

Научно-теоретический журнал
ВЕСТНИК

БГТУ им. В.Г. Шухова

ISSN 2071-7318

9

2021

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

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

№ 9, 2021 год

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

Vol. 9. 2021

Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова

научно-теоретический журнал

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

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

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

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

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

Наименование органа, зарегистрировавшего издание:	Журнал зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций Свидетельство о регистрации ПИ № ФС77-80909 от 21 апреля 2021 г.
Учредитель/Издатель:	Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова» (БГТУ им. В.Г. Шухова) Россия, 308012, Белгородская обл., г. Белгород, ул. Костюкова, д. 46
Адрес редакции:	Россия, 308012, Белгородская обл., г. Белгород, ул. Костюкова, д. 46, БГТУ им. В.Г. Шухова, оф. 724/4 Гк
Адрес типографии:	Россия, 308012, Белгородская обл., г. Белгород, ул. Костюкова, д. 46, Издательский центр БГТУ им. В.Г. Шухова
Тел:	+7 (4722) 30-99-77
E-mail:	VESTNIK@intbel.ru
Официальный сайт журнала:	https://bulletinbstu.editorum.ru
Подписка и распространение	Журнал распространяется бесплатно в открытом доступе и по подписке. Подписной индекс в Объединенном каталоге «Пресса России» – 44446. (+12) Online подписка: http://www.akc.ru/itm/2558104627/ Цена свободная.
Подписан в печать	13.09.2021
Выход в свет	01.10.2021

Формат 60×84/8. Усл. печ. л. 13.02. Уч.-изд. л. 14. Тираж 40 экз. Заказ № 89

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

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

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

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

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

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

Founder / Publisher:	Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov” (BSTU named after V.G. Shukhov) 46 Kostyukova street, Belgorod, 308012, Russian Federation
Editorial office address:	46 Kostyukova street, Belgorod, 308012, Russian Federation BSTU named after V.G. Shukhov, of. 724/4
Printing house address:	46 Kostyukova street, Belgorod, 308012, Russian Federation Publishing Center, BSTU named after V.G. Shukhov
Tel:	+7 (4722) 30-99-77
E-mail:	VESTNIK@intbel.ru
Official website of the journal	https://bulletinbstu.editorum.ru
Подписка и распространение	Subscription index in the united catalogue of "Press of Russia" – 44446. Online subscription: http://www.akc.ru/itm/2558104627/
Signed for printing:	13.09.2021

Главный редактор

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

Заместитель главного редактора

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

Члены редакционной коллегии

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

CHIEF EDITOR

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

DEPUTY OF CHIEF EDITOR

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

MEMBER OF EDITORIAL BOARD

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

- Леденев А.А., Козодаев С.П., Перцев В.Т., Баранов Е.В., Загоруйко Т.В., Внуков Д.Н.**
МЕХАНИЗМЫ ДЕЙСТВИЯ РАЗЛИЧНЫХ ВИДОВ ОРГАНОМИНЕРАЛЬНЫХ ДОБАВОК В ЦЕМЕНТНОЙ СИСТЕМЕ 8
- Загороднюк Л.Х., Рыжих В.Д., Махортов Д.С., Синебок Д.А.**
ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ МИКРОСТРУКТУРЫ ГРАНУЛИРОВАННЫХ ЗАПОЛНИТЕЛЕЙ НА РАЗНЫХ ВЯЖУЩИХ КОМПОЗИЦИЯХ (ЧАСТЬ 3) 20
- Рыбникова И.А., Рыбников А.М.**
РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ РАСЧЁТА НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ БУРОНАБИВНЫХ КОНИЧЕСКИХ СВАЙ 28
- Ефимов О.И., Гимранов Л.Р., Фаттахова А.И., Чеканин М.С.**
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ КОМБИНИРОВАННОГО ПЕРЕКРЫТИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОФИЛИРОВАННОГО НАСТИЛА ОТ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ НАГРУЗОК 37
- Бухезам Ф., Колесникова Т.Н.**
МОДЕЛИРОВАНИЕ АРХИТЕКТУРНЫХ РЕШЕНИЙ ПАТИО И ИХ ВЛИЯНИЕ НА ТЕПЛОВЫЙ КОМФОРТ ГОРОДСКОГО ЖИЛЬЯ В ПОЛУСУХОМ КЛИМАТЕ АЛЖИРА 45
- Гаврилова М.Ю., Гаврилов А.М.**
ПРЕОБРАЗОВАНИЕ ОБЩЕСТВЕННЫХ ПРОСТРАНСТВ НА ОСНОВЕ СИМВОЛИЧЕСКОЙ ИНТЕРПРЕТАЦИИ ЭЛЕМЕНТОВ ГОРОДСКОЙ СРЕДЫ 56
- Астанин Д.М.**
СТРУКТУРНО-ФУНКЦИОНАЛЬНЫЙ ПОДХОД КАК МЕТОДОЛОГИЧЕСКАЯ ОСНОВА МОДЕЛИРОВАНИЯ ГРАДОСТРОИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ТЕРРИТОРИИ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО ТУРИЗМА 64
- Ставцев Е.А., Колесникова Т.Н.**
КУЛЬТУРНО-КОММУНИКАЦИОННЫЕ ЦЕНТРЫ НА ТЕРРИТОРИИ БЫВШИХ ПРОМЫШЛЕННЫХ ОБЪЕКТОВ КАК ДРАЙВЕР РАЗВИТИЯ ГОРОДСКОЙ СРЕДЫ 74

ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ

- Онищук В.И., Агеева С.В., Дороганов Е.А.**
ЛЕГКОПЛАВКАЯ НЕФРИТТОВАННАЯ ГЛАЗУРЬ В СИСТЕМЕ МАТЕРИАЛОВ «КВАРЦЕВЫЙ ПЕСОК – УЛЕКСИТ – СОДА – ПОЛЕВОШПАТОВЫЙ КОНЦЕНТРАТ» 87

МАШИНОСТРОЕНИЕ И МАШИНОВЕДЕНИЕ

- Марусич К.В., Дружинин В.И.**
ОБЗОР КОНСТРУКЦИЙ МОБИЛЬНЫХ СТАНКОВ ДЛЯ ОБРАБОТКИ КРУПНОГАБАРИТНЫХ ИЗДЕЛИЙ 97

CONSTRUCTION AND ARCHITECTURE

Ledenev A.A., Kozodaev S.P., Pertsev V.T., Baranov E.V., Tzagoruiko T.V., Vnukov D.N.	
MECHANISMS OF ACT OF VARIOUS KINDS OF ORGANIC MINERAL ADDITIVES IN CEMENT SYSTEM	8
Zagorodnyuk L.Kh., Ryzhikh V.D., Makhortov D.S., Sinebok D.A.	
SPECIFIC FEATURES OF THE FORMATION OF THE MICROSTRUCTURE OF GRANULAR AGGREGATES ON DIFFERENT BINDING COMPOSITIONS (PART 3)	20
Rybnikova I.A., Rybnikov A.M.	
DEVELOPMENT OF A METHOD FOR CALCULATING THE BEARING CAPACITY OF BORED CONICAL PILES	28
Efimov O.I., Gimranov L.R., Fattakhova A.I. Chekanin M.S.	
DETERMINATION OF THE MOVEMENTS OF THE COMBINED FLOORING USING PROFILED FLOORING FROM HORIZONTAL LOADS	37
Bouhezam F., Kolesnikova T.N.	
MODELING OF PATIO ARCHITECTURAL SOLUTIONS AND THEIR EFFECT ON THE THERMAL COMFORT OF URBAN HOUSING IN THE SEMI-ARID CLIMATE OF ALGERIA	45
Gavrilova M.Y., Gavrilov A.M.	
TRANSFORMATION OF PUBLIC SPACES BASED ON THE SYMBOLIC INTERPRETATION OF ELEMENTS OF THE URBAN ENVIRONMENT	56
Astanin D.M.	
STRUCTURAL AND FUNCTIONAL APPROACH AS A METHODOLOGICAL BASIS FOR MODELING URBAN PLANNING SYSTEM OF ECOTOURISM TERRITORIES	64
Stavtsev E.A., Kolesnikova T.N.	
CULTURE AND COMMUNICATION CENTRES AT THE FORMER PRODUCTION FACILITIES AS A DRIVER OF THE URBAN DEVELOPMENT	74

