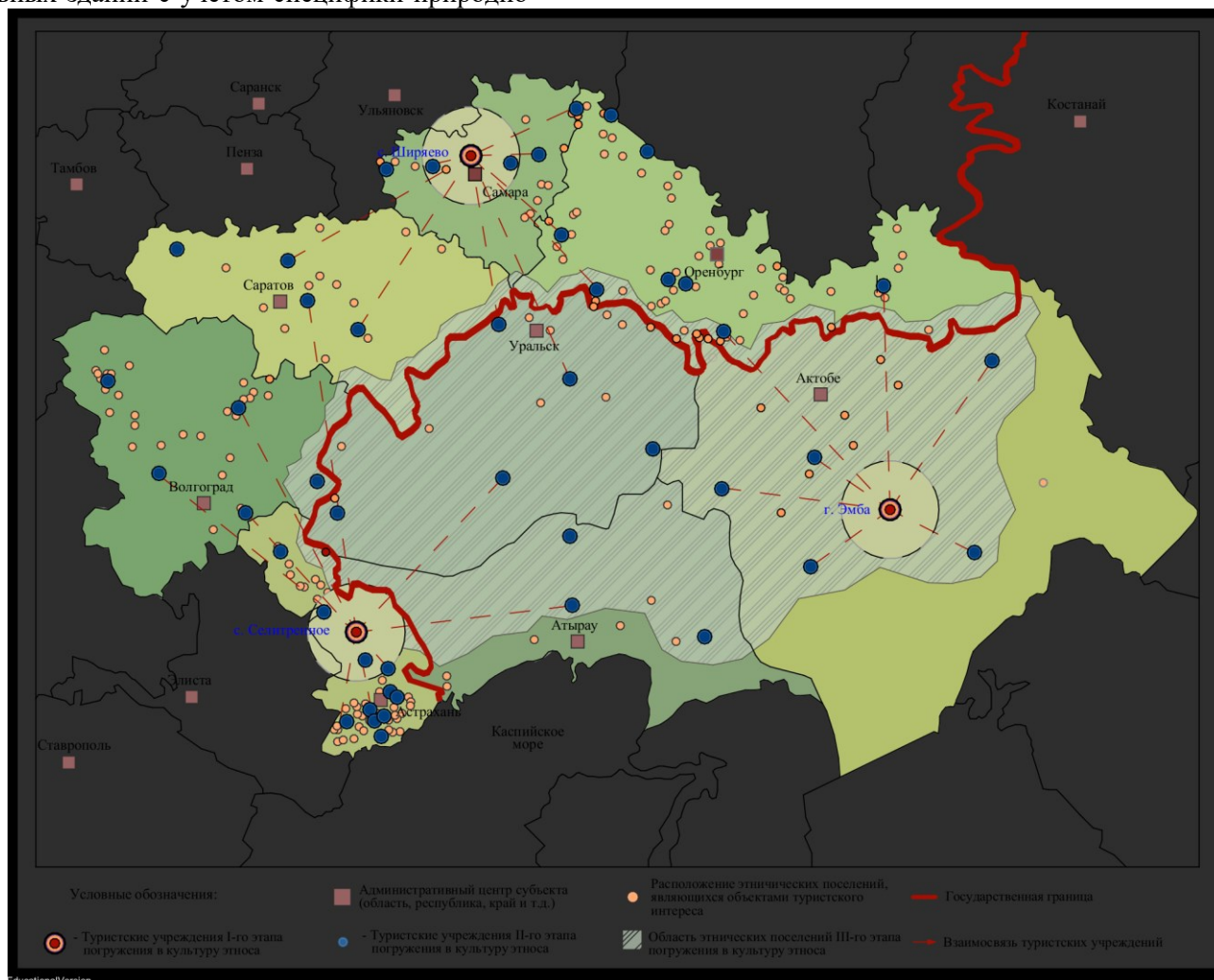


Рис. 1. Трехступенчатая система организации этнокультурного туризма для условий Российско-Казахстанского приграничья [2]

В настоящее время накоплен обширный теоретический материал на тему мобильных зданий, который заключается в выявлении классификационных признаков временного жилища и его типологии, разработке рекомендаций по функционально-пространственной и конструктивной организации передвижных блоков, формировании принципов проектирования мобильного жилья для различных сред обитания, определении факторов проектирования транспортабельных жилищ для сферы туризма и отдыха, а также особенностей проектирования мобильного жилища рекреационного назначения [3, 4, 5, 6, 7, 8]. Исследователем Астаховой Е.С. выявлены четыре принципа проектирования рекреационного мобильного жилища, среди которых компактность, многофункциональность, трансформация и автономность инженерного обеспечения [7]. Однако, в данном исследовании не учитываются требования к экологической безопасности окружающей

среды и специфике эксплуатации мобильного жилья на конкретной территории. В то время как в работе ученого Хвьи И.К. сформированы определенные принципы мобильного рекреационного жилища для условий Украины, такие как принцип структурности, динамичности формирования, гибкости и антропологизма восприятия формы, но не сформированы требования к энергоэффективности и энергосбережению зданий [8]. В соответствии с этим выявление особенностей формирования мобильных туристских зданий для условий Российско-Казахстанского приграничья представляется актуальным.

Материалы и методы. Методами исследования являются анализ исторических и современных типов передвижных зданий и сооружений, численный метод определения коэффициента компактности формы и исследование планировочной организации мобильных жилищ.

Основная часть. Понятие «мобильности» в архитектуре имеет две точки зрения. Согласно первой — это быстрота реагирования зданий и сооружений на изменяющиеся потребности обитателей в то время, как вторая — это способность к непосредственному физическому передвижению [9].

По способу передвижения различают самодвижущиеся и переносные объекты. Самодвижущиеся мобильные здания, как правило, совмещены с ходовой частью транспортного средства (автомобильного, железнодорожного, водного и воздушного) и оснащены двигателем. Переносные объекты транспортируются полностью готовые к эксплуатации или в разобранном виде всевозможными средствами передвижения. В результате анализа мобильных зданий в зависимости от среды обитания и способа передвижения были выявлены различные типы объектов (Рис.

2). В воздушной и водной среде существуют объекты как самостоятельно движущихся зданий при помощи двигателей, так и доставляемые при помощи летательных аппаратов и плавучих средств. Мобильные здания, предлагаемые для передвижения в воздушной среде в основном, являются концепциями. Для земной среды характерно большее разнообразие в реализации мобильности зданий, так среди самодвижущихся типов различают объекты, установленные на автомобильную ходовую часть или совмещенные с гусеничной лентой; структуры, имеющие форму колеса и конструкции, шагающие при помощи механических опор. Переносные по земле мобильные здания имеют следующие типы: объекты, помещенные на автомобильную ходовую часть или смонтированные на полозьях; структуры, имеющие сферическую или цилиндрическую форму и бесколесные объемные блоки.

Способ передвиж.	Схема	Объекты	Схема	Объекты
Воздушная среда обитания				
Самостоятельно		 Держабль "Airliner 10"/> Многоуровневый держабль "Air-30"/>		 Плавучий дом "Sadak RTR SUNO"/> Плавучий дом "Atlantis"/>
В качестве груза		 Держабль "Freedom"/> Проект "Город будущего"/>		 Плавучий дом "Arkup"/> Плавучий дом "The Embassy Bed"/>
Земная среда обитания				
Самостоятельно		 Моноколесер "Dunashere"/> Проект "Мигрирующие небоскребы"/>		 Вездеход "TM140"/> Вездеход "Гиртек"/>
		 Автомобиль "Vado-Mobil Perfect Set"/> Автомобиль "Sun Living A700Ж"/>		 Концепция скелетной структуры "Носорог" Тим Янгеля Проглочный дом, г. Копенгаген"/>
В качестве груза		 Дом "Бочка"/> Остров "Lava" г. Маунтбей-Сэйз		 Дом-прицеп "Base Cabin"/> Жилый прицеп "Kotokou"/>
		 Модульный дом "Coodo"/> Дом "Brette 20"/>		 Дом на саях, Италия Дом, арх. бюро "Civicon Architects"/>

Рис. 2. Классификация мобильных зданий в зависимости от способа передвижения и среды обитания (авторская иллюстрация)

Транспортная инфраструктура исследуемого региона характеризуется такими особенностями, как значительная удаленность этнических поселений от крупных и средних городов (от 50

до 300 км и более), невысокое качество дорожного покрытия автомобильных дорог или его полное отсутствие в степных и полупустынных районах, ограниченность системы железнодорожного сообщения, слабо развитая сеть малой

пассажирской авиации и высокая стоимость авиабилетов [1]. Таким образом, в условиях Российско-Казахстанского приграничья выбор способа передвижения серьезно ограничен, а мобильное здание должно обладать особыми характеристиками – проходимостью, маневренностью, ограниченными размерами и пригодностью конструкции к отсутствию дорог (бездорожью).

В настоящее время это достигается самодвижущимися зданиями, установленными на автомобильную ходовую часть. Как видно из анализа подобных объектов существуют различные типы мобильных домов на колесах – трейлеры, отличающиеся классами удобства, трансформацией различных элементов, автономностью использования, количеством спальных мест и т.д. [10]. Однако данные трейлеры запроектированы для передвижения по качественным асфальтовым магистралям с местами для кемпинга, где есть возможность пополнить ресурсы, что в условиях исследуемого региона невозможно. Исходя из этого, можно выявить первое требование к формированию мобильных туристских зданий в условиях рассматриваемого региона:

- при создании самодвижущихся жилищ – оснащение мощным двигателем и полным приводом для преодоления различных водных и земных преград; оборудование пневматической подвеской, создающей комфортные условия для передвижения; снабжение многокамерным топливным баком с большим объемом топлива для автономности от автомобильных заправок; оснастка бескамерными шинами с системой регулирования давления, запасным колесом, системой навигации ГЛОНАСС, радиосвязью; использование качественных композитных материалов в конструкции жилой зоны для предотвращения искажения модуля при сильных перепадах температур; высокая посадка, как у внедорожников и экспедиционных автомобилей и грузовиков, а также крепление рамы к шасси посредством кинематической системы, позволяющей мобильному блоку не зависеть от жесткости рамы и тем самым обеспечивать комфорт пассажирам на сложных участках дороги;

- при проектировании жилищ, перевозимых в качестве груза – перевозка мобильного здания посредством грузового автомобиля или формирование модуля по типу прицепа с установкой на автомобильную ходовую часть.

Термин «трансформация» (от лат. *transformatio*) означает изменение, преобразование. В зависимости от характера преобразования трансформация архитектурных объектов бывает качественной и количественной. Качественное изменение объекта происходит «путем преобразования внутренних элементов при сохранении его

общих постоянных размеров, что обеспечивает многофункциональное использование пространства здания» [9]. Количественное изменение объекта связано с его конструктивной трансформацией общих габаритов «в соответствии с пространственными или природно-климатическими требованиями и с возможностью пакетирования здания, с транспортировкой и установкой его на новом месте» [9]. В научной работе Панфилова А.В. были выявлены 12 видов трансформации внешнего объема и внутреннего пространства: телескопическое выдвижение, подъем элементов, пневматические (воздухоопорные) конструкции, осевая трансформация, складчатая конструкция (гармошка), вращение из плоскости, раскрывающиеся конструкции, трансформация из плоскости, сдвиг (слайдер), кластерная (наборная) система, трансформируемое внутреннее пространство, подъем элементов с поворотом [3]. Анализ мобильных зданий по видам трансформации показал, что наиболее распространенным изменением является подъем элементов, складчатая конструкция, трансформация из плоскости и телескопическое выдвижение (Рис. 3).

Мобильное жилище кочевых народов является ярким примером трансформации внешнего объема вследствие складывания в пакет целой постройки и возможности изменения внутреннего пространства за счет открытости плана. В зависимости от продолжительности проживания подобные объекты подразделяются на постоянные – гер, юрта, яранга, чум и временные – палатки [11]. Основой для кочевых домов являются сферические каркасные конструкции с очагом в центре, однако они имеют отличительные особенности в деталях конструкций и архитектурно-планировочной организации внутреннего пространства. За долгий период развития мобильных жилищ кочевых народов были выработаны правила сборки и разборки конструкции, способы украшения и меблировки дома. Данные легкие сборно-разборные постройки приспособлены к транспортировке на выючных животных и характеризуются минимальным временем приведения здания в эксплуатационное состояние. Например, вес тюркской юрты с мебелью не превышает 350 - 400 кг, а время ее сборки равно 1 час, что говорит о высокой степени мобильности благодаря молниеносности трансформации из отдельных плоскостных деревянных элементов (уик, кереге) в объемную форму. Кроме того, Российско-Казахстанское приграничье является территорией, где вели свою хозяйственную деятельность кочевые тюркские народы, такие как татары, башкиры, ногайцы, казахи и др. Поэтому, определяя особенности мобильных туристских зданий на выбранной территории стоит отметить

выдвижение, т.к. объекты с телескопическим выдвижением обладают высокой скоростью трансформации, «легкостью буксировки за счет меньшего объема, маневренностью, отсутствием физических усилий при приведении блока в стационарное положение и увеличением площади в несколько раз. Кроме того, существуют примеры мобильных телескопических автодомов и прицепов со встроенной мебелью и оборудованием, из которого минимальный «трейлерный» набор сохраняется даже при движении» [1].

Внутреннее пространство		Варианты трансформации	Схема	Объекты				
Внутреннее пространство	Трансформируемое внутреннее пространство			Раздвижные перегородки Фолдия		Раздвижные перегородки в зале дома "Анк Геролина"		
	Планиметрические конструкции			Надувная палатка-шар		Палатка надувная пневмоторсионная		
		Осиная трансформация			Палатка кемпинговая		Передвижной дом Breite 20	
		Бриллиант			Проект "ReActor"		Жилой принцип "Kapselbau"	
				Бриллиант из плоскости		Проект "ReActor"		Жилой принцип "Kapselbau"
				Подъем			Автомобиль Volkswagen camper Van	
Подъем с горизонтом			Трансформируемый модуль компании "Andri"		Дом-трансформер комп. "Ten Fold Engineering"			

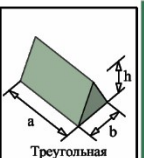
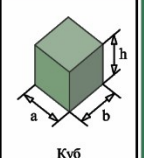
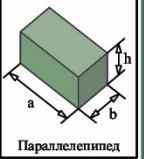
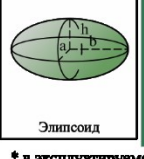
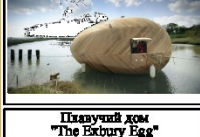
Внешнее пространство		Варианты трансформации	Схема	Объекты				
Внешнее пространство	Трансформируемое внешнее пространство			Раздвижные перегородки Фолдия		Раздвижные перегородки в зале дома "Анк Геролина"		
	Планиметрические конструкции			Надувная палатка-шар		Палатка надувная пневмоторсионная		
		Осиная трансформация			Палатка кемпинговая		Передвижной дом Breite 20	
		Бриллиант			Проект "ReActor"		Жилой принцип "Kapselbau"	
				Бриллиант из плоскости		Проект "ReActor"		Жилой принцип "Kapselbau"
				Подъем			Автомобиль Volkswagen camper Van	
Подъем с горизонтом			Трансформируемый модуль компании "Andri"		Дом-трансформер комп. "Ten Fold Engineering"			

Рис. 3. Виды трансформации мобильных зданий (авторская иллюстрация)

ношению к полезной площади здания. В результате исследования коэффициента компактности мобильных зданий было выявлено, что постройки, приближенные к сферической или шарообразной форме, являются наиболее компактными (Рис. 4). Подтверждением этому служит научная работа, в которой проведен анализ национальных жилищ с учетом коэффициента компактности зданий [13]. Среди национальных жилищ были рассмотрены чум, сакля, жилище тодов, монгольская и тюркская юрты. В итоге наиболее компактным зданием признана тюркская юрта, геометрическим характером формы

которой является сфера. Известно, что использование сложных по форме объемов и чрезмерной пластики фасадов зданий увеличивает площадь ограждающих конструкций, охлаждаемых зимой и нагреваемых летом, что тем самым повышает энергозатраты на отопление и охлаждение жилища. Поэтому данный аспект играет важную роль в природно-климатических условиях Российско-Казахстанского приграничья, отличающихся резко-континентальным и засушливым типом климата, характеризующимся холодной зимой и жарким летом с суховеями. Также, к параметрам архитектурной формы мобильных зданий помимо компактности предъявляются требования по максимально допускаемым габаритным

размерам перемещаемых объемов. В связи с тем, что организация передвижения построек задействует автомобильные дороги общего пользования, то размеры ограничиваются следующими значениями: высота – 4 м, ширина – 2,5 м, длина 20 м для автопоезда и 24 м – для автопоезда с двумя и более прицепами [14]. Таким образом, можно выявить третье требование к формированию мобильных туристских зданий в изучаемом регионе — создание компактных передвижных форм приближенным к сферическим объемам и ограниченных предельно допустимыми габаритами транспортных средств.