CHEMICAL TECHNOLOGY

Onishchuk V.I., Ageeva S.V., Doroganov E.A.	
LOW-MELTING UNFRITTED GLAZE IN THE MATERIALS SYSTEM OF “QUARTZ SAND – ULEXITE – SODA – FELDSPAR”	87

MACHINE BUILDING AND ENGINEERING SCIENCE

Marusich K.V., Druzhinin V.I.	
OVERVIEW OF MOBILE MACHINE DESIGNS FOR LARGE-SIZED PRODUCTS	97

СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

DOI: 10.34031/2071-7318-2021-6-9-8-19

^{1,*}Леденев А.А., ^{1,2}Козодаев С.П., ²Перцев В.Т., ^{1,2}Баранов Е.В.,
¹Загоруйко Т.В., ¹Внуков Д.Н.

¹Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил,
Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина

²Воронежский государственный технический университет

*E-mail: ledenoff@mail.ru

МЕХАНИЗМЫ ДЕЙСТВИЯ РАЗЛИЧНЫХ ВИДОВ ОРГАНОМИНЕРАЛЬНЫХ ДОБАВОК В ЦЕМЕНТНОЙ СИСТЕМЕ

Аннотация. В статье рассмотрено одно из направлений развития научно-практических основ технологии цементных бетонов, связанное с применением органоминеральных добавок, позволяющих улучшать физико-механические характеристики изделий и конструкций. Целью работы является определение механизма действия органоминеральных добавок, включающих компоненты различной физико-химической природы и экспериментальная оценка их влияния на минерально-фазовый состав и свойства цементной системы. В исследованиях применяли органоминеральные добавки, для которых рассмотрены и приняты новые виды составляющих различной физико-химической природы. Изучение возможных механизмов влияния органоминеральных добавок проводили на цементном тесте, а также на затвердевшей цементной системе с применением рентгенофазового анализа. Установлено влияние органоминеральных добавок на свойства обводненных и затвердевших цементных систем. Определено влияние органоминеральных добавок, включающих компоненты различной физико-химической природы, на изменение минерально-фазового состава новообразований в процессе гидратационного твердения и прочность цементного камня. Полученные данные позволяют расширить представления о влиянии органоминеральных добавок на состав и свойства цементной системы и предложить доступные сырьевые компоненты в новых эффективных органоминеральных добавках для получения цементных бетонов с улучшенными физико-механическими характеристиками.

Ключевые слова: органоминеральные добавки для бетона, минеральные добавки для бетона, химические добавки для бетона, цементная система, рентгенофазовый анализ.

Введение. Развитие научно-практических основ технологии цементных бетонов, включающее обоснование выбора сырьевых компонентов, проектирование и расчет состава, управление физико-химическими процессами структурообразования, позволит обеспечить улучшение эксплуатационных характеристик изделий и конструкций на их основе. На современном этапе развитие технологии бетона связано с получением требуемого комплекса свойств при применении многокомпонентных смесей с органоминеральными добавками (ОМД) [1–3].

Комплексные ОМД находят все более широкое применение в цементных бетонах. В области разработки ОМД проведены многочисленные исследования, основополагающими из которых являются работы, позволившие на ряде промышленных предприятий России наладить выпуск следующих добавок: модификаторы марки МБ-01, МБ-30С, МБ-50С и МБ-100С; ПОЛИПЛАСТ-1 МБ и другие [1, 4]. Основными составляющими указанных ОМД являются минеральный микронаполнитель – микрокремнезем и поверхностно-активное вещество (ПАВ) – суперпластификатор на основе нафталинсульфокислоты и формальдегида.

Вместе с тем, компоненты данных ОМД являются относительно дорогостоящими материалами с учетом условий их получения и поставки. Повысить эффективность применения ОМД можно путем расширения базы минеральных и химических составляющих, в том числе местных и доступных для различных регионов страны, а также за счет реализации новых технологий получения таких добавок.

В исследованиях [5] предложены ОМД на основе цементной пыли, патоки и суперпластификатора С-3, применение которых позволило получить быстротвердеющие и высокопрочные бетоны. Определена структурообразующая роль ОМД, включающих минеральный компонент алюмосиликатного состава – пумицит и пластификатор на основе фенолоацетоновой смолы, при твердении цементных композиций [6].

Положительное влияние ОМД, включающих минеральные компоненты – золу-унос и микрокремнезем и химические компоненты – гидрофобизатор, технические лигносульфонаты и тиосульфат натрия, на улучшение свойств цементных систем, а также физико-механических и деформативных свойства бетона показано в работе [7].

В исследованиях [8] с применением минеральных компонентов – смеси гипса и метакаолина и суперпластификаторов С-3 или ЛСТ предложены ОМД для получения высокопрочных бетонов с компенсированной усадкой и улучшенными деформативными свойствами. Перспективность применения метакаолина в составе ОМД для модифицирования структуры и свойств цементного камня и бетона также показана в работе [9]. Установлено, что применение таких ОМД с суперпластификатором СП-1 позволяет получать быстротвердеющие бетоны с высокими показателями долговечности для строительства дорог, гидротехнических и других ответственных сооружений.

В исследованиях [10] показана эффективность использования ОМД на основе вулканогенно-осадочных пород и пластифицирующей добавки Melment F-10, применение которой способствует повышению прочности цементного камня и обеспечению требуемых характеристик изделий.

Возможность применения в составе ОМД диатомита в качестве минерального компонента, ускорителя твердения и суперпластификатора «Хидетал» рассмотрена в исследованиях [11]. Показано, что применение данной ОМД позволяет повысить реологическую эффективность суперпластификатора и увеличить прочностные показатели цементной системы.

В работе [12] предложена комплексная модифицирующая добавка, состоящая из суперпластификатора С-3, гидрофобизирующей кремнийорганической жидкости и золы рисовой шелухи, с использованием которой получен бетон плотной структуры для строительства и ремонта гидротехнических сооружений.