Геометрическая форма	Параметры	Объект	$S_{\text{огр. пов.}}, \text{ м}^2$	$V_{\text{внутр.}}, \text{ м}^3$	Коеф. компакт.	Параметры	Объект	$S_{\text{огр. пов.}}, \text{ м}^2$	$V_{\text{внутр.}}, \text{ м}^3$	Коеф. компакт.
 Треугольная призма	$a = 9,0 \text{ м}$ $b = 2,6 \text{ м}$ $h = 4,0 \text{ м}$	 Жилой прицеп "FairyPod"	124,4	81,9	1,5	$a = 10,0 \text{ м}$ $b = 6,0 \text{ м}$ $h = 5,5 \text{ м}$	 Жилой дом "Бурос"	211,2	156,0	1,4
 Куб	$a = 3,0 \text{ м}$ $b = 3,0 \text{ м}$ $h = 5,6 \text{ м}$	 Дом, арх. бюро "Сквозок Architects"	85,2	50,4	1,7	$a = 7,2 \text{ м}$ $b = 3,9 \text{ м}$ $h = 3,8 \text{ м}$	 Модульный дом "Кода"	140,5	106,7	1,3
 Параллелепипед	$a = 8,4 \text{ м}$ $b = 2,6 \text{ м}$ $h = 2,7 \text{ м}$	 Жилой прицеп "Land Ark RV"	103,1	59,0	1,7	$a = 9,4 \text{ м}$ $b = 2,9 \text{ м}$ $h = 3,5 \text{ м}$	 Модульный дом, арх. бюро "Map Architects"	140,6	95,4	1,5
 Цилиндр	$a = 4,6 \text{ м}$ $r = 1,3 \text{ м}$	 Жилой прицеп "Beaver ЗХС"	48,2	24,4	2,0	$a = 3,0 \text{ м}$ $r = 3,0 \text{ м}$	 Жилой дом "LumiPod"	122,6	99,0	1,2
 Эллипсоид	$a = 1,2 \text{ м}$ $b = 2,3 \text{ м}$ $h = 1,3 \text{ м}$	 Автономный передвижной дом "Eco-sphere"	30,0	14,1	2,1	$a = 1,8 \text{ м}$ $b = 3,0 \text{ м}$ $h = 1,8 \text{ м}$	 Плавучий дом "The Exbury Egg"	60,0	40,7	1,5

* в эксплуатируемом состоянии

Рис. 4. Анализ компактности архитектурной формы мобильных зданий (авторская иллюстрация)

Архитектурно-планировочная организация мобильного здания идентична современному жилищу. В ее состав входят такие функциональные зоны, как зона сна и общесемейного отдыха, зона приготовления и приема пищи, зона личной гигиены, зона хранения вещей и инженерного оборудования. Отличие мобильного от стационарного жилища заключается в минимально необходимых площадях функциональных зон и возможности их трансформации. Данные зоны могут

быть размещены в отдельных нишах объекта, взаимодействовать с другими зонами в системе открытого плана, располагаться на различных ярусах при избыточной высоте, использовать трансформирующуюся многофункциональную мебель и др. Исследование мобильных жилищ позволило выявить площади функциональных зон, среди которых кухонная зона в большинстве случаев располагается в нише и занимает от 1 до 2,5 м², зона личной гигиены использует от 1,5 до

3 м², для зоны сна требуется от 2 до 3 м² при одностороннем размещении и от 4 до 6 м² при двухстороннем, общесемейная зона как правило предполагает включение пространства для принятия пищи и общения за обеденным столом и имеет параметры от 3 м² и более, зона хранения вещей в большинстве случаев рассредоточена и располагается на 1-2 м² (Рис. 5). Параметры длины, ширины и высоты мобильных домов ограничены предельно допустимыми габаритами транспортных средств в зависимости от задействованных путей передвижения. Для самодвижущихся зданий - автодомов характерны следующие параметры: длина - от 4 до 6 м, ширина - от 1,8 до 2,5 м и высота - от 1,5 до 3 м; мобильные жилища, установленные на автомобильную ходовую часть – прицепы имеют длину от 4 до 9 м, ширину от 1,8 до 2,5 м и высоту от 2,5 до 4 м; перевозимые в качестве груза объекты обладают более крупными размерами – длина колеблется от 6 до 12 м.,

ширина от 1,8 до 2,5 м., а высота от 2,5 до 4 м. Согласно анализу мобильных зданий неизменяемая форма свойственна передвижным зданиям, обладающим колесами, тогда как изменяемая, трансформируемая форма присуща объектам перевозимым в качестве груза. В этой связи четвертым требованием к формированию мобильных туристских зданий в условиях рассматриваемого региона будет наличие следующих функциональных зон:

- для перевозимых в качестве груза объектов
- зона приготовления пищи (кухня-ниша) 1-2 м², зона личной гигиены (совмещенный душ с унитазом и умывальником) 2-3 м², спальная зона 3-6 м², общая зона (помещение для туристов с комфортабельными сидениями и столом на 2-4 человека) 6-8 м² и зона хранения 1-2 м²;
- для самодвижущихся объектов добавляется зона расположения туристов и водителя при движении блока 3-5 м².

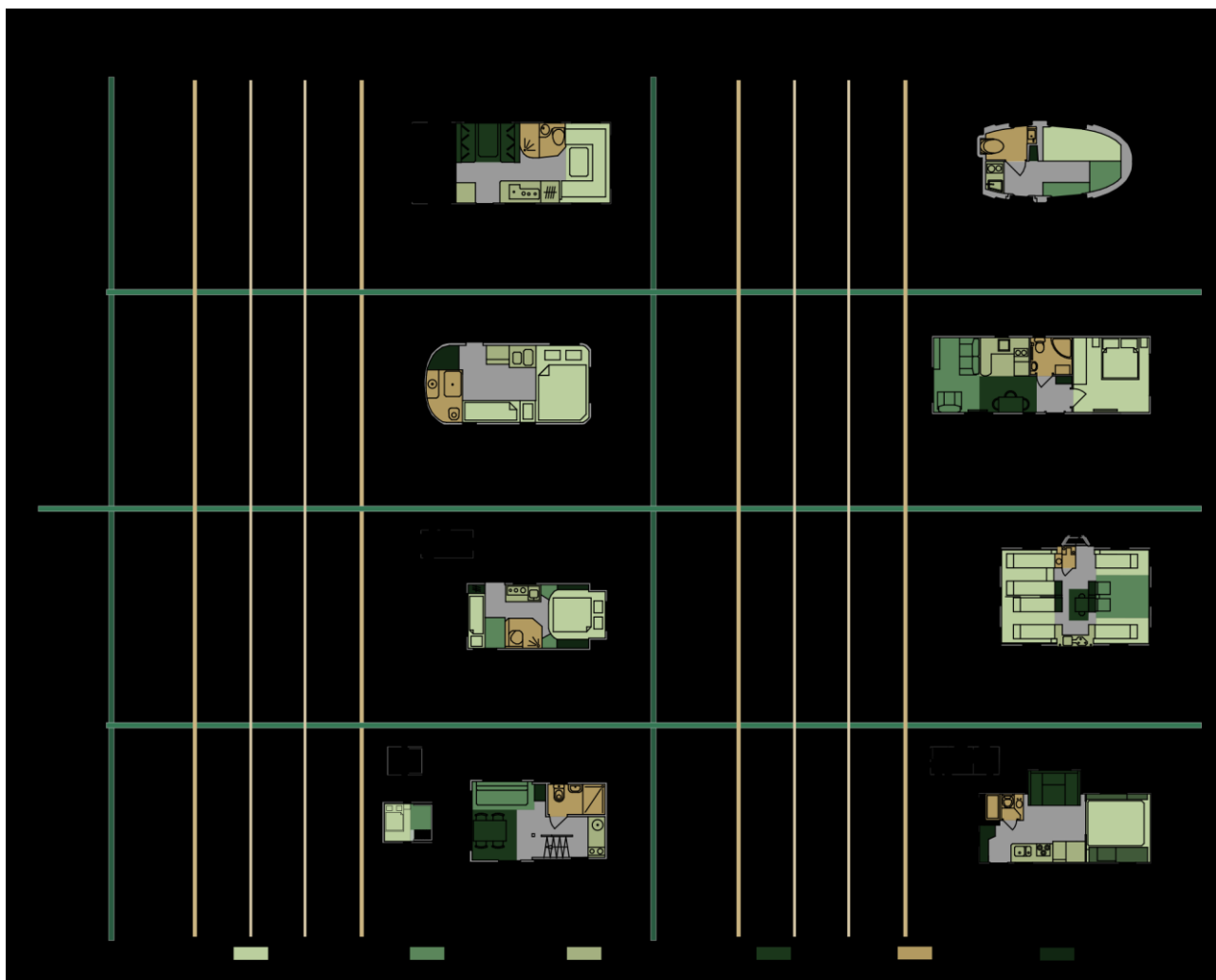


Рис. 5. Исследование функционально-планировочной организации мобильных зданий (авторская иллюстрация)

Конструктивное и технологическое решение современного мобильного жилища должно отвечать концепции устойчивого развития туризма, в которой особое место занимают экологическая

безопасность окружающей среды, внедрение ресурсосберегающих технологий и регулирование рекреационных нагрузок на природные ком-

плексы. Мобильные здания позволяют уменьшить техногенную нагрузку не только на уникальные ландшафты, но и скорректировать влияние на инженерную инфраструктуру туристских комплексов. Изучение передвижных жилищ с целью определения зависимости построек от вспомогательных инженерных служб показало, что существует два типа здания – зависимое и автономное (Рис. 6). Зависимое здание как правило нацелено на подключение к различным инженерным системам и обладает минимальным набором приборов, обеспечивающих комфортные условия проживания. Автономное здание предполагает самостоятельное функционирование жилища в независимости от централизованных систем водоснабжения, канализации, электро-, газо- и теплоснабжения [15]. Автономность мобильных жилищ обеспечивается применением

строительных материалов и конструктивных элементов, снижающих энергопотребление здания, использованием энергосберегающего оборудования и различными системами сбора и очистки воды. К энергосберегающему оборудованию, наиболее часто применяемому в мобильных зданиях, относятся: солнечные батареи, ветроэнергетические установки, рекуператоры воздуха, электрические аккумуляторы и др. Российско-Казахстанское приграничье обладает богатыми возобновляемыми природными ресурсами, такими как солнечная и ветровая энергии. В связи с этим можно выявить пятое требование к формированию мобильных туристских зданий исследуемого региона – применение экологичных, энергоэффективных строительных материалов и конструктивных элементов, а также создание автономных инженерных систем объекта.

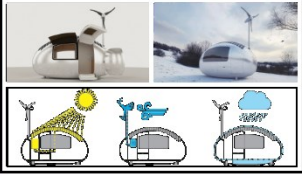
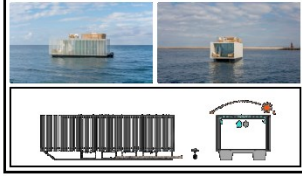
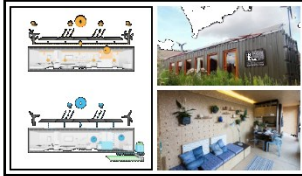
Тип здания	Инженерные системы	Объект	Инженерные системы	Объект
Зависимое от инфраструктурных вспомогательных служб здание	Водонагреватель электрический 50 литров мощностью 2 кВт*ч. Разводка инженерных коммуникаций для подключения к различным системам.	 Эко-модуль "Freedom 600"	Разводка инженерных коммуникаций для подключения к различным системам.	 Модульный дом "Alpod"
	Встроенный аккумулятор. Безыонный водонагреватель. Мини-система кондиционирования. Базисы с газом-пропаном. Разводка инженерных коммуникаций для подключения к различным системам.	 Жилый прицеп "Land Ark RV"	Разводка инженерных коммуникаций для подключения к различным системам.	 Дом-прицеп "Base Cabin"
Автономное здание	Солнечные панели - элементы общей площадью 2,6 м² и пиковой мощностью 880 Вт. Ветрогенератор на телескопической мачте (до 4,1м) мощностью 750 Вт. Встроенный аккумулятор емкостью 9,7 кВт*ч. Система очистки воды с предварительной фильтрацией и обеззараживанием при помощи светодиодных ультрафиолетовых ламп.	 Автономный передвижной дом "Eco-capsule"	Литиевые батареи. Стеклопакеты производства Фангнал, обеспечивающие светопропускание на уровне 61% при этом солнечный фактор составляет 32%. Биодинамическая система освещения.	 Плавающий дом "Mar Marina Lodge"
	Солнечные панели. Система сбора дождевой воды.	 Передвижной дом "House Ato"	Солнечные панели. Ветрогенераторы. Встроенные аккумуляторные батареи емкостью 20 кВт*ч. Система сбора дождевой воды.	 Мобильное жилище от компании "Sustainer Homes"

Рис. 6. Анализ инженерных систем мобильных зданий (авторская иллюстрация)

Выводы. В результате анализа современных сборно-разборных, передвижных, временных построек и изучения исторических типов жилищ кочевых народов были выявлены требования к формированию мобильных туристских зданий в условиях Российско-Казахстанского приграничья. К ним относятся:

- передвижение здания посредством автомобильных транспортных средств будь то перевозка грузовым автомобилем или формирование модуля по типу прицепа, а также организация самодвижущихся жилищ по типу трейлера;

- трансформация объема с помощью телескопического выдвижения и стремление к минимальному времени приведения объекта в эксплуатационное состояние;

- компактность архитектурной формы здания и соблюдение предельно допустимых габаритов транспортных средств;

- функциональная целесообразность жилища с наличием зон, необходимых для комфортных условий жизнедеятельности туристов;

- автономность инженерных систем объекта и применение экологичных, энергоэффективных строительных материалов и конструктивных элементов здания.

Таким образом, сформированные требования к проектированию мобильных туристских зданий в системе организации этнокультурного туризма для исследуемого региона будут способствовать созданию комфортных жилищ, способных к перемещению на большие расстояния с минимальными затратами энергии и отвечающих современным принципам экологического проектирования объектов туризма.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Касимова А.Р. Архитектурное формирование этнокультурных туристских кластеров: на примере Российско-Казахстанского приграничного региона: дис. ... канд.арх.: 2.1.12 / А.Р. Касимова. Нижний Новгород, 2021. 482 с.
2. Касимова А.Р. Формирование объемно-пространственной организации этнокультурных туристических кластеров на территории Российско-Казахстанского приграничья // Приволжский научный журнал. 2020. № 4 (56). С. 263–271.
3. Панфилов А.В. Особенности формирования мобильного жилища для временного пребывания: конец XX – начало XXI века: автореф. дис. ... канд.арх.: 05.23.21 / А.В. Панфилов. М., 2013. 26 с.
4. Сапрыкина Н.А. Мобильное жилище для Севера. Л.: Стройиздат, 1986. 213 с.
5. Кизилова С.А. Принципы формирования резервного мобильного жилища в водной среде: автореф. дис. ... канд.арх.: 05.23.21 / С.А. Кизилова. М., 2021. 31 с.
6. Горбачев А.А., Ворожейкина О.И., Ворожейкин Н.Н. Проектирование мобильного жилья для сферы туризма и отдыха // Курорты. Сервис. Туризм. 2016. № 2 (31). С. 23–31.
7. Избранные вопросы современной науки. Монография. Часть XXV / под ред. С. П. Акутина. М.: Издательство «Перо», 2017. 174 с.
8. Хвыля И.К. Особенности формообразования мобильного рекреационного жилища (МРЖ) для условий Украины: автореф. дис. ... канд.арх.: 18.00.02 / И.К. Хвыля. М., 1994. 26 с.
9. Сапрыкина Н.А. Основы динамического формообразования в архитектуре. М.: Архитектура-С, 2005. 311 с.
10. Шкиро Е.А., Колосова И.И. Анализ мирового опыта использования мобильного жилья по типу трейлера // Новые идеи нового века: материалы международной научной конференции ФАД ТОГУ. 2013. Т. 3. С. 400–406.
11. Майдар Д., Пюрвеев Д. От кочевой до мобильной архитектуры. М.: Стройиздат, 1980. 216 с.
12. СП 50.13330.2012 Тепловая защита зданий [Электронный ресурс]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200095525> (дата обращения 20.01.2023).
13. Банцорова О.Л., Трофимова Т.Е., Касимова А.Р. Влияние морфогенеза жилых зданий на повышение их энергоэффективности // Научное обозрение. 2016. № 11. С. 122–126.
14. ГОСТ 33987-2016. Транспортные средства колесные. Массы и размеры. Технические требования и методы определения. [Электронный ресурс]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200145826> (дата обращения 20.01.2023).
15. Погонин А.О. Принципы формирования автономных жилых зданий в экстремальных условиях природного характера: автореф. дис. ... канд.арх.: 05.23.21 / А.О. Погонин. М., 2010. 30 с.

Информация об авторах

Касимова Адема Рамазановна, кандидат архитектуры, доцент кафедры архитектуры.

E-mail: adema-23352@inbox.ru. Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет. Россия, 129337, Москва, Ярославское шоссе, д. 26.

Поступила 24.01.2023 г.

© Касимова А.Р., 2023

Kasimova A.R.

National research Moscow state University of civil engineering

E-mail: adema-23352@inbox.ru

FORMATION OF MOBILE ARCHITECTURE OF OBJECTS OF ETHNO-CULTURAL TOURISM IN THE CONDITIONS OF THE RUSSIAN-KAZAKH BORDERLAND

Abstract. *The Russian-Kazakh border area has a significant potential for the development of ethno-cultural tourism. One of the recommended forms of organizing tourism in the study area is the use of mobile objects. Based on this, the purpose of the study is to identify the features of the formation of such mobile tourist buildings. The objectives of the research are aimed at studying the historical experience of shaping the dwellings of nomadic peoples and analyzing modern, transformable, mobile, temporary mobile buildings, taking into account the specifics of the conditions of the Russian-Kazakh border area. The methods used in scientific work are a comparative analysis of mobile buildings according to various criteria and a numerical method for determining the compactness coefficient of the architectural form. Within the framework of the study, mobile modules that differ in the way of movement and habitat are considered. The most common types of object transformation are identified, a method for achieving a high degree of mobility of nomadic peoples' houses is analyzed, the compactness coefficients of mobile buildings are calculated, the architectural and planning organization of modern mobile buildings is investigated and the constructive and technological solutions of life support systems of transportable buildings are analyzed. As a result of the study, the following requirements are identified for the formation of mobile tourist buildings in the studied region: the movement of the building by means of motor vehicles, the transformation of volume by means of telescopic extension, the desire for compactness of architectural forms, the functional expediency of the dwelling and the autonomy of the engineering systems of the object. It is concluded that the identified requirements for the design of mobile tourist buildings will contribute to the creation of modern facilities that comply with the principles of sustainable tourism development.*

Keywords: *Russian-Kazakh border area, three-stage system of organization of ethno-cultural tourism, mobility, transformation, compactness, functional expediency, autonomy.*