Проведенный теоретический анализ возможных механизмов действия ОМД в цементной системе показывает, что при оценке эффективности минеральных компонентов в основном учитывается «химический» фактор, обусловленный химико-минералогическим составом и активностью, а также «физический» фактор, связанный с получением плотных структур цементного камня. Однако механизм действия минеральных компонентов на гетерогенную цементную систему чрезвычайно сложен и отличается многофункциональностью и разнонаправленностью. С увеличением дисперсности вследствие высокой поверхностной активности тонкодисперсных минеральных компонентов на этапе раннего структурообразования реализуются межчастичные и межфазные взаимодействия, для которых характерно агрегирование и формирование неоднородной микроструктуры с высокой пористо-

стью и пустотностью [13–15]. Химическое взаимодействие с составляющими в твердеющей системе «портландцемент–ОМД» может проявляться позже при схватывании и твердении цементного камня. Это может приводить к изменению минерально-фазового состава, образованию комплекса дополнительных соединений и увеличению прочностных свойств цементного камня. В связи с этим необходимы детальные комплексные исследования, позволяющие уточнить механизм действия ОМД в цементных системах на различных этапах структурообразования.

Что касается химических компонентов ОМД, то важным представляется рассмотрение в исследованиях новых пластифицирующих добавок в составе ОМД. При их применении необходимо учитывать различную основу ПАВ, определяющую эффективность действия ОМД на этапе раннего структурообразования [16–18]. Как правило, механизм этой составляющей ОМД в цементной системе состоит в активном воздействии на поверхностные явления, в проявлении ионно-электростатических сил, возникающих при адсорбции молекул добавки на поверхности частиц, в изменении реологических характеристик цементных систем и модифицирующем воздействии на структуру цементной системы с изменением ее свойств [19–23].

На основании вышеизложенного актуальным направлением повышения эффективности ОМД является реализация комплексного системного подхода в изучении и применении новых минеральных и органических компонентов, позволяющих без существенного изменения технологических переделов получать цементные бетоны с улучшенными показателями физико-механических свойств: по прочности, по морозостойкости и водонепроницаемости, с низкими водопоглощением и истираемостью и др. Для обеспечения требуемых характеристик бетона в состав ОМД могут входить такие химические добавки как ускорители твердения, замедлители твердения, воздухововлекающие добавки и др. Важным представляется расширение номенклатурного перечня ОМД для цементных систем, содержащих различные минеральные компоненты, желателен получаемые из местного сырья, а также рассмотрение в исследованиях новых органических ПАВ.

При реализации направления по расширению базы составляющих ОМД ранее выполненными исследованиями [13] выделены следующие классификационные признаки минеральных компонентов, позволяющие их систематизировать:

1) по происхождению (генезису): природные магматические, осадочные или метаморфические горные породы; искусственные;

2) по способу получения: помолом; конденсированные методом осаждения;

3) по природе поверхности: кислотные; основные;

4) по механизму действия в цементной системе: инертные; химически активные;

5) по химико-минералогическому составу: мономинеральные (группа кварца, группа карбонатов); полиминеральные (группа алюмосиликатов, комплексные минералы).

Органический компонент (пластификатор) добавки классифицируется по: природе, механизму действия в цементной системе.

При анализе классификационных признаков установлены факторы, определяющие механизм действия ОМД и ее эффективность в цементной системе, основными из которых являются:

- химико-минералогический, гранулометрический состав;

- структура и свойства поверхности (дисперсность, морфология, шероховатость, водородный показатель рН и др.) [13].

При выявлении механизмов действия и эффективности ОМД с учетом перечисленных факторов необходима комплексная оценка влияния ее составляющих как на этапы раннего структурообразования, проявляющегося в изменении свойств смесей, а также на процессы схватывания и твердения с учетом формирующегося минерально-фазового состава в процессе гидратационного твердения. Идентификация минерально-фазового состава затвердевшей цементной системы позволит уточнить механизм действия ОМД и оценить влияние характеристик составляющих на физико-механические свойства цементного камня. Таким образом, дальнейшие исследования, направленные на расширение и углубление представлений о механизме действия добавок в системе «портландцемент-ОМД», в зависимости от вида составляющих ОМД, являющихся доступными для различных регионов страны, позволят расширить ассортимент ОМД и повысить их эффективность применения в цементных системах.

Целью работы является определение механизма действия органо-минеральных добавок, включающих компоненты различной физико-химической природы и экспериментальная оценка их влияния на минерально-фазовый состав и свойства цементной системы.

Методология исследований, сырьевые материалы. Реализация поставленной цели предусматривает проведение исследований, обуславливающих применение минеральных и химических составляющих ОМД, относящихся к отмеченным выше различным классификационным признакам и отличающихся по механизму

действия с экспериментальной оценкой их влияния на минерально-фазовый состав и свойства цементной системы.

Принимались минеральные составляющие ОМД, характерные для Центрально-Черноземных и Южных областей и регионов России.

В качестве природных осадочных минеральных составляющих ОМД приняты:

- кварцевый песок (Воронежская обл., Хохольский карьер);

- известняк (Липецкая обл., Елецкий карьер);

- известняк (Усть-Джегутинское месторождение, Карачаево-Черкесская Республика);

- известняк Усть-Джегутинский (обработанный, Карачаево-Черкесская Республика);

- биокремнезем (активированный диатомит, ООО «Торговый Дом «ВЕФТ», г. Королев).

В качестве природных магматических минеральных составляющих ОМД приняты:

- вулканический туф (Каменское месторождение, Кабардино-Балкарская Республика);

- вулканический пепел (Заюковское месторождение, Кабардино-Балкарская Республика).

В качестве искусственных составляющих ОМД приняты:

- гранулированный доменный шлак Липецкого металлургического комбината;

- золошлаковые отходы ТЭЦ (г. Воронеж).

Характеристики минеральных составляющих для ОМД представлены в таблицах 1–4.

Подготовка минеральных составляющих ОМД, таких как кварцевый песок, известняки Елецкий и Усть-Джегутинский, вулканические туф и пепел, гранулированный доменный шлак и золошлаковые отходы ТЭЦ, заключалась в их предварительном помоле в шаровой мельнице до дисперсности 700 м²/кг. Применяемый биокремнезем представляет собой тонкодисперсный диоксид кремния биогенного происхождения, получаемый в результате специальной комбинированной обработки природного диатомита до дисперсности 2000 м²/кг. Известняк Усть-Джегутинский с дисперсностью 1000 м²/кг получен при термообработке тонкомолотого известняка.

В качестве ПАВ в составе ОМД применялись пластификаторы различные по природе и механизму действия. Применялись ПАВ: суперпластификатор С-3 и комплексная пластифицирующе-воздуховлекающая добавка «Кратасол ПФМ». Суперпластификатор С-3 имеет в основе сульфированные нафталинформальдегидные соединения и относится к группе анионоактивных ПАВ, содержащих смеси олигомеров и полимеров, являющихся основой «активного вещества», и непрореагировавшую соль β-нафталинсульфокислоты и сульфата натрия. Основу комплексной

пластифицирующе-воздухововлекающей добавки «Кратасол ПФМ» составляет полиметилен – соль β -нафталинсульфоната и воздухововлекающий компонент [13–15].