REFERENCES

1. Kasimova A.R. Architectural formation of ethno-cultural tourist clusters: on the example of the Russian-Kazakh border region [Arhitekturnoe formirovanie etnokul'turnyh turistskih klasterov: na primere Rossijsko-Kazahstanskogo prigranichnogo regiona]: dissertaciya kandidata arhitektury: 2.1.12. Nizhnij Novgorod. 2021. 482 p. (rus)
2. Kasimova A.R. Formation of spatial organization of ethno-cultural tourist clusters in the territory of the Russian-Kazakh border region [Formirovanie ob'emno-prostranstvennoj organizacii etnokul'turnyh turistscheskih klasterov na territorii Rossijsko-Kazahstanskogo prigranich'ya]. Privolzhskij nauchnyj zhurnal. 2020. No. 4 (56). Pp. 263–271. (rus)
3. Panfilov A.V. Features of the formation of a mobile home for temporary stay: the end of the XX – beginning of the XXI century [Osobennosti formirovaniya mobil'nogo zhilishcha dlya vremennogo prebyvaniya: konec XX – nachalo XXI veka]: avtoreferat dissertacii kandidata arhitektury: 05.23.21. Moscow. 2013. 26 p. (rus)
4. Saprykina N.A. Mobile home for the North [Mobil'noe zhilishche dlya Severa]. Leningrad: Stroizdat. 1986. 213 p. (rus)
5. Kizilova S.A. Principles of formation of a backup mobile home in the aquatic environment [Principy formirovaniya rezervnogo mobil'nogo zhilishcha v vodnoj srede]: avtoreferat dissertacii kandidata arhitektury: 05.23.21. Moscow. 2021. 31 p. (rus)
6. Gorbachev A.A., Vorozhejkina O.I., Vorozhejkin N.N. Designing mobile housing for tourism and recreation [Proektirovanie mobil'nogo zhil'ya dlya sfery turizma i otdyha]. Kurorty. Servis. Turizm. 2016. No. 2 (31). Pp. 23–31. (rus)
7. Selected issues of modern science. Monograph. Part XXV [Izbrannye voprosy sovremennoj nauki. Monografiya. CHast' XXV] pod red. S.P. Akutina. Moscow: Izdatel'stvo «Pero». 2017. 174 p. (rus)
8. Hvylya I.K. Features of the formation of a mobile recreational dwelling (MRH) for the conditions of Ukraine [Osobennosti formoobrazovaniya mobil'nogo rekreacionnogo zhilishcha (MRZH) dlya uslovij Ukrainy]: avtoreferat dissertacii kandidata arhitektury: 18.00.02. Moscow. 1994. 26 p. (rus)
9. Saprykina N.A. Fundamentals of dynamic shaping in architecture [Osnovy dinamicheskogo formoobrazovaniya v arhitekture]. Moscow: Arhitektura-S. 2005. 311 p. (rus)
10. SHkiro E.A., Kolosova I.I. Analysis of the worldwide experience of using a mobile home of trailer type [Analiz mirovogo opyta ispol'zovaniya mobil'nogo zhil'ya po tipu trejlera]. Novye idei novogo veka: materialy mezhdunarodnoj nauchnoj

konferencii FAD TOGU. 2013. T. 3. Pp. 400–406. (rus)

11. Majdar D., Pyurveev D. From nomadic to mobile architecture [Ot kochevoj do mobil'noj arhitektury]. Moscow: Stroizdat. 1980. 216 p. (rus)

12. SP 50.13330.2012 Thermal protection of buildings [SP 50.13330.2012 Teplovaya zashchita zdaniy] URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200095525> (accessed 20.01.2023). (rus)

13. Bancerova O.L., Trofimova T.E., Kasimova A.R. Impact of the morphogenesis of residential buildings on the improvement of their energy efficiency [Vliyanie morfogeneza zhilyh zdaniy na povyshenie ih energoeffektivnosti]. Nauchnoe obozrenie. 2016. No. 11. Pp. 122–126. (rus)

14. GOST 33987-2016. Wheeled vehicles. Weights and sizes. Technical requirements and methods of determination [GOST 33987-2016. Transportnye sredstva kolesnye. Massy i razmery. Tekhnicheskie trebovaniya i metody opredeleniya]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200145826> (accessed 20.01.2023). (rus)

15. Pogonin A.O. Principles of formation of autonomous residential buildings in extreme natural conditions [Principy formirovaniya avtonomnyh zhilyh zdaniy v ekstremal'nyh usloviyah prirodnogo haraktera]: avtoreferat dissertacii kandidata arhitektury: 05.23.21. Moscow. 2010. 30 p. (rus)

Information about the authors

Kasimova, Adema R. PhD, Assistant professor. E-mail: adema-23352@inbox.ru. National research Moscow state University of civil engineering. Russia, 129337, Moscow, Yaroslavskoe shosse, 26.

Received 24.01.2023

Для цитирования:

Касимова А.Р. Формирование мобильной архитектуры объектов этнокультурного туризма в условиях Российско-Казахстанского приграничья // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2023. № 3. С. 111–121. DOI: 10.34031/2071-7318-2022-8-3-111-121

For citation:

Kasimova A.R. Formation of mobile architecture of objects of ethno-cultural tourism in the conditions of the Russian-Kazakh borderland. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2023. No. 3. Pp. 111–121. DOI: 10.34031/2071-7318-2022-8-3-111-121

МАШИНОСТРОЕНИЕ И МАШИНОВЕДЕНИЕ

DOI: 10.34031/2071-7318-2022-8-3-122-133

Хуртасенко А.В., Чуев К.В., Рыбак Л.А., Скитова В.М.Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова***E-mail: hurtintbel@mail.ru*

ДИНАМИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПЛАТФОРМЫ С 6-Ю СТЕПЕНЯМИ ПОДВИЖНОСТИ

Аннотация. В данной статье рассмотрены и проанализированы механизмы, построенные на принципах параллельной кинематики, предназначенные для выполнения различных технологических действий, с перемещением исполнительного органа по сложным пространственным траекториям. Механизмы с параллельными структурами обладают широкими возможностями для решения различных задач применения техники и технологий. Перспективными являются задачи, связанные с использованием в качестве подвижных оснований в различных симуляторах для получения навыков управления техникой (самолеты, автомобили, специализированная военная техника). Для проведения исследований кинематических и динамических характеристик разработан цифровой макет платформы – параметризованная 3D модель в САД системе. Платформа представляет систему с шестью степенями подвижности, которые реализованы на основе механизма с параллельной структурой. Приведено описание динамической имитационной модели с шестью степенями подвижности, разработанной с помощью программной среды MSC Adams. Модель предназначена для проведения исследований на этапе проектно-конструкторских работ при разработке симуляторов различных транспортных средств. Выполнено тестирование разработанной динамической модели с целью реализации методики проведения исследований кинематических и динамических характеристик платформы на основе имитационного моделирования. Приведены результаты, определяющие возможности модели для определения динамических и силовых параметров в отдельных элементах платформы при заданных геометрических параметрах конструкции платформы. Методика исследования цифрового макета платформы путем имитационного моделирования заключалась в выполнении моделью принятых траекторий с учетом технических характеристик актуаторов. При этом фиксировались и обрабатывались определенные динамические показатели. В результате построены графики изменения скоростей и ускорений центра масс, а также силовых характеристик (сумма сил, приложенных к телу в шарнире) при выполнении соответствующих траекторий.

Ключевые слова: динамическая модель, имитационная модель, механизм параллельной кинематики, платформа подвижности, цифровой макет.

Введение. В различных отраслях в качестве исполнительного оборудования все чаще используются механизмы, построенные на принципах параллельной кинематики. Это как правило автоматизированные системы, предназначенные для выполнения различных технологических действий, с перемещением исполнительного органа по сложным пространственным траекториям. При этом должны обеспечиваться определенные требования к точности позиционирования исполнительного органа, динамики перемещения. Перспективность применения таких механизмов обусловлена рядом выявленных преимуществ: высокая скорость и ускорение, достаточная жесткость в широком диапазоне положений, полезная нагрузка [1–5].

Механизмы с параллельными структурами обладают широкими возможностями для решения различных задач применения техники и технологий. Одними из наиболее перспективных являются эксплуатационные задачи, связанные с их использованием в качестве подвижных оснований в различных симуляторах для получения

навыков управления техникой (самолеты, автомобили, специализированная военная техника). Известны 6-ти степенные системы позиционирования на основе механизмов с параллельной структурой [6], которые эффективно реализованы во многих тренажерах [7–8], имитирующих процессы управления техническими средствами.

Повышение эффективности конструкций оборудования на базе механизмов с параллельной структурой решается ряд технических задач, связанных как с определением характеристик, обеспечивающих заданные параметры рабочего пространства [9–11], так и с определением динамических и инерционных характеристик [12–15].

Важной частью разработки оптимальных контракций являются исследования силовых реакций в базовых и подвижных элементах опор в соответствии с требуемыми траекториями. Обоснованные методики таких исследований обеспечивают успешное решение как проектных, так и проверочных задач, а также возможность поиска оптимальных контракций для определенного диапазона технических условий.

Динамическая модель платформы. И исходным объектом для разработки имитационной модели и последующих исследований служит платформа подвижности, используемая для тренажеров симуляции движения наземного транспорта. Действующая конструкция платформы изготавливается в настоящее время одним из современных российских предприятий. Платформа

представляет систему с шестью степенями подвижности, которые реализованы на основе механизма с параллельной структурой. Общий вид конструкции платформы показан на рисунке 1 и состоит из следующих основных компонентов: основание 1, подвижная платформа 2, актуаторы 3, шарниры 4. В таблицах 1 и 2 приведены технические характеристики и кинематические параметры платформы.

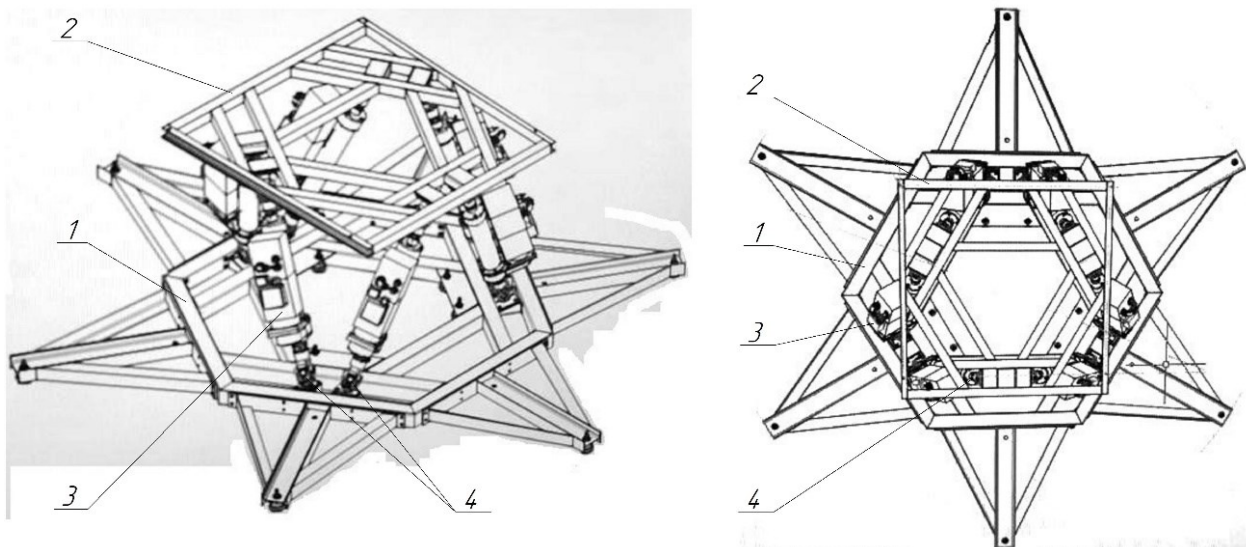


Рис. 1. Конструкция шестистепенной платформы подвижности, основные механические компоненты: 1) основание; 2) подвижная платформа; 3) актуатор, 4) шарниры

Для проведения исследований кинематических и динамических характеристик разработан цифровой макет платформы – параметризованная 3D модель в CAD системе. На основании геометрической 3D модели выполнено построение имитационной модели с помощью программной среды MSC Adams (рис. 2). Цифровая имитационная модель имеет в составе ряд идеализированных компонентов, соответствующих основным компонентам исследуемого реального объекта. Данные элементы конструктивно полностью соответствуют приведенным в таблицах 1 и 2 геометрическим и функциональным параметрам рассматриваемой платформы.

Имитационными аналогами реальной конструкции служат элементы, описываемые специальными программными операторами Adams. Основание (Base_Down) зафиксировано на

Ground при помощи FixedJoint. Актуаторы прикреплены к основанию в точках M01-M06 посредством сферического шарнира (SphericalJoint). Аналогично сопряжены актуаторы A11-A66 к рабочей поверхности платформы в точках M10-M60. Для имитации движения актуатора поршень и шток связаны между собой сопряжением «поступательное соединение» (Translation joint). Внешними воздействиями, выступающими как силовые нагрузки на платформу, являются заданные в модели сила тяжести G и полезная нагрузка PL. Сила тяжести направлена по направлению оси – OY, что соответствует направлению вертикали к поверхности пола. Полезная нагрузка от массы устанавливаемой кабины приложена в точке центра масс (CM), которая определена на основе требований промышленного образца.

Таблица 1

Технические характеристики роботизированной платформы подвижности

Наименование параметра	Ед. изм.	Значение
Ширина	мм	2900
Длина	мм	3300
Высота	мм	1235
Вес	кг	600
Ход штока ЭЦ	мм	350
Полезная нагрузка	кг	1300

Таблица 2

Параметры кинематики РПП

	Величина, мм	Скорость, мм/с	Ускорение, мм/с ²
Продольное перемещение	±370	180	20000
Боковое перемещение	±450	180	20000
Вертикальное перемещение	935..1235	180	20000

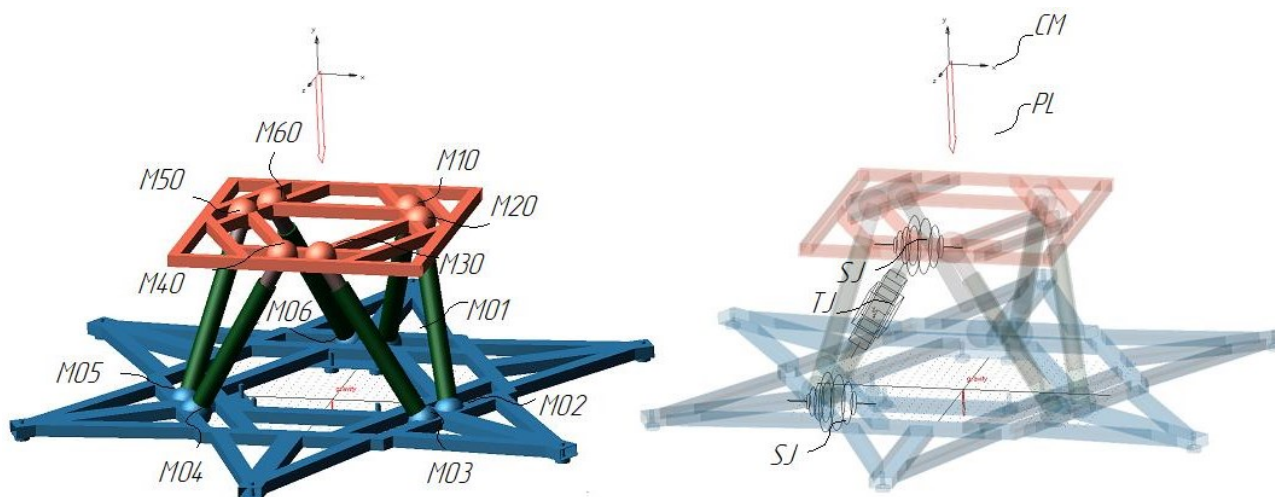


Рис. 2. Цифровая имитационная модель РПП выполненная в MSC Adams:

M01...M60 – маркеры соответствующих шарнирных соединений; SJ – сферический шарнир;

TJ – поступательное соединение; CM – центр масс; PL – полезная нагрузка, приложенная в центре масс

Для имитации работы модели в 6 поступательных парах, имитирующих актуаторы, созданы поступательные движения при помощи программного оператора TranslationJointMotion, который в приложении MSC Adams реализует законы линейного перемещения. Закон, определяющий изменение перемещений во времени определяется специальной функцией STEP. Функция имеет следующий синтаксис: STEP (q, q1, f1, q2, f2), где: q – независимая переменная; q1 – начальное значение для q; f1 – начальное значение для

$$step(time, t_0, v_0, t_a, v_{max}) + step(time, t_a, 0, t_{v-a}, 0) + step(time, t_{v-a}, 0, t_v - v_{max}), \quad (1)$$

где time – независимая переменная (время); t_0 – начальное значение времени; t_a – время разгона актуатора до максимального значения скорости; t_{v-a} – время, за которое скорость актуатора оставалась неизменной; t_v – время одного цикла работы актуатора; v_{max} – максимально возможная скорость актуатора.

Траектории, реализуемые РПП. Для тестирования модели на предмет возможности проведения исследований методом имитационного моделирования предложены наборы траекторий с параметрами, отражающими эксплуатационные возможности платформы. Выбранные траектории отражают кинематические возможности платформы для реализации различных вариантов перемещений устанавливаемого объекта. При

f; q2 – конечное значение для q; f2 – конечное значение для f.

Для имитации движения актуатора использовалась формула (1), состоящая из 3х частей, в первой части происходил разгон актуатора до максимальной скорости, во второй части скорость актуатора оставалась неизменной, в третьей части происходило замедление актуатора (рис. 2).

этом учитываются случаи наиболее нагруженного состояния исследуемых элементов конструкции. Все виды перемещений выполняются с максимальными скоростями, обеспечиваемыми применяемыми в исследовании актуаторами. При начальном положении верхняя подвижная платформа расположена горизонтально, нулевое исходное положение по высоте выбрано как минимально возможное положение верхней платформы, исходя из технических требований к РПП это 900 мм над уровнем пола, геометрические центры основания и подвижной части находятся на одной вертикальной линии (ось Y в модели).

Каждая траектория из рассматриваемых траекторий состоит из нескольких участков разделяемых условно сменой вектора перемещения

верхней платформы (для траектории 1 - участок 1 и 2, рис. 3). На каждом участке совершают работу тот или иной актуатор. При этом каждый участок состоит из разгона (1.1, рис. 3), движения с постоянной скоростью (1.2, рис. 3) и замедления актуатора (1.3, рис. 3). На каждом участке

сначала происходит движение из исходного положения на максимальную величину в направлении соответствующей оси координат или поворот относительно соответствующей оси, далее на максимальную величину в противоположном направлении и в конце возврат в начальное положение.

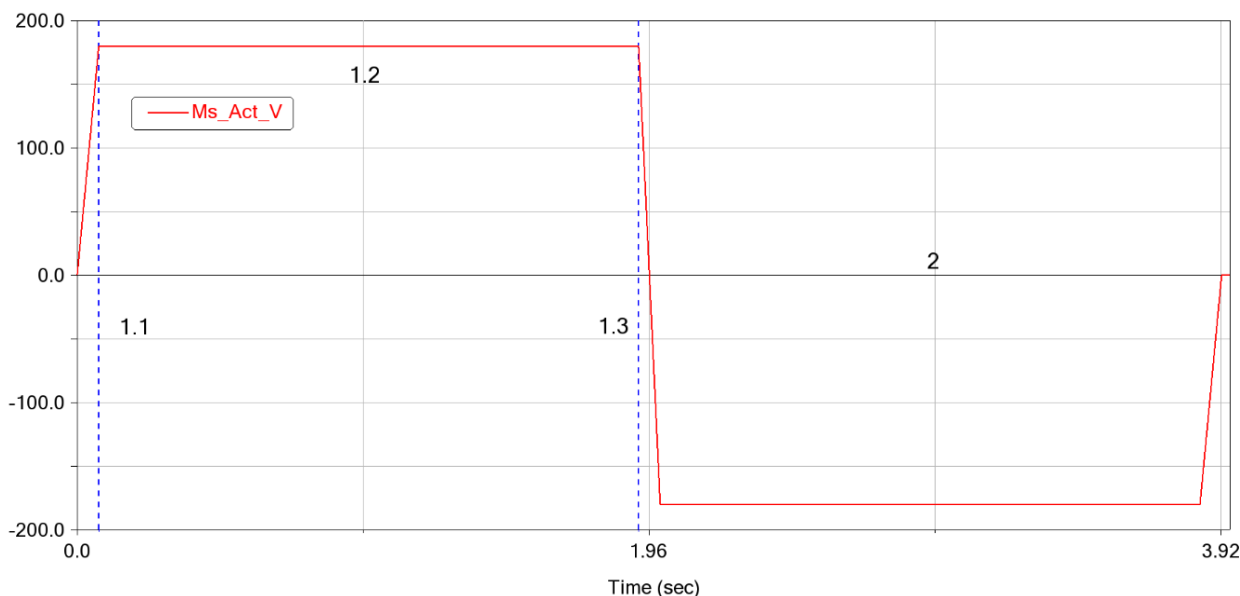


Рис. 3. Изменение скорости, развиваемой актуаторами A11-A66 при обработке 1й траектории

Ниже приведены описания рассмотренных траекторий.