Таблица 1

Характеристика природных кремнеземистых минеральных составляющих ОМД

№ п/п	Вид составляющей	Дисперсность, м ² /кг	Химический состав, %					
			SiO ₂	CaO	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃ + FeO	Na ₂ O+ K ₂ O	MgO
1	кварцевый песок	700	97,6	0,7	1,3	0,4	–	–
2	биокремнезем	2000	88,0	-	7,1	2,8	1,3	0,8

Таблица 2

Характеристика природных карбонатных минеральных составляющих ОМД

№ п/п	Вид составляющей	Дисперсность, м ² /кг	Химический состав, %					
			CaCO ₃	MgCO ₃	Al ₂ O ₃ + Fe ₂ O ₃	CaSO ₄	Na ₂ O+ K ₂ O	прочее
1	известняк Елецкий	700	97,3	0,7	0,4	0,05	0,05	1,5
2	известняк Усть-Джегутинский	700	96,5	0,8	0,45	0,07	0,08	2,1
3	известняк Усть-Джегутинский обработанный	1000	96,5	0,8	0,45	0,07	0,08	2,1

Таблица 3

Характеристика природных вулканических минеральных составляющих ОМД

№ п/п	Вид составляющей	Дисперсность, м ² /кг	Химический состав, %						
			SiO ₂	CaO	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃ + FeO	Na ₂ O+ K ₂ O	MgO	прочее
1	вулканический туф	700	75,0	1,3	15,3	1,8	5,2	1,3	0,1
2	вулканический пепел	700	74,0	1,2	14,5	1,5	7,6	1,1	0,1

Таблица 4

Характеристика искусственных минеральных составляющих ОМД

№ п/п	Вид составляющей	Дисперсность, м ² /кг	Химический состав, %						
			SiO ₂	CaO	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃ + FeO	Na ₂ O+ K ₂ O	MgO	прочее
1	гранулированный доменный шлак	700	38,1	44,5	10,7	0,5	–	5,4	0,8
2	золошлаковые отходы ТЭЦ	700	62,7	7,0	18,5	8,4	0,4	1,0	2

Считается, что механизм действия ПАВ добавок суперпластификаторов С-3 и «Кратасол ПФМ» применяемых в ОМД схож и обеспечивается за счет электростатического отталкивания частиц при повышении значений дзета-потенциала, он проявляется в пластификации и водоредуцировании, а также в модифицировании структуры затвердевших цементных систем [13–15]. Отличительной особенностью «Кратасол ПФМ» является содержание дополнительного компонента – воздухововлекающей ПАВ.

Характеристики применяемых ПАВ в ОМД представлены в таблице 5.

Технология получения ОМД заключалась в том, что на минеральный компонент с различной удельной площадью поверхности ПАВ наносилось преадсорбционно в результате их совместного сухого помола в шаровой мельнице в течение 15–30 мин [13–15]. В итоге получалась ОМД, соотношение компонентов в которой принималось таким образом, чтобы обеспечивалась требуемая дозировка ПАВ – 0,8 % от массы цемента и минерального компонента – 10 % на расчетный объем исследуемой цементной системы.

Таблица 5

Характеристики применяемых ПАВ в ОМД

№ п/п	Наименование	Класс	Состав (природа)	Основной эффект в механизме действия
1	С-3	пластифицирующая	нафталин-формальдегидные соединения	электростатическое отталкивание
2	«Кратасол ПФМ»	комплексная пластифицирующе-воздуховлекающая	нафталинсульфонаты и воздуховлекающие компоненты	электростатическое отталкивание, воздуховлечение

Исследования разработанных ОМД проводили на портландцементе ЦЕМ I 42,5Н производства «Осколцемент» со следующими характеристиками: удельная площадь поверхности 330 м²/кг, нормальная плотность цементного теста 28 %. Минералогический состав применяемого портландцемента, масс. %: С₃S – 68,98; С₂S – 10,87; С₃A – 8,77; С₄AF – 11,38.

Для исследования действия добавок в цементном камне формовались образцы-кубы из цементного теста с ОМД размером 5 × 5 × 5 см в количестве 4 шт. Содержание воды в исследуемых цементных системах варьировалось и подбиралось исходя из равной удобоукладываемости 12–15 см по расплыву вискозиметра Суттарда. При этом оценивалось пластифицирующе-водоредуцирующее действие ОМД на цементное тесто. Испытания на прочность при сжатии образцов-кубов цементного камня проводили после 28 суток нормального твердения. Также испытывались образцы цементного камня без ОМД. Результаты экспериментальных исследований прочности цементного камня с различными ОМД обрабатывались с учетом положений математической статистики.

Для рентгенофазового анализа применялась стандартная методика подготовки проб, которая заключалась в измельчении разрушенных це-

ментных образцов с ОМД до порошкового состояния. Рентгенофазовый анализ минерально-фазового состава затвердевшей системы «портландцемент-ОМД» проводили на порошковом рентгеновском дифрактометре ARL X'TRA (Швейцария) при использовании CuK_α – излучения с λ = 1,54 Å. В основу прибора заложен универсальный метод анализа, предоставляющий информацию о структуре и фазовом составе цементного камня. Расшифровку рентгенограмм производили по интенсивностям пиков, используя рентгенометрическую картотеку ASTM. В результате измерений получали рентгенограммы продуктов гидратации затвердевшей системы «портландцемент – ОМД». Анализ минерально-фазового состава и свойств цементной системы сводился к сравнению эталонных рентгенограмм (цементный камень без добавок) и рентгенограмм цементного камня с ОМД различного вида.

Основная часть. В ходе выполненных исследований получены результаты определения влияния ОМД различного вида на свойства цементного теста и прочностные свойства цементного камня, обобщенные данные которых представлены в таблицах 6, 7.

По результатам испытаний обводненной цементной системы с добавками различного вида можно отметить следующие явления и механизмы действия ОМД.

Таблица 6

Результаты исследования цементного теста и прочностных свойств цементного камня с ОМД различного вида (ПАВ С-3)

№ п/п	Состав ОМД		Расплыв, см	В/Ц	Прочность, МПа
	минеральный компонент	ПАВ			
1	-	-	12 – 15	0,37	57,6
2	кварцевый песок	С-3		0,29	86,8
3	Елецкий известняк			0,27	76,2
4	Усть-Джегутинский известняк			0,27	72,3
5	Усть-Джегутинский известняк обработанный			0,3	64,2
6	биокремнезем			0,33	71,9
7	вулканический туф			0,27	85,4
8	вулканический пепел			0,26	79,5
9	гранулированный шлак			0,28	82,4
10	золослаковые отходы ТЭЦ			0,29	68,7

Таблица 7

Результаты исследования цементного теста и прочностных свойств цементного камня с ОМД различного вида (ПАВ «Кратасол ПФМ»)

№ п/п	Состав ОМД		Распływ, см	В/Ц	Прочность, МПа
	минеральный компонент	ПАВ			
1	-	-	12 – 15	0,37	57,6
2	кварцевый песок	«Кратасол ПФМ»		0,31	81,8
3	Елецкий известняк			0,28	71,3
4	Усть-Джегутинский известняк			0,28	70,6
5	Усть-Джегутинский известняк обработанный			0,31	63,7
6	биокремнезем			0,36	66,9
7	вулканический туф			0,3	83,6
8	вулканический пепел			0,27	77,1
9	гранулированный шлак			0,31	80,4
10	золашлаковые отходы ТЭЦ			0,33	70,2

Наибольшее пластифицирующе-водоредуцирующее действие при снижении В/Ц до 0,27 проявляется с ОМД на основе карбонатных пород, представленных Елецким и Усть-Джегутинским известняком, за счет энергии активного взаимодействия при адсорбции анионоактивных ПАВ на поверхности заряженных частиц известняков [15]. При использовании в составе ОМД более высокодисперсных компонентов, таких как биокремнезем дисперсностью 2000 м²/кг и Усть-Джегутинский известняк, обработанный дисперсностью 1000 м²/кг, водопотребность цементных смесей значительно выше при равном распыле (табл. 6, 7). Несмотря на высокую дисперсность и предполагаемую активность взаимодействия в твердеющей системе «портландцемент – ОМД» эффективность таких добавок с точки зрения повышения прочности ниже по сравнению с минеральными компонентами дисперсностью 700 м²/кг, что обусловлено формированием структур с высокой пористостью и пустотностью.