Траектория 1. Состоит из 2х участков перемещения с примитивными движениями, когда все актуаторы совершают одинаковую работу. Подвижная платформа РПП перемещается по оси Y параллельно основанию.

Траектория 2. Из начального положения происходит наклон рабочей поверхности РПП относительно оси OX, одновременно из начального положения работают актуаторы A11, A33, A44, A66, достигнув максимально возможного хода, актуаторы A11 и A66 возвращаются в исходное положение, одновременно с ними A22 и A55 совершают работу, далее происходит возврат в исходное положение.

Траектория 3. Из начального положения происходит перемещение подвижной платформы в направлении маркера M03, затем движение в направлении маркера M50 и возврат в начальное положение. Одновременно начинают работу актуаторы A11, A44 и A66, достигнув максимального вылета, актуаторы A11, A44 и A66 возвращаются в исходное положение, одновременно с ними начинают движение актуаторы A22, A33, A55 в положительном направлении, далее актуаторы возвращаются в исходное положение.

Траектория 4. Подвижная платформа совершает поворот вокруг оси OY, проходящей через центр масс и возврат в начальное положение.

Траектория 5. Суть траектории 5 заключается в следующем. Подвижная платформа приводится в движение поочередно каждым актуатором. Первым совершает перемещение актуатор соединяющий маркеры M_01 и M10, затем через $t_v/6$ с начинает двигаться актуатор соединяющий маркеры M02 и M20 и так далее поочередно последовательно включаются в работу все актуаторы. После того, как актуатор достиг максимального значения перемещение штока, актуатор меняет направление на обратное. После чего подвижная часть РПП повторяет движение и останавливается в крайнем верхнем положении, когда рабочая поверхность параллельна основанию. Для всех траекторий проведены предварительные исследования и выявлены наиболее критичные с точки зрения напряжённости элементов конструкции.

Из всех описанных траекторий по результатам моделирования определены две траектории, в которых возникают наибольшие нагрузки в шарнирах. Это траектории 2 и 3. Дальнейшее описание модели будет проходить на примере исследования данных траекторий (рис. 4).

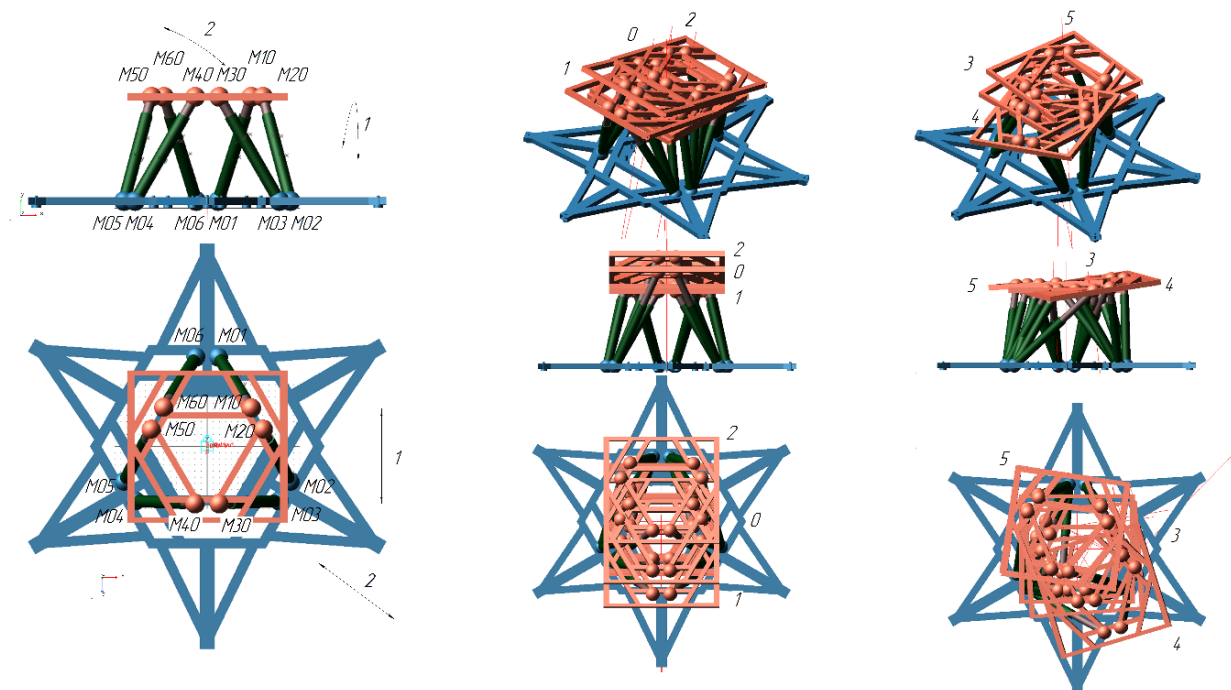


Рис. 4. Траектории движения подвижной части РПП:
а) общий вид траекторий; б) траектория вид 1; в) траектория вид 2

Результаты исследования. Методика исследования цифрового макета платформы путем имитационного моделирования заключалась в выполнении моделью принятых траекторий с учетом технических характеристик актуаторов. При этом фиксировались и обрабатывались определенные динамические показатели.

В результате построены графики изменения скоростей и ускорений центра масс, а также силовых характеристик (сумма сил, приложенных к телу в шарнире) при выполнении соответствующих траекторий. На графиках использованы следующие обозначения: T2 – траектория 2; T3 – траектория 3; Ms_VM_cm – кривая (тренд) изменения результирующей скорости центра масс; Ms_AM_cm – кривая (тренд) изменения результирующей ускорения центра масс; Ms_SF_01 -

Ms_SF_06 – кривые (тренды) изменения результирующих силовых значений в шарнирах основания M01-M06; Ms_SF_10 - Ms_SF_60 – кривые (тренды) изменения результирующих силовых значений в шарнирах рабочей поверхности платформы M10-M60; Ms_SF_05X(Y,Z) – кривые (тренды) изменения проекции силовых значений в шарнире основания M05 на ось OX (OY, OZ).

На рисунке 5 изображен график изменения результирующей скорости центра масс платформы. Резкие скачки и падения скоростей обусловлены тем, что при отработке завершения движения на участке все актуаторы останавливаются. Пиковые значения результирующей скорости возникают при отработке траектории 3 на участке 2, когда подвижная платформа начинает движение из положения 4 (рис. 3, в) и когда принимает положение 5 (рис. 3, в).

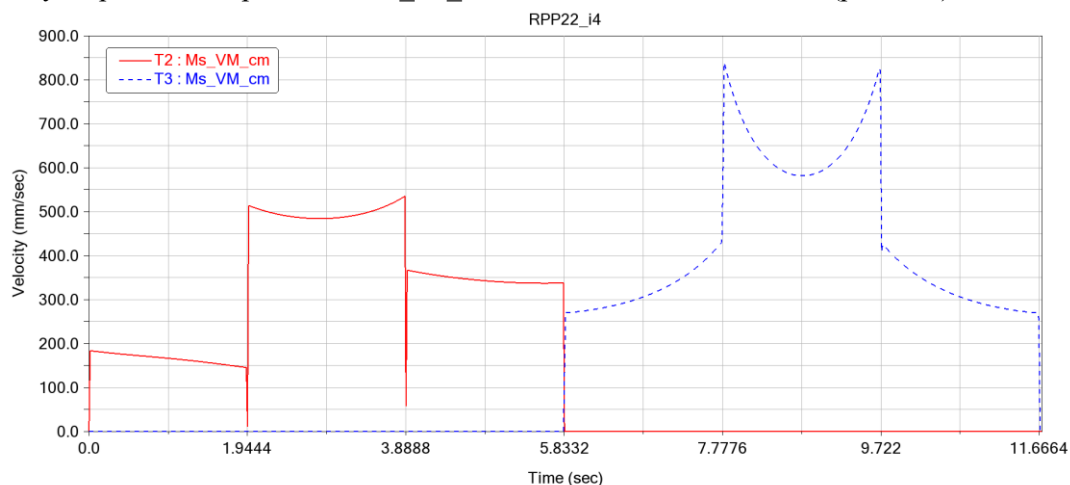


Рис. 5. Изменение результирующей скорости центра масс при выполнении траекторий

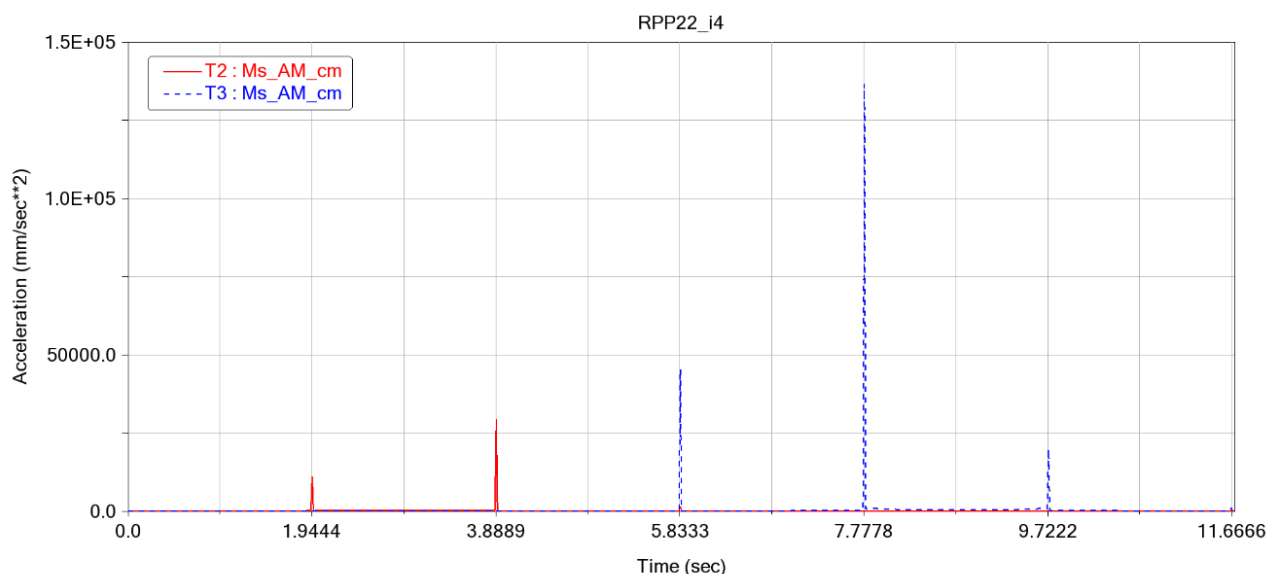


Рис. 6. Изменение результирующей ускорения центра масс при выполнении траекторий

График изменения результирующей ускорения центра масс представлен на рисунке 6. На протяжении большего количества времени ускорение центра масс отсутствует, так как актуаторы ускоряются (замедляются) до максимальной скорости за $t=0,01$ с. Пики результирующей ускорения появляются во время разгона и замедления РПП. Пик ускорения центра масс возникает при отработке траектории 3 на участке 2, когда подвижная платформа начинает движение из положения 4 (рис. 3, с). На данном участке происходит работа всех шести актуаторов, три из которых (A22, A33, A55) работают на удлинение, а других три (A11, A44, A66) в обратном направлении.

При отработке траектории 2 на рисунке 7

можно увидеть симметричные значения результирующих суммы сил, приложенных к шарниру. Значения суммы сил близки друг к другу в маркерах M01 и M06, M02 и M05, M03 и M04. Скачок значений результирующей суммы сил происходит при одновременной работе 4 актуаторов, A11 и A66 совершают возврат в исходное положение, A22 и A55 начинают совершать работу, актуаторы A33 и A44 находятся в состоянии максимальной длины вылета.

Наибольший пик результирующей суммы сил, приложенных к шарниру, возникает при отработке траектории 3 на участке 2, когда подвижная платформа начинает движение из положения 4 (аналогично максимальному пику ускорения). Максимальное значение результирующей суммы сил приходится на шарнир опоры M05.

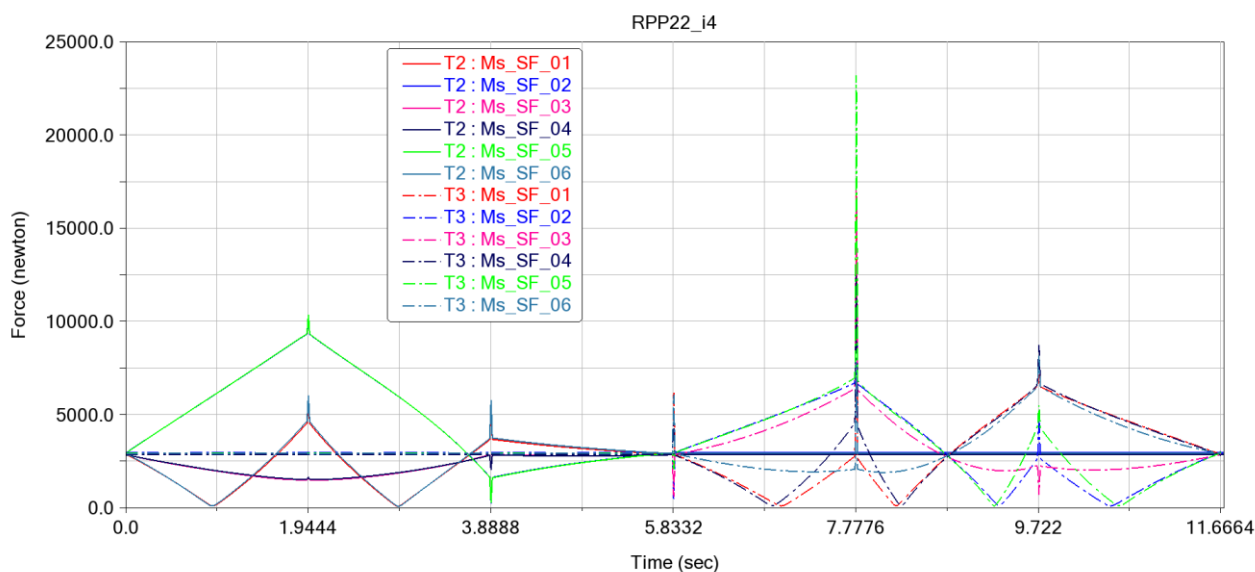


Рис. 7. Изменение результирующих силовых значений в шарнирах основания M01-M06 при отработке траекторий

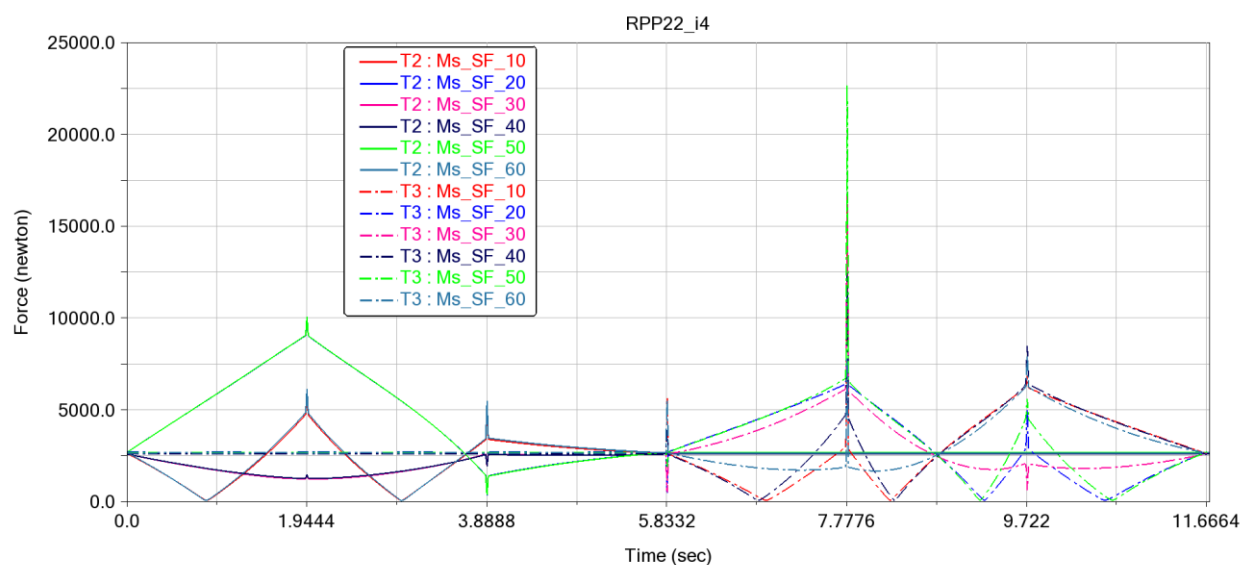


Рис. 8. Изменение результирующих силовых значений в шарнирах рабочей поверхности платформы M10-M60 при обработке траекторий

На рисунке 8 изображены изменения результирующих силовых значений в шарнирах рабочей поверхности платформы. Графики изменения результирующей силовых значений в шарнирах подвижной платформы аналогичны графикам, изображенным на рисунке 7.

В таблицах 3 и 4 представлены пиковые значения результирующих суммы сил, приложен-

ных к шарнирам M01-M06 и M10-M60 соответственно. Разработанная имитационная модель с учетом возможностей среды MSC Adams позволяет предоставить большое количество данных по каждому из параметров. Так для составления таблиц 3 и 4 были проанализированы массивы данных значений сумм сил с ценой деления 0.012 с (около 1000 значений).