Из данных таблиц 6 и 7 видно, что в основном более высокие прочностные показатели зафиксированы у цементного камня с ОМД различного вида с суперпластификатором С-3. Полученные результаты обеспечиваются за счет большего водоредуцирующего действия данного суперпластификатора. Кроме того, относительно низкие показатели прочности цементного камня с ОМД на основе добавки «Кратасол ПФМ» проявляются за счет входящего в ее состав воздухововлекающего компонента, способствующего формированию дополнительной микропористости [13].

Из группы природных осадочных кремнеземистых минеральных компонентов ОМД наибольшая прочность цементного камня 86,8 МПа получена с ОМД на основе кварцевого песка. Из группы природных карбонатных мине-

ральных компонентов ОМД наибольшая прочность цементного камня 76,2 МПа получена с ОМД на основе Елецкого известняка. Из группы природных вулканических минеральных компонентов ОМД наибольшая прочность цементного камня 85,4 МПа получена с ОМД на основе вулканического туфа. Из группы искусственных минеральных компонентов ОМД наибольшая прочность цементного камня 82,4 МПа получена с ОМД на основе гранулированного доменного шлака.

Исходя из полученных результатов, были проанализированы рентгенограммы бездобавочного цементного камня и цементного камня именно с этими ОМД (рис. 1, 2).

На основании анализа рентгенограммы эталонного образца (цементного камня без добавок) установлено, что в затвердевшей системе присутствуют в основном следующие минералы: портландит ($d = 4,93; 3,11; 2,63; 1,93; 1,796; 1,69; 1,48 \text{ \AA}$), непрогидратированный алит – $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ ($d = 3,03; 2,78; 2,75; 2,61; 1,76; 1,48$), гидросиликаты кальция CSH (II) с соотношением Ca/SiO_2 от 1,5 до 2 ($d = 3,07; 2,85; 2,8; 2,4; 2,16; 2,00; 1,83; 1,56 \text{ \AA}$), гидросиликаты кальция CSH (I) с соотношением Ca/SiO_2 менее 1,5 ($d = 3,07; 2,8; 1,83; 1,67 \text{ \AA}$), эттрингит ($d = 9,73; 5,61; 4,98; 4,69; 3,88; 3,48; 3,24; 2,77; 2,56; 2,209; 2,15 \text{ \AA}$), шестиводный гидроалюминат кальция $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ($d = 5,14; 4,45; 3,37; 3,15; 2,82; 2,3; 2,23; 2,04 \text{ \AA}$) (рис. 1а, 2а).

При использовании в цементной системе ОМД на основе тонкомолотого кварцевого песка и известняка установлено, что основные пики портландита ($d = 4,92; 2,64; 1,93; 1,79 \text{ \AA}$) уменьшаются (рис. 1б, в). Так как портландит обладает пониженной прочностью по сравнению с остальными новообразованиями цементного камня, то его уменьшение будет способствовать упрочнению системы. Одновременно это может свиде-

тельствовать о том, что $\text{Ca}(\text{OH})_2$ вступает во взаимодействие с определенными минеральными компонентами добавок. При использовании ОМД на основе тонкомолотого песка видно увеличение интенсивности пиков гидросиликатов кальция (рис. 1б), образующихся при взаимодействии частично аморфизированной поверхности песка. При использовании тонкомолотого известняка прослеживается образование четырехкальцевого монокарбонатного гидроалюмината –

$3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{CaCO}_3 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ ($d = 7,6; 3,8; 2,86; 1,66 \text{ \AA}$), шестикальцевого трехкарбонатного гидроалюмината – $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{CaCO}_3 \cdot 32\text{H}_2\text{O}$ ($d = 3,8; 2,7; 2,51 \text{ \AA}$) и $\text{Ca}(\text{OH})_2 \cdot \text{CaCO}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ (рис. 1в). Дополнительно в системе с кварцевым песком можно отметить наличие пиков непрореагировавших частиц кварца ($d = 4,26; 3,35; 2,45; 2,29; 2,12; 1,975; 1,89 \text{ \AA}$), а в системе с известняком наличие пиков карбонатов кальция CaCO_3 ($d = 3,03; 2,495; 2,28; 2,088; 1,912; 1,89; 1,6; 1,52 \text{ \AA}$).

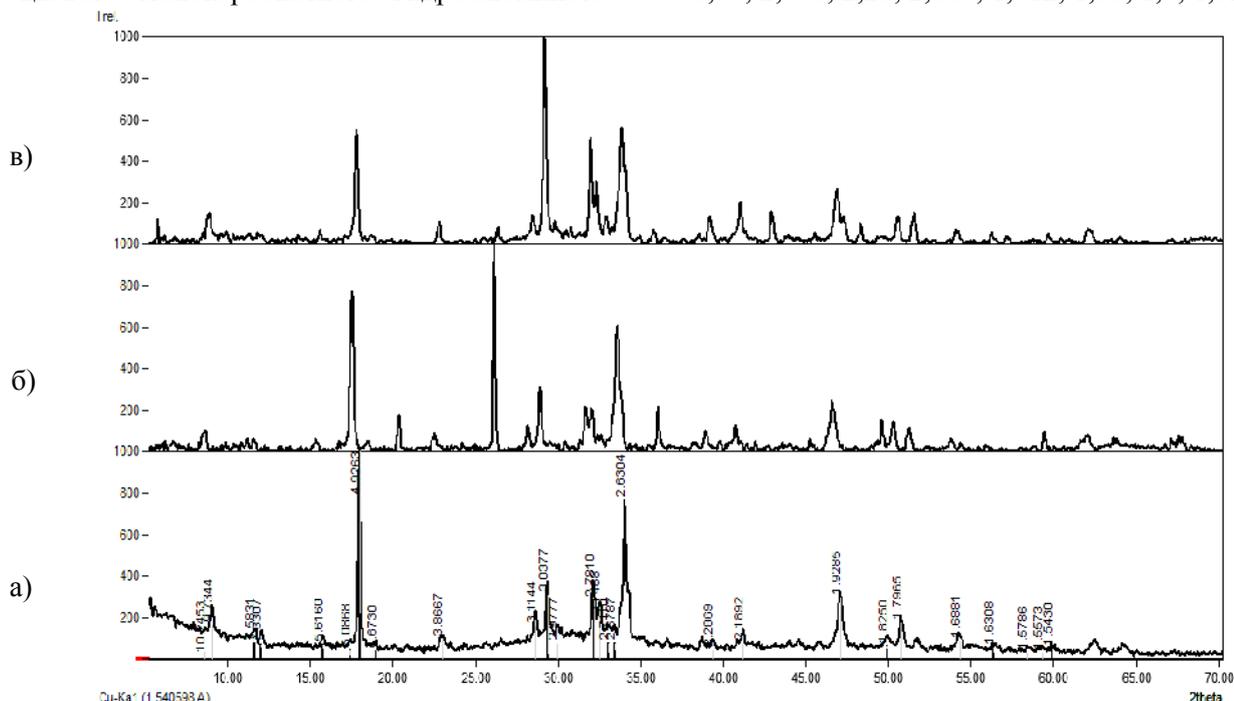


Рис. 1. Рентгенограммы продуктов гидратации и твердения цементного камня:
 а) цементный камень без добавок; б) цементный камень с ОМД (кварцевый песок + С-3);
 в) цементный камень с ОМД (Елецкий известняк + С-3)

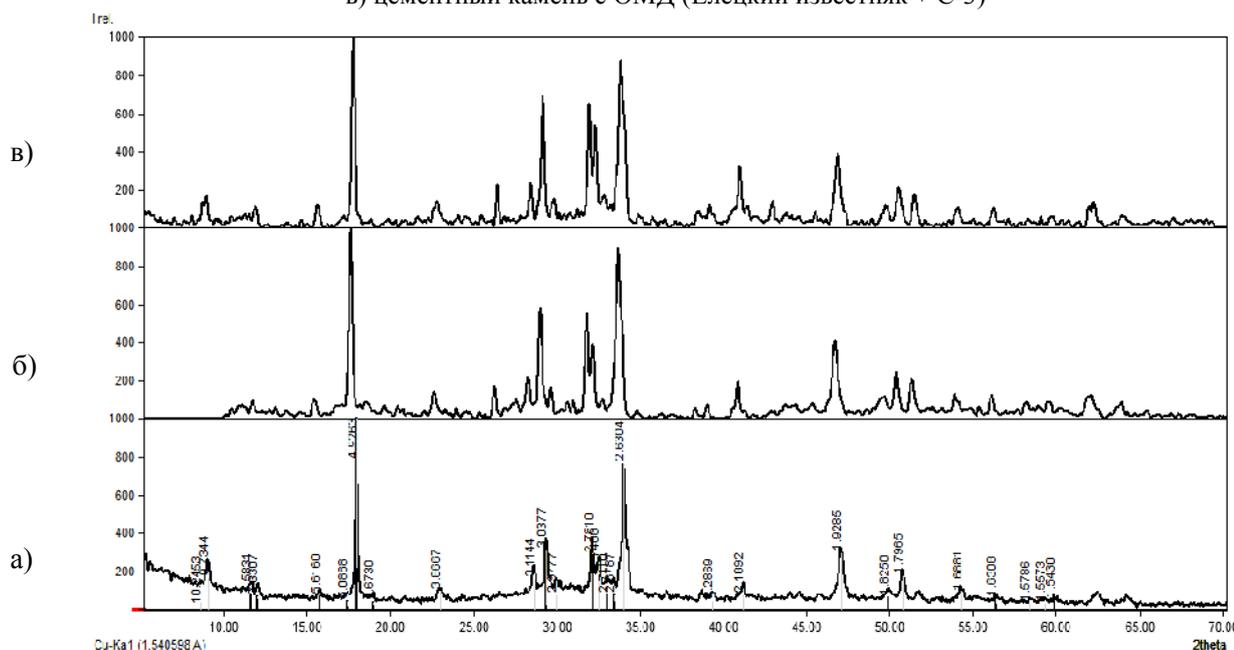


Рис. 2. Рентгенограммы продуктов гидратации и твердения цементного камня:
 а) цементный камень без добавок; б) цементный камень с ОМД (вулканический туф + С-3);
 в) цементный камень с ОМД (гранулированный шлак + С-3)

Эффективность действия ОМД, в которой использовали вулканический туф, в основном обусловлена проявлением активности аморфного кремнезема (SiO_2 более 50 %) в цементной системе с образованием низкоосновных гидросиликатов кальция (рис. 2б).

При использовании в цементной системе ОМД с доменным гранулированным шлаком установлено присутствие кварца и карбонатов кальция, а также усиление пиков гидросиликатов и гидроалюминатов кальция, что вероятно связано с дополнительной гидратацией минералов, таких как геленит ($2\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$) и ранкинит ($3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$) (рис. 2в).

Выводы. Проведенные исследования и выявленные механизмы действия ОМД, включающих компоненты различной физико-химической природы, позволили установить их влияния на свойства цементных систем и минерально-фазовый состав цементного камня. Полученные экспериментальные данные расширяют представления о влиянии ОМД в процессе гидратационного твердения и устанавливают взаимосвязь со свойствами цементного камня. Это дает возможность научно обоснованно подойти к разработке составов и технологии новых эффективных ОМД, в том числе, используя местные, относительно недорогие и доступные сырьевые материалы, для получения бетонов с улучшенными физико-механическими характеристиками.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Каприелов С.С., Шейнфельд А.В., Дондуков В.Г. Цементы и добавки для производства высококачественных бетонов // Строительные материалы. 2017. № 11. С. 4–10.
- Калашников В.И., Тараканов О.В. О применении комплексных добавок в бетонах нового поколения // Строительные материалы. 2017. № 1–2. С. 62–67.
- Калашников В.И. Эволюция развития составов и изменение прочности бетонов. Бетоны настоящего и будущего. Часть 1. Изменение составов и прочности бетонов // Строительные материалы. 2016. № 1–2. С. 96–103.
- Шатов А.Н. Модификаторы для бетона ответственного назначения // Бетон и железобетон. 2013. № 1. С. 7–9.
- Иващенко Ю.Г., Козлов Н.А. Исследование влияния комплексного органоминерального модификатора на процессы структурообразования и кинетику набора прочности цементных композиций // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2011. № 4 (49). С. 15–18.
- Иващенко Ю.Г., Зинченко С.М., Козлов Н.А. Структурообразующая роль органоминеральных добавок при твердении цементных композиций // Вестник СГТУ. 2013. № 3 (72). С. 168–171.
- Ткач Е.В., Рахимов М.А., Тоимбаева Б.М., Рахимова Г.М. Влияние органоминерального модификатора на физико-механические и деформативные свойства бетона // Фундаментальные исследования. 2012. № 3. С. 428–431.
- Нгуен Тхе Винь, Нгуен Динь Чинь, Баженов Ю.М. Разработка органоминеральных модификаторов для получения высокопрочных бетонов с компенсированной усадкой // Вестник МГСУ. № 1. 2012. С. 72–76.
- Кирсанова А.А., Крамар Л.Я. Органоминеральные модификаторы на основе метакаолина для цементных бетонов // Строительные материалы. № 11. 2013. С. 54–56.
- Алфимова Н.И., Шадский Е.Е., Никифорова Н.А. Эффективность использования органоминерального модификатора на основе вулканогенно-осадочных пород // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость № 2 (17) 2016. С. 120–128.
- Тараканов О.В., Акчурин Т.К., Утюгова Е.С. Эффективность применения комплексных органоминеральных добавок для бетонов // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2020. Вып. 1(78). С. 174–181
- Баженов Ю.М., Булгаков Б.И., Нго Суан Хунг Гидротехнический бетон с органоминеральной добавкой // Сборник материалов I Всероссийской научной конференции, посвященной 90-летию выдающегося ученого-материаловеда, академика РААСН Юрия Михайловича Баженова «Строительное материаловедение: настоящее и будущее». М.: ФГБОУ ВО «НИУ МГСУ», 2020. С. 114–117.
- Перцев В.Т., Леденев А.А., Рудаков О.Б. Физико-химические подходы к разработке эффективных органоминеральных добавок для бетона // Конденсированные среды и межфазные границы. 2018. Том 20. № 3. С. 432–442.
- Перцев В.Т., Халилбеков Я.З., Леденев А.А., Перова Н.С. Состав и технология комплексных добавок для бетона на основе промышленных отходов // Цемент и его применение. 2019. № 3. С. 98–101.
- Перцев В.Т., Леденев А.А. Разработка эффективных комплексных органоминеральных добавок для регулирования реологических свойств бетонных смесей: монография. Воронеж: Воронежский ГАСУ, 2012. 136 с.
- Касторных Л.И., Деточенко И.А. Аринина Е.С. Влияние водоудерживающих добавок

на некоторые свойства самоуплотняющихся бетонов. Часть 2. Реологические характеристики бетонных смесей и прочность самоуплотняющихся бетонов // Строительные материалы. 2017. № 11. С. 22–27.