Таблица 3

Пиковые значения суммы сил, приложенных к шарнирам M01-M06

	t	M01	M02	M03	M04	M05	M06
T2	0,91	119,25	5943,53	2017,68	2031,80	5950,11	105,48
	1,95	5888,98	10335,88	1630,05	1657,18	10369,98	6031,22
	2,91	90,60	5946,08	1869,81	1894,12	5950,71	79,31
	3,89	5661,14	240,51	2046,28	2051,13	269,42	5772,58
T3	5,84	6172,77	440,47	605,40	4456,80	2073,24	6064,45
	7,78	16859,69	11744,76	17365,41	12497,20	23176,15	7834,03
	8,74	2626,85	2979,26	2802,07	2579,14	2936,76	2724,77
	9,73	7143,79	4886,21	719,80	8724,70	5485,17	8153,82

Таблица 4

Пиковые значения суммы сил, приложенных к шарнирам M10-M60

	t	M10	M20	M30	M40	M50	M60
T2	0,90	140,49	5619,05	1770,64	1784,63	5625,27	163,95
	1,95	5994,63	10035,68	1452,97	1490,96	10069,59	6137,19
	2,91	217,84	5675,52	1598,00	1622,84	5680,01	243,96
	3,89	5380,93	332,38	1926,66	1943,11	361,98	5491,86
T3	5,84	5617,15	490,74	515,32	3921,88	1917,25	5520,45
	7,78	16794,78	11184,38	16766,90	12436,03	22690,53	7809,09
	8,74	2426,11	2650,26	2506,34	2381,03	2611,22	2496,67
	9,73	6854,34	5017,15	615,96	8482,43	5585,27	7898,98

На рисунке 9 показано положение РПП в момент времени $t=7.78$ с, когда значение результирующей суммы сил в шарнире M05 достигает максимального значения.

Имитационная модель помимо результирующей суммы сил, приложенных к точке может

дать представление о проекции суммы сил на необходимую ось. Так на рисунке 10 представлены изменения проекций сумм сил на оси OX, OY и OZ для самого нагруженного шарнира M05. В таблице 5 представлены аналитические данные выведенные из графиков рисунка 10. Анализируя

данные из таблицы 5 и семейство графиков на рисунке 10, можно увидеть, что наибольшую

нагрузку шарнир M05 испытывает в направлении оси OY ($F=-19970$ Н).

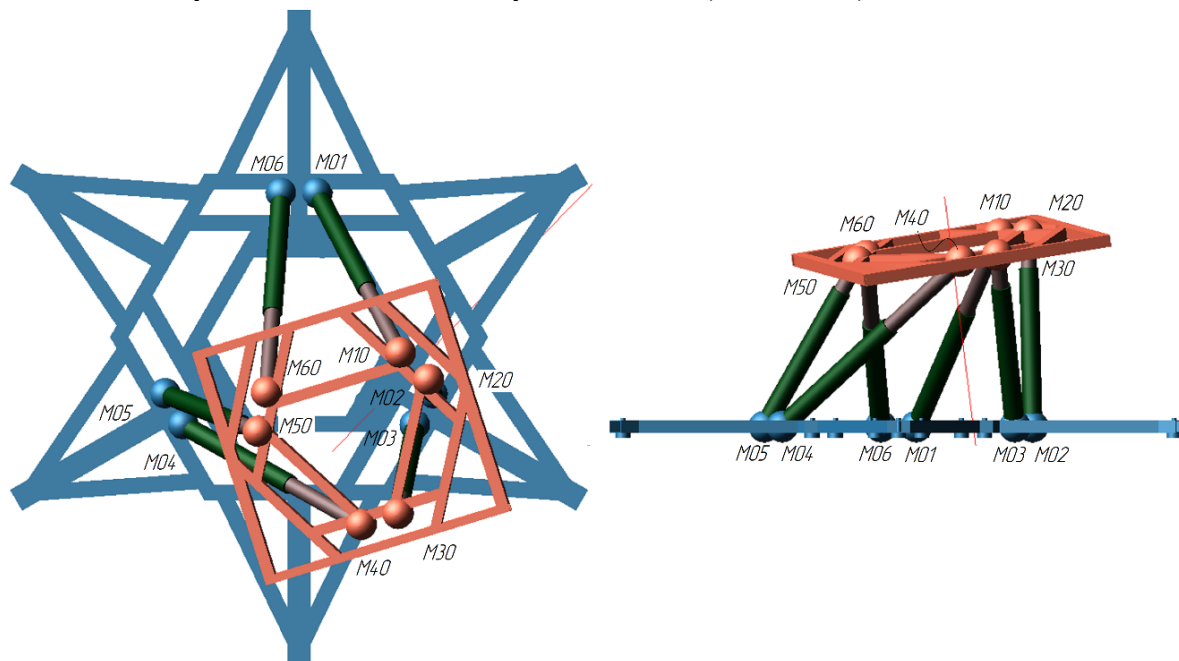


Рис. 9. Положение платформы при максимальном значении суммы сил, приложенном в шарнире M05

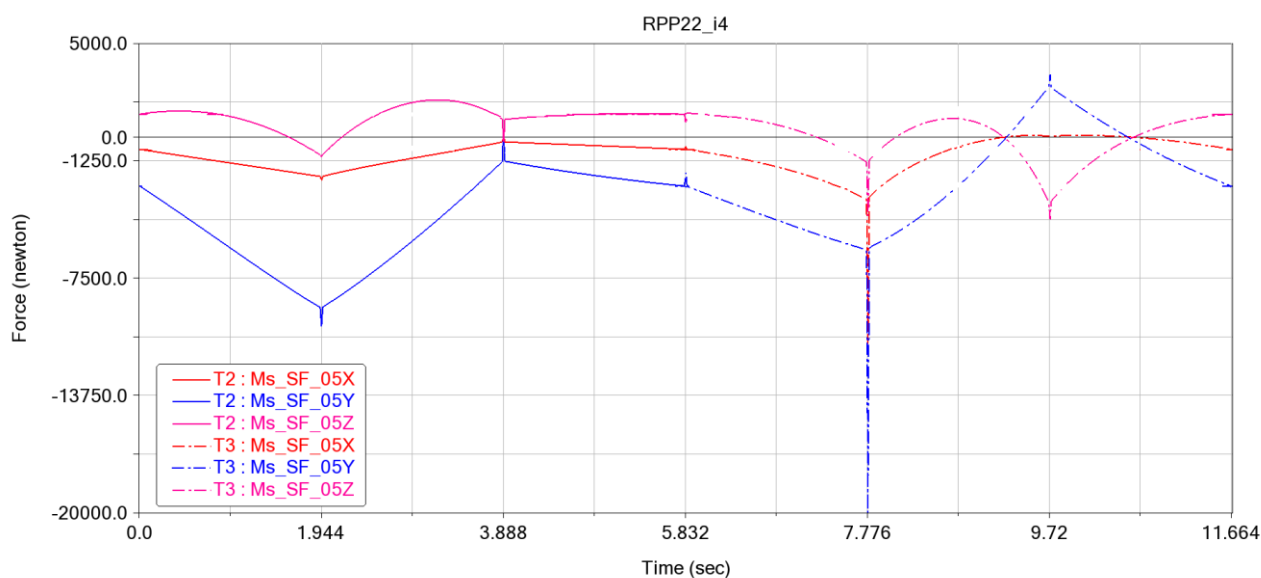


Рис. 10. Изменение суммы сил в проекции на оси OX, OY, OZ приложенных к шарниру M05

Таблица 5

Пиковые значения суммы сил в проекции на оси OX, OY, OZ приложенных к шарниру M05

	t	OX	OY	OZ	M
T2	0,90	-1313,12	-5634,04	1180,22	5950,11
	1,95	-2319,29	-10054,69	-1029,84	10369,98
	2,91	-1122,95	-5545,20	1844,10	5950,71
	3,89	48,00	52,27	-259,90	269,42
T3	5,84	-487,18	-1881,61	721,46	2073,24
	7,78	-10996,32	-19970,00	-4172,97	23176,15
	8,74	-539,75	-2644,37	989,05	2936,76
	9,73	47,14	3325,93	-4361,55	5485,17

На рисунке 11 изображены векторы результирующих суммы сил, приложенных к наиболее

нагруженному шарниру M05 в положениях, когда изменяется вектор перемещения центра масс при обработке траекторий 2 и 3.

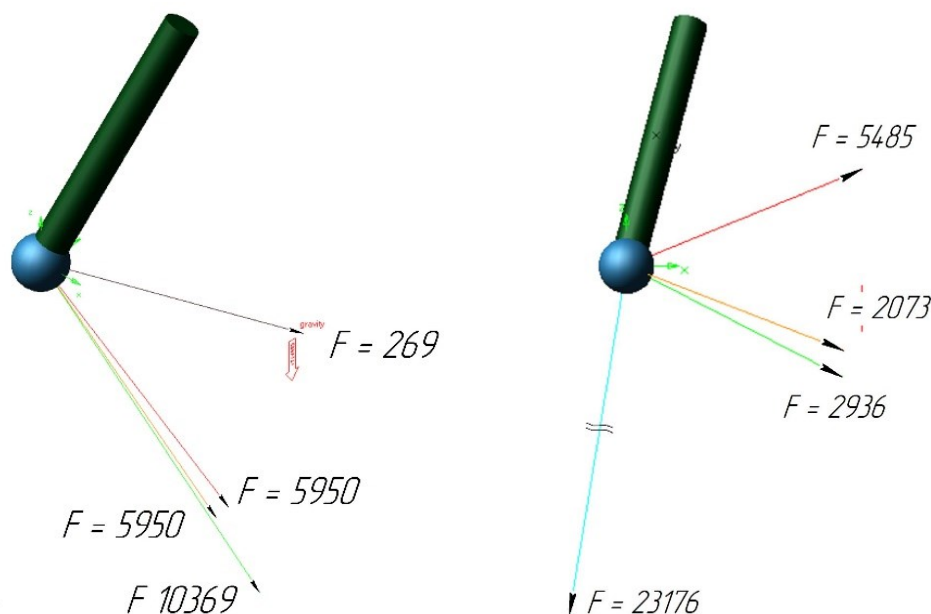


Рис. 11. Направление вектора суммы сил при отработке 2й и 3й траектории, приложенных к шарниру M05

Вывод. Имитационная модель может быть использована при проектировании различных тренажеров, выступая как прототип промышленного образца. При этом позволит выполнять исследования в части разработки различных конструктивных исполнений в зависимости от требуемых технологических задач.

Кроме того, имитационное моделирование может обеспечить решение оптимизации конструктивных решений при разработке промышленных образцов платформы для симуляторов определенных типоразмеров и различного назначения.

Важным направлением также является возможность подбора исполнительных приводных устройств и их характеристик с учетом требуемых геометрических и динамических параметров платформы. Одним из направлений применения имитационной модели является анализ точности перемещений при выполнении заданных траекторий с целью тестирования и отладки программ управления, разрабатываемых для симуляторов.

Источник финансирования. Исследование выполнено 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. Merlet J.-P. Parallel Robots. Berlin: Springer. 2007. 402 p.
2. Kong H., Gosselin C.M. Type Synthesis of Parallel Mechanisms. Berlin: Springer. 2007. 276 p. doi:10.1007/978-3-540-71990-8.

3. Чурин В.В. Использование компьютерных тренажеров для подготовки рабочих дорожностроительных профессий // Молодой ученый. 2011. Т.3. № 4. С. 28–29.

4. Габутдинов Н.Р., Глазунов В.А., Филиппов Д.Н. Механизмы параллельной структуры с шестью степенями свободы, разработанные в Институте машиноведения им. А.А. Благодного РАН // Известия высших учебных заведений. Машиностроение. 2014. №. 7. С. 83–89.

5. Глазунов В.А., Брио С., Аракелян В., Грунтович М.М., Нгуен М.Т. Разработка манипуляционных механизмов параллельно-перекрестной структуры // Проблемы машиностроения и надежности машин. Вып. 2. М.: Наука, 2008. С. 100–110.

6. Khalapyan S., Rybak L., Gaponenko E., Carbone G. Motion Control of 6-DOF Relative Manipulation // Device Mechanism Design for Robotics. 2021. Vol. 103. Pp. 217–225. doi:10.1007/978-3-030-75271-2_23

7. Сапунов Е.А., Прошин И.А. Моделирование привода динамического стенда авиационного тренажера // Авиационно-космическое машиностроение. 2011. С. 337–340.

8. Белякова А.В., Савельев Б.В. Анализ информационных моделей тренажеров для обучения водителей транспортных средств (обзор) // Вестник СибАДИ. 2019. № 16(5). С. 558–571.

9. Hill R.B., Briot S., Chriette A., Martinet P. Minimizing the Energy Consumption of a Delta Robot by Exploiting the Natural Dynamics. RoManSy 2020 - 23rd CISM IFToMM Symposium on Robot Design, Dynamics and Control, Sep 2020, Sapporo /Virtual, Japan.

10. Rybak L., Khalapyan S., Gaponenko E. Issues of planning trajectory of parallel robots taking

into account zones of singularity // IOP Conference Series-Materials Science and Engineering. 2018. Vol. 327. 042092. doi:10.1088/1757-899X/327/4/042092.

11. Liu X.-J., Wang J., Oh K.-K., Kim J. A New Approach to the Design of a DELTA Robot with a Desired Workspace // Journal of Intelligent and Robotic Systems. 2004. Vol. 39. Iss. 2. Pp. 209–225. doi: 10.1023/B:JINT.0000015403.67717.68.

12. Rashoyan G.V., Lastochkin A.B., Glazunov V.A. Kinematic Analysis of a Spatial Parallel Structure Mechanism with a Circular Guide // Journal of Machinery Manufacture and Reliability. 2015. Vol. 44. Iss. 7. Pp. 626–632. doi:10.1109/TRO.2004.833801.

13. Zabalza I., Ros J., Gil J., Pintor J.M.,

Jimenez J.M. TRI-SCOTT. A New Kinematic Structure for a 6-DOF Decoupled Parallel Manipulator // Proceedings of Workshop on 96 Fundamental Issues and Future Directions for Parallel Mechanics and Manipulators (October 3–4, 2002, Quebec City, Quebec, Canada) 2002. Pp. 12–15.

14. Brinker J., Schmitz M., Takeda Y., Corves B. Dynamic Modeling of Functionally Extended Delta-Like Parallel Robots with Virtual Tree Structures // ROMANSY 22 – Robot Design, Dynamics. 2019. doi:10.1007/978-3-319-78963-7_23.

15. He J., Gu H., Wang Z. Solving the forward kinematics problem of six-DOF Stewart platform using multi-task Gaussian process // Journal of Mechanical Engineering Science. 2013. Vol. 227. Iss. 1. Pp. 161–169. doi:10.1177/0954406212444508.

Информация об авторах

Хуртасенко Андрей Владимирович, кандидат технических наук, доцент кафедры технологии машиностроения. E-mail: hurtintbel@mail.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Чуев Кирилл Витальевич, заведующий лабораторией кафедры технология машиностроения. E-mail: kirill.chuev@qmail.com. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Рыбак Лариса Александровна, доктор технических наук, профессор кафедры технологии машиностроения ИТОМ, руководитель НИИ РТИСУ. E-mail: rl_bgtu@intbel.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Скитова Валерия Михайловна, инженер-исследователь, аспирант, кафедры технология машиностроения. E-mail: Petrenko_Lera1995@mail.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Поступила 01.12.2022 г.

© Хуртасенко А.В., Чуев К.В., Рыбак Л.А., Скитова В.М., 2023

**Khurtasenko A.V., Chuev K.V., Rybak L.A., Skitova V.M.
Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov
E-mail: hurtintbel@mail.ru

DYNAMIC MODEL OF A PLATFORM WITH 6 DEGREES OF MOBILITY

Abstract. This article discusses and analyzes mechanisms based on the principles of parallel kinematics, designed to perform various technological actions, with the movement of the executive body along complex spatial trajectories. Mechanisms with parallel structures have wide possibilities for solving various problems of application of equipment and technologies. Promising are the tasks associated with the use of mobile bases in various simulators to gain skills in controlling equipment (aircraft, cars, specialized military equipment). To conduct research on kinematic and dynamic characteristics, a digital layout of the platform has been developed – a parameterized 3D model in a CAD system. The platform represents a system with six degrees of mobility, which are implemented on the basis of a mechanism with a parallel structure. A description of a dynamic simulation model with six degrees of mobility developed using the MSC Adams software environment is given. The model is intended for research at the stage of design work in the development of simulators of various vehicles. The developed dynamic model was tested in order to implement a methodology for conducting research on the kinematic and dynamic characteristics of the platform based on simulation modeling. The results determining the capabilities of the model for determining the dynamic and force parameters in individual elements of the platform at the specified geometric parameters of the platform design are presented. The methodology of studying the digital layout of the platform by simulation modeling consisted in the execution

of the accepted trajectories by the model, taking into account the technical characteristics of the actuators. At the same time, certain dynamic indicators were recorded and processed. As a result, graphs of changes in velocities and accelerations of the center of mass, as well as force characteristics (the sum of forces applied to the body in the hinge) when performing the corresponding trajectories are constructed.

Keywords: dynamic model, simulation model, parallel kinematics mechanism, mobility platform, digital layout.