17. Косухин М.М., Косухин А.М., Богачева М.А., Шаповалов Н.А. Изучение влияния различных по природе суперпластификаторов на реологию водных суспензий клинкерных минералов // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2017. № 10. С. 129–134.

18. Salem M., Johari A.S.M. Effect of superplasticizer dosage on workability and strength characteristics of concretes // Journal of Mechanical and Civil Engineering. 2016. Vol. 13, Issue 4 Ver. VII. Pp. 153–158.

19. Li D., Wang D., Ren C., Rui Y. Investigation of rheological properties of fresh cement paste containing ultrafine circulating fluidized bed fly ash // Construction and Building Materials. 2018. № 188. Pp. 1007–1013.

20. Mardani-Aghabaglou Ali, Tuyan Murat, Yilmaz Gokhan, Arioiz Omer, Ramyar Kambiz. Effect

of different types of superplasticizer on fresh, rheological and strength properties of self-consolidating concrete // Construction and Building Materials. 2013. № 47. Pp. 1020–1025.

21. Pan G., Li P., Chen L., Li G. A study of the effect of rheological properties of fresh concrete on shotcrete-rebound based on different additive components // Construction and Building Materials. 2019. № 224. Pp. 1069–1080.

22. Zhang S., Qiao W.-G., Chen P.-C., Xi K. Rheological and mechanical properties of microfine-cement-based grouts mixed with microfine fly ash, colloidal nanosilica and superplasticizer // Construction and Building Materials. 2019. № 212. Pp. 10–18.

23. Hedayatinia F., Delnavaz M., Emamzadeh S.S. Rheological properties, compressive strength and life cycle assessment of self-compacting concrete containing natural pumice pozzolan // Construction and Building Materials. 2019. № 206. Pp. 122–129.

Информация об авторах

Леденев Андрей Александрович, кандидат технических наук, старший научный сотрудник 24 отдела научно-исследовательского. E-mail: ledenoff@mail.ru. Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил, Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина. Россия, 394064, Воронеж, ул. Старых Большевиков, 54А.

Козодаев Сергей Петрович, кандидат технических наук, доцент кафедры технологии строительных материалов, изделий и конструкций (старший научный сотрудник 24 отдела научно-исследовательского). E-mail: kozodaev.s@mail.ru. Воронежский государственный технический университет. Россия, 394006, Воронеж, ул. 20-лет Октября, д. 84. Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил, Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина. Россия, 394064, Воронеж, ул. Старых Большевиков, 54А.

Перцев Виктор Тихонович, доктор технических наук, профессор кафедры технологии строительных материалов, изделий и конструкций. E-mail: peres_v@mail.ru. Воронежский государственный технический университет. Россия, 394006, Воронеж, ул. 20-лет Октября, д. 84.

Баранов Евгений Владимирович, кандидат технических наук, доцент кафедры технологии строительных материалов, изделий и конструкций (старший научный сотрудник 24 отдела научно-исследовательского). E-mail: baranov.evg@mail.ru. Воронежский государственный технический университет. Россия, 394006, Воронеж, ул. 20-лет Октября, д. 84. Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил, Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина. Россия, 394064, Воронеж, ул. Старых Большевиков, 54А.

Загоруйко Татьяна Викторовна, кандидат технических наук, преподаватель 31 кафедры (изыскания и проектирования аэродромов). E-mail: tzagoruiiko@mail.ru. Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил, Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина. Россия, 394064, Воронеж, ул. Старых Большевиков, 54А.

Внуков Дмитрий Николаевич, кандидат технических наук, заместитель начальника 31 кафедры (изыскания и проектирования аэродромов). Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил, Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина. Россия, 394064, Воронеж, ул. Старых Большевиков, 54А.

Поступила 08.07.2021 г.

© Леденев А.А., Козодаев С.П., Перцев В.Т., Баранов Е.В., Загоруйко Т.В., Внуков Д.Н., 2021

^{1,*}Ledenev A.A., ^{1,2}Kozodaev S.P., ²Pertsev V.T., ^{1,2}Baranov E.V.,

¹Tzagoruiko T.V., ¹Vnukov D.N.

¹Military Educational and Scientific Centre of the Air Force

N.E. Zhukovsky and Y.A. Gagarin Air Force Academy

²Voronezh State Technical University

*E-mail: ledenoff@mail.ru

MECHANISMS OF ACT OF VARIOUS KINDS OF ORGANIC MINERAL ADDITIVES IN CEMENT SYSTEM

Abstract. The article presents the direction of development of the scientific and practical foundations of the technology of cement concretes associated with the use of organic mineral additives. It allows to improve the physical and mechanical characteristics of products and structures. The purpose of research is determination of the mechanism of act organic-mineral additives including reductants of the various physical and chemical nature and an experimental estimation of their effect on a mineral phase structure and properties of cement system. Organic mineral additives are applied in studies for which new options of components of the various physical and chemical nature are observed and received. The study of possible mechanisms of effect organic mineral additives conducted on a water-cement paste and on concreting cement system with roentgen-phase analysis application are made. The effect of organic mineral additives on properties watering out and concreting cement systems is established. The effect of organic mineral additives including reductants of the various physical and chemical nature, on a modification of a mineral phase structure of growths in the course of a hydration solidification and set strength is determined. The data obtained allow to broaden the understanding of organic-mineral additives effect on a structure and properties of cement system and to suggest accessible raw reductants in new effective organic mineral additives for obtaining of cement concretes with improved physical-mechanical performances.

Keywords: organic-mineral additives for concrete, mineral additives for concrete, chemical additives for concrete, cement system, roentgen-phase analysis.