REFERENCES

1. Merlet J.-P., *Parallel Robots*, 2nd ed. Springer. 2007. Pp. 3–16.
2. Kong H., Gosselin C.M. *Type Synthesis of Parallel Mechanisms*. Berlin: Springer. 2007. 276 p. doi:10.1007/978-3-540-71990-8.
3. Churin V.V. The use of computer simulators for training workers in road-building professions [Ispol'zovaniye komp'yuternykh trenazherov dlya podgotovki rabochikh dorozhno-stroitel'nykh professiy]. *Young Scientist*. 2011. Vol. 3. Iss. 4. Pp. 28–29. (rus)
4. Gabutdinov N.R., Glazunov V.A., Filippov D.N. Mechanisms of a parallel structure with six degrees of freedom, developed at the Institute of Mechanical Engineering. A.A. Blagonravov RAS [Mekhanizmy parallelnoy struktury s shest'yu stepenyami svobody, razrabotannyye v Institute mashinovedeniya im. A.A. Blagonravova RAN]. *News of higher educational institutions. Engineering*. 2014. Vol. 7. Pp. 83–89. (rus)
5. Glazunov V.A., Briot S., Arakelyan V., Gruntovich M.M., Thanh N.M. Development of manipulation mechanisms of parallel-cross structure [Razrabotka manipulyacionnykh mekhanizmov paralleln'o-perekrestnoy struktury]. *Problems of mechanical engineering and reliability of machines*. 2008. Vol. 2. Pp. 100–110. (rus)
6. Khalapyan S., Rybak L., Gaponenko E., Carbone G. Motion Control of 6-DOF Relative Manipulation. *Device Mechanism Design for Robotics*. 2021. Vol. 103. Pp. 217–225. doi:10.1007/978-3-030-75271-2_23
7. Sapunov E.A., Proshin I.A. Modeling of the drive of the dynamic stand of an aviation simulator [Modelirovaniye privoda dinamicheskogo stenda aviacionnogo trenazhera]. *Aerospace engineering*. 2011. Pp. 337–340. (rus)
8. Belyakova A.V., Savelyev B.V. Analysis of information models of simulators for training drivers of vehicles (review) [Analiz informacionnykh modelej trenazherov dlya obucheniya voditelej transportnykh sredstv (obzor)]. *Bulletin of SibADI*. 2019. Vol. 16(5). Pp. 558–571. (rus)
9. Rafael Balderas Hill, Sébastien Briot, Abdelhamid Chriette, Philippe Martinet. Minimizing the Energy Consumption of a Delta Robot by Exploiting the Natural Dynamics. *RoManSy 2020 - 23rd CISM IFToMM Symposium on Robot Design, Dynamics and Control*, Sep 2020, Sapporo/Virtual, Japan.
10. Rybak L., Khalapyan S., Gaponenko E. Issues of planning trajectory of parallel robots taking into account zones of singularity. *IOP Conference Series-Materials Science and Engineering*. 2018. No. 327. 042092. doi:10.1088/1757-899X/327/4/042092.
11. Liu X.-J., Wang J., Oh K.-K., Kim J. A New Approach to the Design of a DELTA Robot with a Desired Workspace. *Journal of Intelligent and Robotic Systems*. 2004. Vol. 39. Iss. 2. Pp. 209–225. doi: 10.1023/B: JINT.0000015403.67717.68.
12. Rashoyan G.V., Lastochkin A.B., Glazunov V.A. Kinematic Analysis of a Spatial Parallel Structure Mechanism with a Circular Guide. *Journal of Machinery Manufacture and Reliability*. 2015. Vol. 44. Iss. 7. Pp. 626–632. doi:10.1109/TRO.2004.833801
13. Zabalza I., Ros J., Gil J., Pintor J.M., Jimenez J.M. TRI-SCOTT. A New Kinematic Structure for a 6-DOF Decoupled Parallel Manipulator. *Proceedings of Workshop on 96 Fundamental Issues and Future Directions for Parallel Mechanics and Manipulators (October 3–4, 2002, Quebec City, Quebec, Canada) 2002*. Pp. 12–15.
14. Brinker J., Schmitz M., Takeda Y., Corves B. Dynamic Modeling of Functionally Extended Delta-Like Parallel Robots with Virtual Tree Structures. *ROMANSY 22 – Robot Design, Dynamics*. 2019. Pp. 171–179. doi:10.1007/978-3-319-78963-7_23.
15. He J., Gu H., Wang Z. Solving the forward kinematics problem of six-DOF Stewart platform using multi-task Gaussian process. *Journal of Mechanical Engineering Science*. 2013. Vol. 227. Iss. 1. Pp. 161–169. doi:10.1177/0954406212444508.

Information about the authors

Khurtasenko, Andrey V. PhD, Associate Professor of the Department of Mechanical Engineering Technology. E-mail: hurtintbel@mail.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukov, 46.

Chuev, Kirill V. Head. lab. Department of Mechanical Engineering Technology. E-mail: kirill.chuev@qmail.com. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukov, 46.

Rybak, Larisa A. DSc, Professor. E-mail: rl_bgtu@intbel.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Skitova, Valeria M. Research Engineer, Postgraduate Student, Department of Mechanical Engineering Technology. E-mail: Petrenko_Lera1995@mail.ru Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Received 01.12.2022

Для цитирования:

Хуртасенко А.В., Чуев К.В., Рыбак Л.А., Скитова В.М. Динамическая модель платформы с 6-ю степенями подвижности // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2023. № 3. С. 122–133. DOI: 10.34031/2071-7318-2022-8-3-122-133

For citation:

Khurtasenko A.V., Chuev K.V., Rybak L.A., Skitova V.M. Dynamic model of a platform with 6 degrees of mobility. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2023. No. 3. Pp. 122–133. DOI: 10.34031/2071-7318-2022-8-3-122-133

DOI: 10.34031/2071-7318-2022-8-3-134-144

Романенко К.С., Поляков А.Н., *Никитина И.П.

Оренбургский государственный университет

*E-mail: innanikitina@list.ru

ОСОБЕННОСТИ ПРОТЕКАНИЯ ТЕПЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ В СТАНКЕ ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ РАСТРУБА В ПОЛИПРОПИЛЕНОВЫХ ТРУБАХ

Аннотация. Представлены результаты компьютерного моделирования тепловых процессов в станке для формирования раструба в полипропиленовых трубах. Особенностью спроектированного станка является наличие двух рабочих зон. В первой зоне осуществляется разогрев полипропиленовых труб, а во второй зоне выполняется их пластическое деформирование. В каждой зоне реализуются отдельные тепловые модели в нестационарной постановке. В зоне разогрева были решены две задачи. Решение первой задачи позволило определить алгоритм разогрева нагревательных элементов, используемых для обеспечения требуемой температуры деформируемого участка трубы. Решение второй задачи позволило определить возникающие температурные расширения как нагреваемого участка трубы, так и расширения внутренней и наружной печей для двух размеров труб. В зоне пластического деформирования также представлены результаты компьютерного моделирования для двух моделей. В первой модели рассматривалась подача охлаждающей воды в штампы и оправку. Во второй модели, наоборот исследован вариант разогрева штампов и оправки. Особенностью предложенных тепловых моделей в зоне разогрева является использование условной твердотельной среды с комбинированными характеристиками воздуха и деформируемого материала в упругой области. Особенностью использованных тепловых моделей в зоне пластического деформирования трубы являлось задание граничных и начальных условий в виде фиксированных значений температур. Полученные результаты моделирования были подтверждены экспериментально на изготовленном станке.

Ключевые слова: станок для формирования раструба, температурное состояние, тепловые модели, температура.

Введение. Полипропиленовые (ПП) трубы широко используются в качестве труб для питьевой воды или в качестве подземных дренажных труб благодаря их комплексным преимуществам, таким как простота формообразования и сварки, малый вес, высокая коррозионная стойкость и хорошие механические свойства [1, 2]. Много работ посвящено исследованию процессов создания полипропиленовых труб, повышению качества их изготовления за счет совершенствования технологий их изготовления [3–6]. При этом используют не только экспериментальные, но и вычислительные эксперименты с использованием метода конечных элементов [7, 8].

Соединение полипропиленовых труб осуществляется разными способами, одним из наиболее распространенных является соединение с помощью раструба. В этом случае один конец трубы выполняется с кольцевой бороздкой, по которой осуществляется соединение двух труб. К сожалению, в России отечественных производителей раструбных станков нет. В современных условиях возможность удовлетворения потребностей предприятий в импортном оборудовании существенно сократилось. Одним из направлений работ отечественных машиностроительных предприятий общего машиностроения является изготовление дефицитного оборудования, в том числе и в единичном экземпляре.

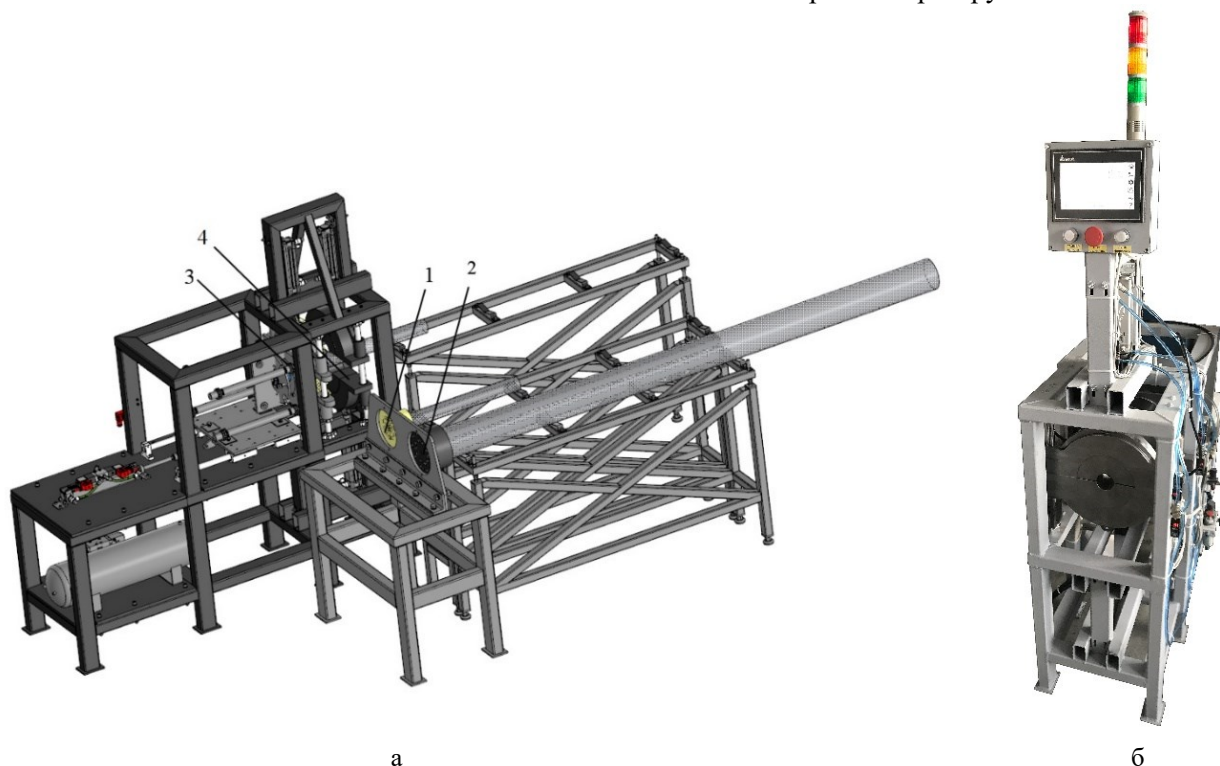
Разработка конструкции машины для формирования раструба в полипропиленовых трубах. Авторами был выполнен проект раструбного станка (рис. 1а) с последующим изготовлением на машиностроительном предприятии (рис.1б). Станок позволяет выполнять раструб для труб двух диаметров 50 и 110 мм. Для этого сначала осуществляется нагрев концов труб в позициях 1 и/или 2, в зависимости от комплектации станка. После этого труба передается в позицию формирования раструба 3. Раструб формируется пластическим деформированием с использованием штампа. На рисунке 1 представлена комплектация станка, позволяющая одновременно выполнять разогрев концов труб разных размеров.

Разогрев каждой трубы выполняется при помощи пары печей: внутренней и наружной. Конструктивно каждая внутренняя печь представляет собой цилиндр с несколькими отверстиями, выполненными параллельно оси цилиндра. Наружные печи представляют собой полые толстостенные цилиндры, в стенках которых также выполнены отверстия параллельно оси цилиндра. В эти отверстия закладываются нагревательные элементы в виде патронных тэнов. При этом при проектировании станка учитываются теплофизические свойства полипропилена, его температура плавления и максимальная температура

эксплуатации. В зависимости от марки полипропилена при температурах от 130 °С и выше труба становится эластичной, что позволяет легко осуществлять его формообразование, в частности формировать раструб. Однако этот диапазон температур, при котором полипропиленовая труба приобретает эластичность относительно небольшой, так как температура плавления полипропилена находится в диапазоне 160–168 °С [1, 9, 10].

Формирование раструба осуществляется при помощи оправки и штампа. При укладке трубы

на ложементы и придание ей необходимого осевого положения, включаются захваты 3 (рис. 1), удерживающие трубу в требуемом положении. После этого включаются штампы 4 (рис. 1) и охватывают нагретый конец трубы. Затем в трубу входит оправка, которая формирует требуемую конфигурацию раструба. В оправке также предусмотрены отверстия, расположенные параллельно её оси, через которые подаётся вода для ее охлаждения. Через центральное отверстие оправки подаётся воздух для формирования буртика на поверхности раструба.



а

б

Рис. 1. Конструкция раструбного станка:

а – 1,2 – зона нагрева труб; 3,4 – зона формирования раструба; б – станок

Тепловые процессы при разогреве печи.

При создании раструбного станка были предварительно изучены имеющиеся в свободном доступе материалы подобных конструкций [11–15]. Все конструкции машин и станков для формирования раструба предусматривают предварительный разогрев конца трубы, на котором формируется раструб. Как выше отмечалось, что одной из отличительных особенностей предлагаемой конструкции является использование внутренней и наружной печей, разогрев которых производится за счёт установленных нагревательных элементов в отверстиях, центры которых расположены на концентрической окружности на равных расстояниях друг от друга. Здесь возникают две задачи, требующие решения. Первая задача – определить алгоритм разогрева нагревательных элементов, которые будут формировать требуемую температуру трубы. Вторая задача – определить возникающие температурные расширения, как

нагретого конца трубы, так и расширения внутренней и наружной печей (для двух размеров труб). Потребность в решении первой задачи обусловлена тем, что разогрев конца трубы следует обеспечить в достаточно узком диапазоне температур. Вместе с тем для сокращения технологической себестоимости необходимо сократить время на этот разогрев. Потребность в решении второй задачи тоже обусловлена тем, что в конструкциях печей заложены технологические радиальные зазоры для сопряжения «внутренняя печь-отверстие трубы» 1 и 3 мм для труб диаметром 50 и 110 мм, соответственно, а для сопряжения «внутренняя поверхность наружной печи-наружная поверхность трубы» – 1,5/2,5 мм для меньшего и большего диаметров труб, соответственно.

Поставленные задачи решались в ходе компьютерного моделирования в Ansys [16]. При ре-

шении тепловой задачи необходимо задать условия однозначности: геометрические, физические, начальные и граничные условия [17, 18].

Учитывая, что при проектировании станка сначала были разработаны все геометрические трехмерные модели составляющих компонентов, поэтому геометрические условия для решения поставленной задачи были заданы однозначно. Для решения тепловой задачи разогрева печи в геометрической модели кроме обеих печей и труб рассматривался поддерживающий каркас, сваренный из стальных уголков ГОСТ 8509-93. Однако, несмотря на то, что задание геометрических условий очевидно. Здесь они напрямую связаны с особенностями задания граничных условий. Теплопередача от печей трубе осуществляется через заполненный воздухом зазор. Для моделирования такого вида теплопередачи можно использовать либо конвективный теплообмен с заданным некоторым образом коэффициентом теплоотдачи для зазора [17, 18]. Или использовать второй часто используемый подход, заключающийся в моделировании воздушного зазора некоторым телом, заполненным виртуальным материалом, имеющим многие теплофизические характеристики, совпадающие с характеристиками воздуха (плотность, теплоемкость, теплопроводность) [19]. Материал дополняется характеристиками, свойственными твердым материалам, что позволяет решать задачу термоупругости, связанную с определением температурных перемещений [20, 21]. Этот подход не является новым, во многом он отражает решение классической задачи теплообмена при свободном течении текучей среды в ограниченном пространстве [17, 18]. В этом случае граничные условия записывают в виде:

$$-\lambda \frac{\partial T}{\partial n} = \frac{\lambda_{\text{экв}}}{\delta} (T_{1\text{cm}} - T_{2\text{cm}}) \text{ и } \lambda_{\text{экв}} = \lambda_f \cdot \varepsilon_k, \\ \varepsilon_k = \begin{cases} 1 & \text{при } Ra \leq 10^3 \\ 0,105 \cdot Ra^{0,3} & \text{при } 10^3 < Ra < 10^6 \\ 0,4 \cdot Ra^{0,2} & \text{при } 10^6 \leq Ra < 10^{10} \end{cases}, \quad (1)$$

где λ – коэффициент теплопроводности материала печи, Вт/(м·К); $\lambda_{\text{экв}}$ – эквивалентный коэффициент теплопроводности, Вт/(м·К); λ_f – коэффициент теплопроводности материала зазора, Вт/(м·К); δ – величина зазора, м; T – функция температуры, К; $T_{1\text{cm}}, T_{2\text{cm}}$ – температура сопряженных стенок трубы и печи, К; n – направление вектора нормали к внешней границе; Ra – число Релея; ε_k – коэффициент конвекции.

Реализация граничных условий (1) геометрически представлена на рисунке 2. Здесь виртуальный материал, заполняющий воздушные зазоры и пространства, обозначен под номерами 4 и 5. Зазор между наружной поверхностью трубы и наружной печью обозначен 5, внутреннее пространство трубы заполняет виртуальный материал 4.

Так как для нагрева печей используются тэны, то в качестве задаваемой величины граничных условий используется или тепловой поток (количество теплоты, переносимое в единицу времени) или плотность теплового потока. Так как тэн являлся покупным изделием и в качестве его эксплуатационной характеристики используется мощность, поэтому чтобы не осуществлять пересчет по площади, в качестве граничных условий задавались тепловые потоки (Вт). Для всех свободных поверхностей модели назначался конвективный теплообмен [17, 18].

Решение первой задачи, заключающейся в определении алгоритма разогрева нагревательных элементов, осуществлялось итерационно. При решении этой задачи использован перебор разных вариантов изменения значений тепловых потоков во времени, задаваемых в цилиндрических отверстиях печей. В качестве критериальных ограничений принимался нагрев зоны деформирования трубы до диапазона температур 150–160 °С. Одним из дальнейших развитий решения подобного класса задач является определения фактических значений тепловых потоков путем решения задачи оптимизации [22–24]. Постановка задачи оптимизации усложняется ступенчатым (во времени) характером тепловой нагрузки для каждой рассматриваемой поверхности. Результатом решения задачи является алгоритм регулирования нагревательных элементов печи. На рисунке 3 представлены график изменения тепловых потоков (кривые 2–7), обусловленные нагревом тэнов.

Кривая 1 представляет собой изменение температуры трубы во времени в наиболее нагретой точке (для краткости ее можно назвать температурной характеристикой [25]). Характеристики 2 и 3 показывают ступенчатое изменение тепловых потоков, действующих в верхних и нижних отверстиях (половина всех отверстий) наружной печи большого диаметра (110 мм), соответственно. Характеристики 4 и 5 – ступенчатое изменение тепловых потоков, действующих в верхних и нижних отверстиях (другая половина всех отверстий) наружной печи малого диаметра (50 мм). Характеристики 6 и 7 – ступенчатое изменение тепловых потоков, действующих в отверстиях внутренних печей большого и малого диа-

метров. Характеристика 1 иллюстрирует изменение температуры в наиболее нагретой точке трубы большого диаметра (для трубы малого

диаметра характеристика не показана). На рисунке 4 показано тепловое состояние зоны нагрева, представленное температурным и термомодеформационным состояниями.

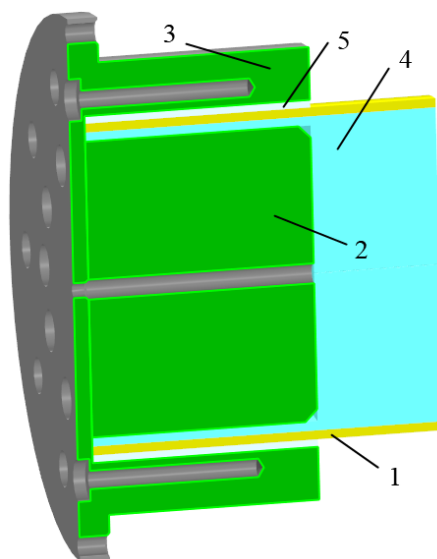


Рис. 2. Геометрическое представление соединений трубы с наружной и внутренней печами: 1 – труба; 2 – внутренняя печь; 3 – наружная печь; 4 и 5 – виртуальный материал

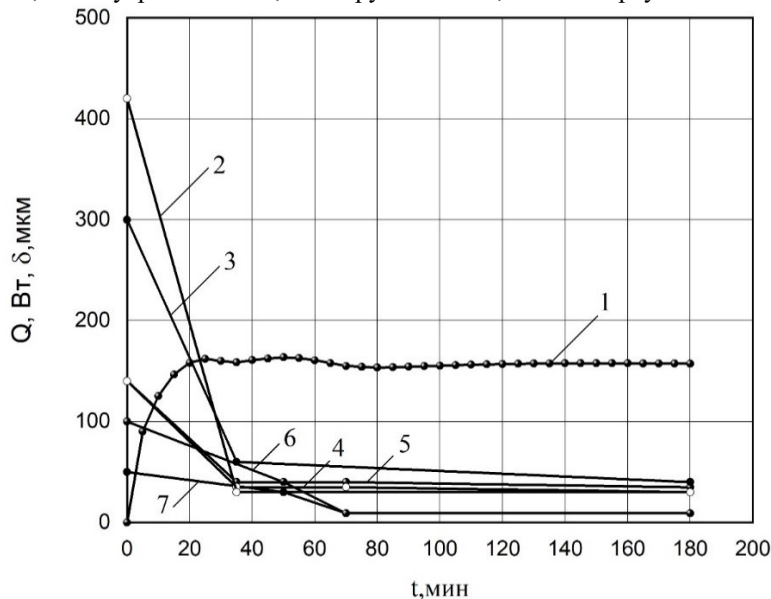


Рис. 3. Тепловые и температурные характеристики: 1 – температура нагреваемого участка трубы; 2-7 – кривые изменения тепловых потоков

Как показывает анализ полученных результатов, подобранный алгоритм разогрева внутренних и наружных печей позволил обеспечить равномерный нагрев полипропиленовых труб до стабильной температуры в диапазоне от 150 до 158 °С после 20 минут их размещения в зоне нагрева. При этом максимальные температурные перемещения по оси X не превысят 300 мкм (по оси Y – не более 65 мкм, здесь иллюстрация не приведена). Эти значения тепловых деформаций полностью удовлетворяют зазорам, принятым в конструкции станка.

Тепловые процессы в зоне пластического деформирования. Некоторые производители подобных станков для формирования раструба в трубах предлагают осуществлять охлаждение штампов и оправки, используемой для формирования раструба. По согласованию с заказчиком в спроектированном станке также была реализована система подачи воды в оба штампа и в оправку. Анализируя физику процесса подачи воды в полость штампа, ввиду неразрывности потока, скорость жидкости на входе резко уменьшится. В этом случае, как показывают расчеты, число Рейнольдса для воды в полости штампа

оказывается существенно меньше критического, равного 2320. Это даёт основание характеризовать режим течения воды в штампе как ламинарный [17, 18]. Тогда для определения коэффициентов теплоотдачи при прохождении воды через полость штампов для их охлаждения был принят вариант теплообмена, реализуемый при свободном движении текучей среды в ограниченном пространстве [18]. В этом случае коэффициент теплоотдачи следует принимать из расчета эквивалентного коэффициента теплопроводности.

Для нашей конструкции диапазон изменения чисел Рейля для обоих штампов, используемых для формообразования раструба для труб диаметром 50 и 110 мм, находится в диапазоне от 10^9 до 10^{10} , поэтому коэффициент теплоотдачи α принимается в виде [18]:

$$\alpha = 0,4 \cdot \lambda / \delta \cdot Ra^{0,2}, \quad (2)$$

где λ – коэффициент теплопроводности, Вт/(м·К); δ – толщина стенки трубы, м; Ra – число Рейля.

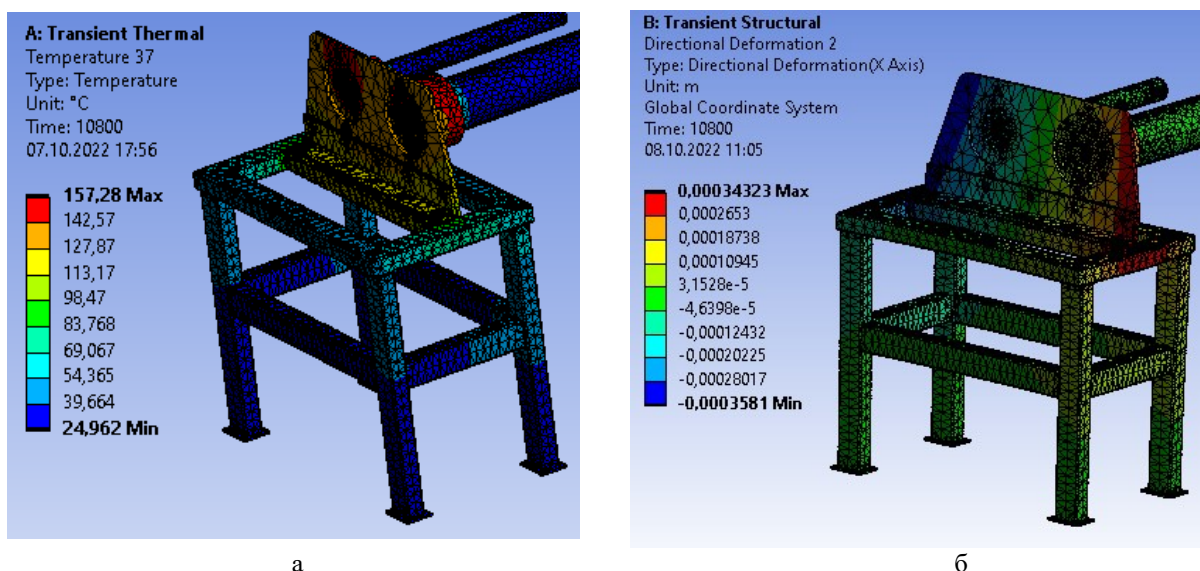


Рис. 4. Тепловое состояние зоны нагрева:
а) температурное состояние; б) термдеформационное состояние

Охлаждение оправки осуществляется подачей жидкости в осевые каналы оправки К (рис. 5) равной длины и диаметра 4 мм. Соотношение длины и диаметра канала составляет 25. В зависимости от создаваемого в системе охлаждения

расхода жидкости будет формироваться различный режим течения жидкости, которому соответствуют различные процессы теплообмена. В этом случае число Нуссельта Nu может быть определено по формулам [18]:

$$Nu = 0,15 \cdot Re^{0,33} \cdot Pr^{0,33} \cdot (Gr \cdot Pr)^{0,1} \cdot \varepsilon_L, \text{ при } Re \leq 2300, \quad (3)$$

$$Nu = K_0 \cdot Pr^{0,43} \cdot \varepsilon_L, \text{ при } 2300 < Re < 10000, \quad (4)$$

$$Nu = 0,21 \cdot Re^{0,8} \cdot Pr^{0,43} \cdot \varepsilon_L, \text{ при } Re > 10000, \quad (5)$$

где Re – число Рейнольдса; Pr – число Прандтля для воды, прокачиваемой через канал; Gr – число Грасгофа; ε_L – поправочный коэффициент, учитывающий влияние на теплоотдачу процесса гидродинамической стабилизации потока на начальном участке теплообмена; K_0 – коэффициент, значение которого изменяется от 3,6 до 33 в зависимости от изменения числа Рейнольдса в диапазоне от 2300 до 10000.

Расчеты для коэффициентов теплоотдачи α для осевых каналов оправок для труб диаметром

50 и 110 мм показали, что диапазон изменения коэффициентов теплоотдачи α в зависимости от расхода охлаждающей жидкости для оправок находится в диапазоне от 8500 до 310000 Вт/(м²·К). При этом меньшие значения характерны для расхода жидкости, не превышающей 1 л/с, а большие значения для расхода жидкости – около 60 л/с.

Расчеты для коэффициентов теплоотдачи α для полостей штампов показали, что их величины существенно меньше и находятся в диапазоне от 50 до 550 Вт/(м²·К).

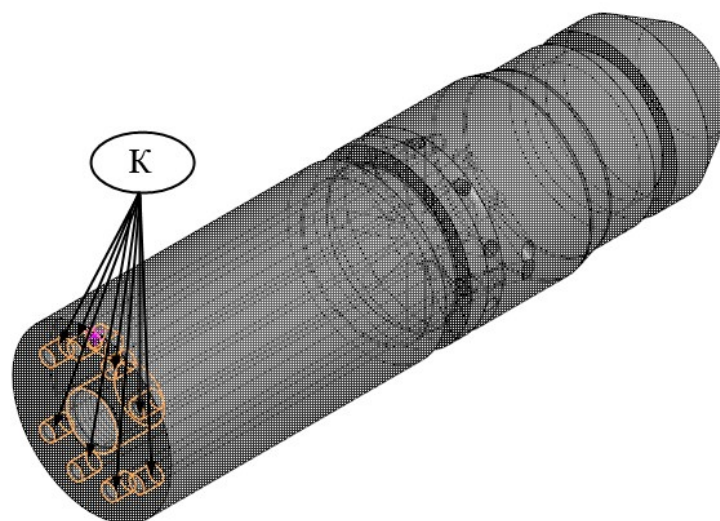
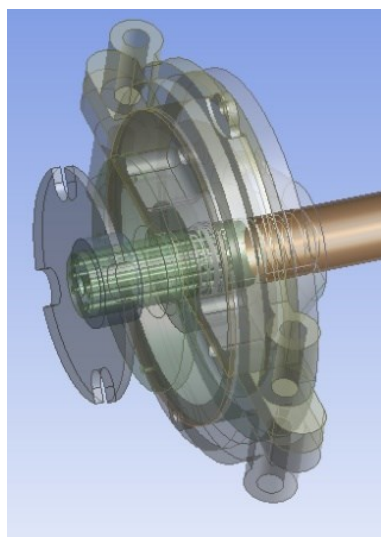


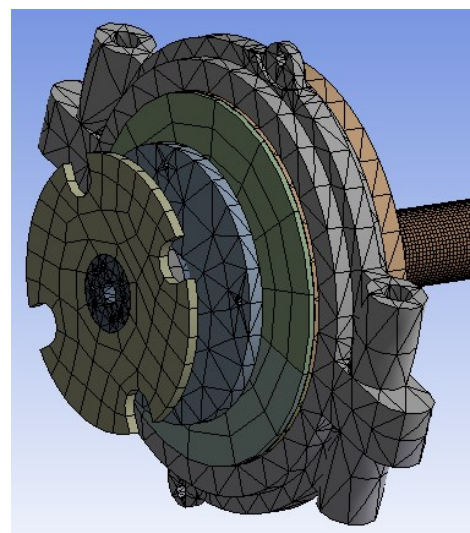
Рис. 5. Оправка (К – цилиндрические каналы)

Решение задачи, как и при решении задачи нагрева полипропиленовой трубы осуществля-

лось в Workbench Ansys. Для этого была разработана геометрическая, сеточная и расчетные модели (рис. 6).



а



б

Рис. 6. Геометрическая и сеточная модели:
а) геометрическая модель; б) сеточная модель

Тепловая задача решалась в нестационарной постановке. Особенностью расчетной модели являлось использование разогретой до 150 °С трубы, все свободные поверхности рассматривались в условиях естественной конвекции с коэффициентом теплоотдачи, принимаемым из диапазона от 2 до 10 Вт/(м²·К). Из практики известно, что охлаждение полипропиленовых труб происходит достаточно быстро, в пределах 10 с. Станок для формирования раструба фактически представлен двумя рабочими зонами: в первой зоне осуществляется нагрев, затем во второй происходит пластическое деформирование. Техно-

логическое время, отводимое на передачу разогретой трубы из зоны разогрева в зону деформирования составляет 1,5 с. Поэтому ниже приводятся данные по тепловому состоянию трубы, штампов и оправки для двух моментов времени 1,5 с и 15 с. Второй момент времени выбран с учетом времени остывания полипропиленовой трубы как основного теплового источника в зоне пластического деформирования. На рисунке 7 представлены тепловые состояния деформируемого участка трубы, штампа и оправки. Анализ полученных результатов решения тепловой задачи показал: охлаждение штампа и оправки осуществляется в достаточной мере; даже за 1,5 с из-

за естественного охлаждения трубы и ее контакта с холодными металлическими штампами и оправкой происходит достаточно интенсивное остывание; падение температуры составляет

около 30 °С; интервал времени, равный 15 с приводит к существенному падению температуры нагретого участка трубы.

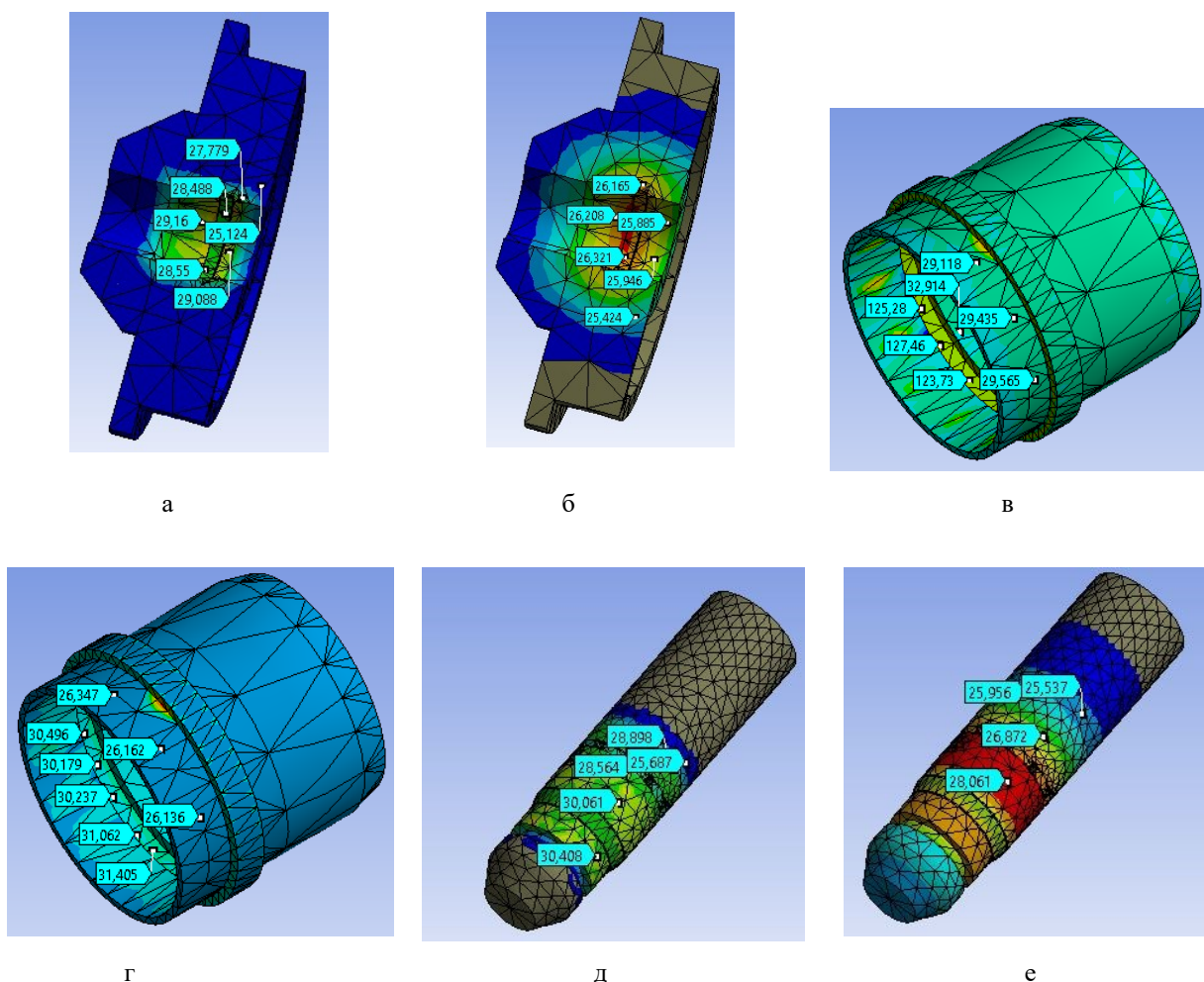


Рис. 7. Температурное состояние штампа, трубы и оправки:
а – 1,5 с; б – 15 с; в – 1,5 с; г – 15 с; д – 1,5 с; е – 15 с

Проведенные натурные испытания станка показали: необходимость в охлаждении штампа и оправки отсутствует; холодные штампы и оправка существенно затрудняют формирование буртика. Было принято решение вместо холодной воды подавать в штампы и оправку горячую воду. При этом в ходе эксперимента было установлено, что достаточным является нагрев воды до 70 °С. Проведенное компьютерное моделирование показало, что прогрев оправки и штампов до 70 °С увеличивает температуру полипропиленовой трубы в области формируемого буртика не более, чем на 8 °С. Но остывание во времени полипропиленовой трубы изменяется. Иллюстрацией этого является температурное состояние деформируемого участка полипропиленовой трубы для трех моментов времени –1,5; 5 и 15 с (рис. 8).

При выборе расчетной модели станка для моделирования этого случая теплообмена рас-

считывались два варианта моделей. Первый вариант предусматривал заполнение полостей штампов и каналов оправки дополнительной твердотельной средой с теплофизическими характеристиками воды (материал Water liquid, содержащийся в базе данных материалов системы Ansys), для которой задавалась температура 70 °С в качестве граничных условий (не начальных). Во втором варианте тепловой модели температура 70 °С назначалась непосредственно для оправки и обоих штампов. В первой модели невозможно выполнить тепловой расчет трубы в режиме разогрева штампов и оправки до установившейся температуры 70 °С, так как контакт трубы и еще не прогретых штампов и оправки происходит сразу в первый момент времени моделирования. И сразу же начинается охлаждение деформируемого участка трубы. А с учетом быстрого остывания полипропиленовой трубы этот вариант технологически мало отличался от

предыдущего варианта формирования раструба с охлаждаемыми штампами. Поэтому на рисунке 8

приведены результаты моделирования для полностью прогретых штампов и оправки, то есть для второго варианта моделирования.

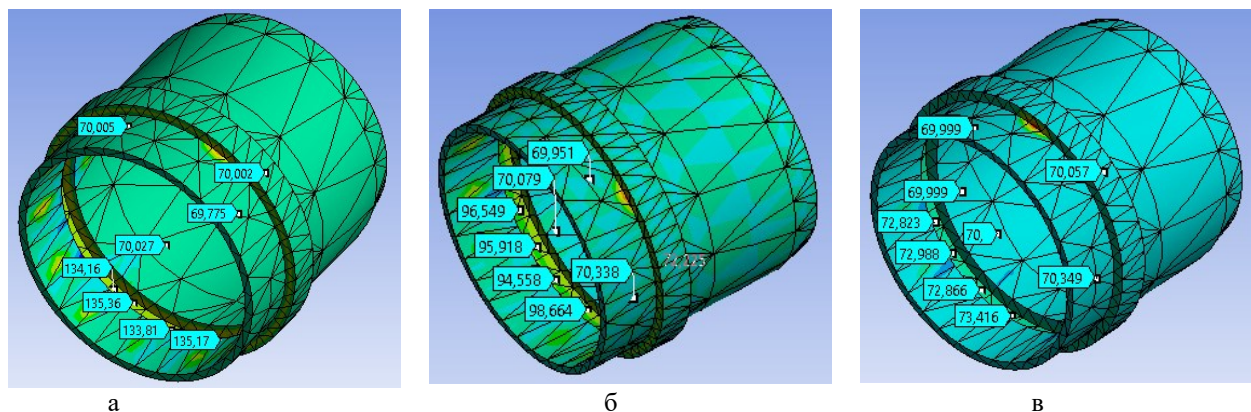


Рис. 8. Температурное состояние деформируемого участка трубы:
а – 1,5 с; б – 5 с; в – 15 с

Выводы:

1. Представлена конструкция спроектированного и впоследствии изготовленного станка для выполнения раструба для полипропиленовых труб двух диаметров.

2. Выполнено компьютерное моделирование тепловых процессов, протекающих в станке. Так как конструктивно станок представлен двумя рабочими зонами: зоной разогрева и зоной пластического деформирования, поэтому были разработаны разные тепловые модели для каждой зоны.

3. Для зоны разогрева были разработаны термоупругие модели, что обусловлено конструктивными и технологическими ограничениями станка не только по уровню температур, но и уровню теплового деформирования. Особенностью предложенных тепловых моделей в зоне разогрева является использование условной твердотельной среды с комбинированными характеристиками воздуха и деформируемого материала в упругой области.

4. В зоне пластического деформирования трубы рассмотрены тепловые модели остывания и нагревания. Особенностью использованных тепловых моделей нагревания являлось задание граничных и начальных условий в виде фиксированных значений температур. Полученные результаты моделирования были подтверждены экспериментально на изготовленном станке.

Источник финансирования. Исследование выполнено при финансовой поддержки из федерального бюджета в 2021 году гранта в форме субсидии на реализацию программы стратегического академического лидерства «Приоритет-2030» в рамках соглашений № 075-15-2021-1171, 075-15-2021-1112.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Hametner Ch. Polypropylene pipes for drinking water supply // J Macromol Sci Part A. 1999. Vol. 36. Is. 11. Pp. 1751–1758. doi:10.1081/MA-100101625.
2. Karger-Kocsis J., Barany T. Polypropylene Handbook. Morphology, Blends and Composites // Springer Nature Switzerland AG. 2019. 641 p. doi:10.1007/978-3-030-12903-3.
3. Golwalkar K.R., Kumar R. Practical guidelines for the chemical industry: operation, processes, and sustainability in modern facilities // Springer Nature Switzerland AG. 2022. 297 p. doi:10.1007/978-3-030-96581-5.
4. Han R., Nie M., Bai S., Wang Q. Control over crystalline form in polypropylene pipe via mandrel rotation extrusion // Polym. Bull. 2013. Vol. 70. Pp. 2083–2096. doi:10.1007/s00289-013-0963-7.
5. Teoh S.H., Lee K.S., Raja, T.R. Tensile properties of flow-formed polypropylene pipe // J Mater Sci. 1991. Vol. 126. Pp. 2111–2118. doi:10.1007/BF00549176.
6. An Fz., Gao Xq., Lei J. Deng C., Li Zm., Shen Kz. Vibration assisted extrusion of polypropylene // Chin J Polym Sci. 2015. Vol. 33. Pp. 688–696. doi:10.1007/s10118-015-1617-z.
7. Ren Z., Huang X., Xiong Z. Experimental and numerical studies for the gas-assisted extrusion forming of polypropylene micro-tube // Int J Mater Form. 2020. Vol. 13. Pp. 235–256. doi:10.1007/s12289-019-01482-7.
8. Костюков В.А., Медведев М.Ю., Маевский А.Н., Полуянович Н.К., Савченко В.В. Оптимизация форм геометрии раструба ветроэнергетической установки типа «ротор в раструбе» // Вестник Донского государственного технического университета. 2017. Том 17. № 4. С. 61–68. doi:10.23947/1992-5980-2017-17-4-61-68.

9. Závadský E., Karniš J., Pechoč, V. The time, temperature and shear dependence of the viscosity of polypropylene and its influence upon the extrusion process // *Progress and Trends in Rheology. Rheol Acta*. 1982. Vol. 21. Pp. 470–474. doi:10.1007/978-3-662-12809-1_29.
10. Володин В.П. Экструзия профильных изделий из термопластов. СПб.: Профессия, 2005. 480 с.
11. SU 260108 A1. Устройство для формирования раструба / Головкин П.С. № 1150446/22-2; заявл. 10.04.1967; опубл. 22.12.1969, Бюл. № 3. 2 с.
12. SU 1255451 A1 Устройство для формирования кольцевой канавки в раструбе пластмассовой трубы / Молотков В.Н., Холодков Ю.М., Быков И.Н., Зелиско П.М. № 3723379/23-05; заявл. 10.04.1984; опубл. 07.09.1986, Бюл. № 33. 4 с.
13. SU 839709 A1 Устройство для формирования раструбов в полимерных трубах / Чирва А.В., Кауфман М.Н., Кузин А.Н., Герасимов С.Б. № 2798188/23-05; заявл. 27.06.1979; опубл. 23.06.1981, Бюл. № 23. 5 с.
14. RU 2177878 C2 Способ образования раструба на трубе / Йоханссон М., Ярвенкиля Й. № 98107159/12; заявл. 20.09.1996; опубл. 10.01.2002, 3 с.
15. SU 612809 A1. Устройство для формирования раструбов в полимерных трубах / Довбня Н.А., Кремлин Е.Д., Кац М.Х., Порошин И.И., Зуенко Н.К. № 2413951/23-05; заявл. 25.10.76; опубл. 30.06.1978, Бюл. № 24. 3 с.
16. Никитина И.П., Поляков А.Н., Воронин Д.Г. Симуляция термомеханического поведения двусторонних торцевшлифовальных станков. // *Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова*. 2022. № 1. С. 90–101. doi:10.34031/2071-7318-2021-7-1-90-101.
17. Лыков А.В. Теория теплопроводности. М.: Высшая школа, 1967. 600 с.
18. Михеев М.А., Михеева И.М. Основы теплопередачи. М.: Энергия, 1973. 320 с.
19. Afaq M., Jebelli A., Ahmad, R. An Intelligent Thermal Management Fuzzy Logic Control System Design and Analysis Using ANSYS Fluent for a Mobile Robotic Platform in Extreme Weather Applications // *J Intell Robot Syst*. 2023. Vol.107. Is. 11. doi:10.1007/s10846-022-01799-7.
20. Skrzypczak T., Węgrzyn-Skrzypczak E., Sowa L. Numerical modeling of solidification process taking into account the effect of air gap // *Applied Mathematics and Computation*. 2018. Vol. 321. Pp. 768–779. doi:10.1016/j.amc.2017.11.023.
21. Späck-Leigsnering Y., Gjonaj E., De Gersem H., Weiland T., Gießel M., Hinrichsen V. Electroquasistatic-Thermal Modeling and Simulation of Station Class Surge Arresters // *IEEE Transactions on Magnetics*. 2016. Vol. 52, Is. 3. Pp. 1–4. doi:10.1109/TMAG.2015.2490547.
22. Sweeney-Ortiz N., Brockmann S., Kim S. Multi-objective optimization tool for shell-and-tube heat exchanger design // *In 15th UK Heat Transfer Conference*. 2017. Vol. 199.
23. Serna M., Jimenez A., A compact formulation of the bell-delaware method for heat exchanger design and optimization // *Chem. Eng. Res. Des*. 2005. Vol. 83. Is. 5. Pp. 539–550. doi:10.1205/cherd.03192.
24. Поляков А.Н. Построение и исследование оптимизационной термоупругой модели станка // *Вестник машиностроения*. 2003. № 6. С. 51–57.
25. Поляков А.Н. Компьютерные исследования тепловых деформаций металлорежущих станков. Методы, модели и алгоритмы. Оренбург: ОГУ, 2003. 382 с.

Информация об авторах

Романенко Константин Сергеевич, старший преподаватель кафедры технологии машиностроения, металлообрабатывающих станков и комплексов. E-mail: ro_k_s@mail.ru. Оренбургский государственный университет. Россия, 460018, г. Оренбург, просп. Победы, д. 13.

Поляков Александр Николаевич, доктор технических наук, заведующий кафедрой технологии машиностроения, металлообрабатывающих станков и комплексов, профессор. E-mail: anp_temos@mail.ru. Оренбургский государственный университет. Россия, 460018, г. Оренбург, просп. Победы, д. 13.

Никитина Инна Петровна, кандидат технических наук, доцент кафедры технологии машиностроения, металлообрабатывающих станков и комплексов. E-mail: innanikitina@list.ru. Оренбургский государственный университет. Россия, 460018, г. Оренбург, просп. Победы, д. 13.

Поступила 01.02.2023 г.

© Романенко К.С., Поляков А.Н., Никитина И.П., 2023

Romanenko K.S., Polyakov A.N., *Nikitina I.P.

Orenburg state University

*E-mail: innanikitina@list.ru

FEATURES OF THERMAL PROCESSES IN THE MACHINE FOR BELL FORMATION IN POLYPROPYLENE TUBES

Abstract. The results of computer modeling of thermal processes in the machine for the formation of a bell in polypropylene tubes are presented. A feature of the providing machine is the presence of two working zones. In the first zone, polypropylene tubes are heated, and their plastic deforming is performed in the second zone. In each zone, individual thermal models are implemented in transient in the start. Two problems are solved in the warm up zone. The solution of the first problem allows the dumping-pouring algorithm for the warming up of the heating elements used to ensure the trendy temperature of the deformable section of the tube. The solution of the second problem made it possible to determine the emerging temperature extensions of both the heated section of the tube and the expansion of the internal and outer furnaces for two sizes of the tubes. In the plastic deformation zone, the results of computer modeling for two models are also presented. The first model considered the supply of cooling water into stamps and a mandrel. In the second model, on the contrary, the option of warming up stamps and mandrel is investigated. A feature of the proposed thermal models in the warm-up zone is the use of a conditional solid-state environment with combined air characteristics and deformable material in the elastic region. A feature of the used thermal models in the zone of plastic deformation of the tube is the task of the boundary and initial conditions in the form of fixed temperatures. The obtained modeling results are confirmed experimentally on the manufactured machine.

Keywords: a machine for the formation of a bell, temperature, heat models, temperature.

REFERENCES

1. Hametner Ch. Polypropylene pipes for drinking water supply. J Macromol Sci Part A. 1999. Vol. 36. Is. 11. Pp. 1751–1758. doi:10.1081/MA-100101625.
2. Karger-Kocsis J., Barany T. Polypropylene Handbook. Morphology, Blends and Composites. Springer Nature Switzerland AG. 2019. 641 p. doi:10.1007/978-3-030-12903-3.
3. Golwalkar K.R., Kumar R. Practical guidelines for the chemical industry: operation, processes, and sustainability in modern facilities. Springer Nature Switzerland AG. 2022. 297 p. doi:10.1007/978-3-030-96581-5.
4. Han R., Nie M., Bai S., Wang Q. Control over crystalline form in polypropylene pipe via mandrel rotation extrusion. Polym. Bull. 2013. Vol. 70. Pp. 2083–2096. doi:10.1007/s00289-013-0963-7.
5. Teoh S.H., Lee K.S., Raja, T.R. Tensile properties of flow-formed polypropylene pipe. J Mater Sci. 1991. Vol. 126. Pp. 2111–2118. doi:10.1007/BF00549176.
6. An Fz., Gao Xq., Lei J. Deng C., Li Zm., Shen Kz. Vibration assisted extrusion of polypropylene. Chin J Polym Sci. 2015. Vol. 33. Pp. 688–696. doi:10.1007/s10118-015-1617-z.
7. Ren Z., Huang X., Xiong Z. Experimental and numerical studies for the gas-assisted extrusion forming of polypropylene micro-tube. Int J Mater Form. 2020. Vol. 13. Pp. 235–256. doi:10.1007/s12289-019-01482-7.
8. Kostyukov V.A., Medvedev M.YU., Maevskij A.N., Poluyanovich N.K., Savchenko V.V. Optimization of the shapes of the socket geometry of a wind turbine of the "rotor in the socket" type [Optimizaciya form geometrii rastruba vetroenergeticheskoy ustanovki tipa «rotor v rastrube»]. Vestnik Donskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. 2017. Vol. 17. No. 4. Pp. 61–68. doi:10.23947/1992-5980-2017-17-4-61-68. (rus)
9. Závadský E., Karniš J., Pechoč, V. The time, temperature and shear dependence of the viscosity of polypropylene and its influence upon the extrusion process. Progress and Trends in Rheology. Rheol Acta. 1982. Vol. 21. Pp. 470–474. doi:10.1007/978-3-662-12809-1_29.
10. Volodin V.P. Extrusion of profile products from thermoplastics. Sankt-Peterburg: Professiya. 2005, 480 p. (rus)
11. Golovkin P.S. Bell forming device. Certificate of authorship USSR, no. 260108, 1969. (rus)
12. Molotkov V.N., Holodkov YU.M., Bykov I.N., Zelisko P.M. Device for forming an annular groove in the socket of a plastic pipe. Certificate of authorship USSR, no. 1255451, 1986. (rus)
13. Chirva A.V., Kaufman M.N., Kuzin A.N., Gerasimov S.B. Device for forming sockets in polymer pipes. Certificate of authorship USSR, no. 839709, 1981. (rus)
14. Johansson M., YArvenkilya J. The method of forming a bell on a pipe. Patent RF, no. 2177878, 2002. (rus)

15. Dovbnya N.A., Kremlin E.D., Kac M.H., Poroshin I.I., Zuenko N.K. Device for forming sockets in polymer pipes. Certificate of authorship USSR, no. 612809, 1978. (rus)

16. Nikitina I.P., Polyakov A.N., Voronin D.G. Simulation of thermal deformation behavior of double-sided face grinders [Simulyaciya termodeformacionnogo povedeniya dvustoronnih torceshlifoval'nyh stankov]. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2022. No. 1. Pp. 90–101. doi.org/10.34031/2071-7318-2021-7-1-90-101. (rus)

17. Lykov A.V. Theory of thermal conductivity. Moskva: Vysshaya shkola. 1967, 600 p. (rus)

18. Miheev M.A., Miheeva I.M. Fundamentals of heat transfer. Moskva: Energiya. 1973, 320 p. (rus)

19. Afaq M., Jebelli A., Ahmad R. An Intelligent Thermal Management Fuzzy Logic Control System Design and Analysis Using ANSYS Fluent for a Mobile Robotic Platform in Extreme Weather Applications. J Intell Robot Syst. 2023. Vol.107. Is. 11. doi:10.1007/s10846-022-01799-7.

20. Skrzypczak T., Węgrzyn-Skrzypczak E., Sowa L. Numerical modeling of solidification process taking into account the effect of air gap. Applied

Mathematics and Computation. 2018. Vol. 321. Pp. 768–779. doi:10.1016/j.amc.2017.11.023.

21. Späck-Leigsnering Y., Gjonaj E., De Gersem H., Weiland T., Giebel M., Hinrichsen V. Electroquasistatic-Thermal Modeling and Simulation of Station Class Surge Arresters. IEEE Transactions on Magnetics. 2016. Vol. 52, Is. 3. Pp. 1–4. doi.org/10.1109/TMAG.2015.2490547.

22. Sweeney-Ortiz N., Brockmann S., Kim S. Multi-objective optimization tool for shell-and-tube heat exchanger design. In 15th UK Heat Transfer Conference. 2017. Vol. 199.

23. Serna M., Jimenez A. A compact formulation of the bell-delaware method for heat exchanger design and optimization. Chem. Eng. Res. Des. 2005. Vol. 83. Is. 5. Pp. 539–550. doi:10.1205/cherd.03192.

24. Polyakov A.N. Construction and study of an optimization thermoelastic model of a machine tool [Postroenie i issledovanie optimizacionnoj termoprugoj modeli stanka]. Vestnik mashinostroeniya. 2003. No. 6. Pp. 51–57. (rus)

25. Polyakov A.N. Computer research of thermal deformations of machine tools. Methods, models and algorithms. Orenburg: OSU. 2003, 382 p. (rus)

Information about the authors

Romanenko, Konstantin S. Senior lecturer. E-mail: ro_k_s@mail.ru. Orenburg State University. Russia, 460018, Orenburg, av. Pobedy, 13.

Polyakov, Aleksandr N. DSc, Professor. E-mail: anp_temos@mail.ru. Orenburg State University. Russia, 460018, Orenburg, av. Pobedy, 13.

Nikitina, Inna P. PhD, Assistant professor. E-mail: innanikitina@list.ru. Orenburg State University. Russia, 460018, Orenburg, av. Pobedy, 13.

Received 01.02.2023

Для цитирования:

Романенко К.С., Поляков А.Н., Никитина И.П. Особенности протекания тепловых процессов в станке для формирования раструба в полипропиленовых трубах // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2023. № 3. С. 134–144. DOI: 10.34031/2071-7318-2022-8-3-134-144

For citation:

Romanenko K.S., Polyakov A.N., Nikitina I.P. Features of thermal processes in the machine for bell formation in polypropylene tubes. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2023. No. 3. Pp. 134–144. DOI: 10.34031/2071-7318-2022-8-3-134-144