REFERENCES

1. Kaprielov S.S, Sheinfeld A.V., Dondukov V.G. Cements and additives for producing high-strength concretes [Cementy i dobavki dlja proizvodstva vysokokachestvennyh betonov]. Construction Materials. 2017. No. 11. Pp. 4–10. (rus)
2. Kalashnikov V.I., Tarakanov O.V. About the use of complex additives in concretes of a new generation [O primeneni kompleksnyh dobavok v betonah novogo pokolenija]. Construction Materials. 2017. No. 1–2. Pp. 62–67. (rus)
3. Kalashnikov V.I. Evolution of development of concretes compositions and change in concrete strength. Concretes of present and future. Part 1. Change in compositions and strength of concretes [Jevoljucija razvitija sostavov i izmenenie prochnosti betonov. Betony nastojashhego i budushhego. Chast' 1. Izmenenie sostavov i prochnosti betonov]. Construction Materials. 2016. No. 1–2. Pp. 96–103. (rus)
4. Shatov A.N. Modifiers for concrete of responsible assigning [Modifikatory dlja betona otvetstvennogo naznachenija]. Concrete and ferro-concrete. 2013. No. 1. Pp. 7–9. (rus)
5. Ivashchenko Yu.G., Kozlov N.A. Investigation of the effect of a complex organomineral modifier on the processes of structure formation and the kinetics of strength gain of cement compositions [Isledovanie vlijaniya kompleksnogo organomineral'nogo modifikatora na processy strukturoobrazovaniya i kinetiku nabora prochnosti cementnyh kompozicij]. Bulletin of BSTU named after V.G. Shuhova. 2011. No. 4 (49). Pp. 15–18. (rus)
6. Ivaschenko Yu.G., Zinchenko S.M., Kozlov N.A. Gel forming role of organo-mineral supplements for hardening cement compositions [Strukturoobrazujushhaja rol' organomineral'nyh dobavok pri tverdenii cementnyh kompozicij]. Vestnik SSTU. 2013. No. 3 (72). Pp. 168–171. (rus)
7. Tkach E.V., Rakhimov M.A., Toimbaeva B.M., Rakhimova G.M. The effect of the organo-mineral modifier on physical and mechanical deformation properties of concrete [Vlijanie organomineral'nogo modifikatora na fiziko-mehaniicheskie i deformativnye svojstva betona]. Fundamental research. 2012. No. 3. Pp. 428–431. (rus)
8. Nguen The Vinh, Nguen Dinh Trinh, Bazhenov Yu.M. Development of organic-mineral modifiers to obtain high-strength concrete with shrinkage compensated [Razrabotka organomineral'nyh modifikatorov dlja poluchenija vysokoprochnykh betonov s kompensirovannoj usadkoj]. Vestnik MGSU. No. 1. 2012. Pp. 72–76. (rus)
9. Kirsanova A.A., Kramar L.Ya. Organomineral modifiers based on metakaolin for cement concretes [Organomineral'nye modifikatory na osnove metakaolina dlja cementnyh betonov]. Construction Materials. 2013. No. 11. Pp. 54–56. (rus)

10. Alifimova N.I., Shadsky E.E., Nikiforova N.A. Effectiveness of the use of organomineral modifier based on the volcanic sediments [Jeftektivnost' ispol'zovaniya organo-mineral'nogo modifikatora na osnove vulkanogenno-osadochnyh porod]. Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate. No. 2 (17). 2016. Pp. 120–128. (rus)

11. Tarakanov O.V., Akchurin T.K., Utyugova E.S. Efficiency of application of integrated organomineral additives for concretes [Jeftektivnost' primeneniya kompleksnyh organomineral'nyh dobavok dlja betonov]. Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Civil Engineering and Architecture. No. 2 (17). 2020. Pp. 174–181. (rus)

12. Bazhenov Ju.M., Bulgakov B.I., Ngo Suan Hung Hydraulic concrete with organic-mineral additive [Gidrotehnicheskij beton s organomineral'noj dobavkoj]. Sbornik materialov I Vserossijskoj nauchnoj konferencii, posvjashhennoj 90-letiju vydajushhegojsja uchenogo-materialoveda, akademika RAASN Jurija Mihajlovicha Bazhenova «Stroitel'noe materialovedenie: nastojashhee i budushhee». M.: FGBOU VO «NIU MGSU», 2020. Pp. 114–117. (rus)

13. Pertsev V.T., Ledenev A.A., Rudakov O.B. Physical and chemical approaches to the development of effective organomineral additives for concrete [Fiziko-himicheskie podhody k razrabotke jeftektivnyh organomineral'nyh dobavok dlja betona]. Condensed Matter and Interphases. 2018. Vol. 20. No. 3. Pp. 432–442. (rus)

14. Pertsev V.T., Khalilbekov Ya.Z., Ledenev A.A., Perova N.S. Composition and technology of complex additives for concrete based on industrial waste [Sostav i tehnologija kompleksnyh dobavok dlja betona na osnove promyshlennyh othodov]. Cement and its application. 2019. No. 3. Pp. 98–101. (rus)

15. Pertsev V.T., Ledenev A.A. Development of effective complex organomineral additives for regulation of rheological properties of concrete mixtures: monography [Razrabotka jeftektivnyh kompleksnyh organomineral'nyh dobavok dlja regulirovaniya reologicheskikh svojstv betonnyh smesej: monografija]. Voronezh: Voronezh GASU, 2012. 136 p. (rus)

16. Kastornykh L.I., Detochenko I.A., Arinina E.S. Effect of water-retaining admixtures on some

properties of self-compacting concretes. Part 2. Rheological characteristics of concrete mixes and strength of self-compacting concretes [Vlijanie vodouderzhivajushhih dobavok na nekotorye svojstva samouplotnjajushhihsja betonov. Chast' 2. Reologicheskie harakteristiki betonnyh smesej i prochnost' samouplotnjajushhihsja betonov]. Construction Materials. 2017. No. 11. Pp. 22–27. (rus)

17. Kosukhin M.M., Kosukhin A.M., Bogacheva M.A., Shapovalov N.A. The study of various superplasticizers influence on the rheology of clinker minerals water suspensions [Izuchenie vlijaniya razlichnyh po prirode superplastifikatorov na reologiju vodnyh suspenzij klinkernyh mineralov]. Bulletin of BSTU named after V.G. Shuhova. 2017. No. 10. Pp. 129–134. (rus)

18. Salem M., Johari A.S.M. Effect of superplasticizer dosage on workability and strength characteristics of concretes // Journal of Mechanical and Civil Engineering. 2016. Vol. 13, Issue 4 Ver. VII. Pp. 153–158.

19. Li D., Wang D., Ren C., Rui Y. Investigation of rheological properties of fresh cement paste containing ultrafine circulating fluidized bed fly ash. Construction and Building Materials. 2018. No. 188. Pp. 1007–1013.

20. Mardani-Aghabaglou Ali, Tuyan Murat, Yilmaz Gokhan, Arioz Omer, Ramyar Kambiz. Effect of different types of superplasticizer on fresh, rheological and strength properties of self-consolidating concrete. Construction and Building Materials. 2013. No. 47. Pp. 1020–1025.

21. Pan G., Li P., Chen L., Li G. A study of the effect of rheological properties of fresh concrete on shotcrete-rebound based on different additive components. Construction and Building Materials. 2019. No. 224. Pp. 1069–1080.

22. Zhang S., Qiao W.-G., Chen P.-C., Xi K. Rheological and mechanical properties of microfine-cement-based grouts mixed with microfine fly ash, colloidal nanosilica and superplasticizer. Construction and Building Materials. 2019. No. 212. Pp. 10–18.

23. Hedayatinia F., Delnavaz M., Emamzadeh S.S. Rheological properties, compressive strength and life cycle assessment of self-compacting concrete containing natural pumice pozzolan. Construction and Building Materials. 2019. No. 206. Pp. 122–129.

Information about the authors

Ledenev, Andrey A. PhD. E-mail: ledenoff@mail.ru. Military Educational and Scientific Centre of the Air Force N.E. Zhukovsky and Y.A. Gagarin Air Force Academy. Russia, 394064, Voronezh, ul. St. Bol'shevikov, 54a.

Kozodaev, Sergey P. PhD, Assistant professor. E-mail: kozodaev.s@mail.ru. Voronezh State Technical University. Russian, 394006, Voronezh, ul. 20-letia Oktabria, 84. Military Educational and Scientific Centre of the Air Force N.E. Zhukovsky and Y.A. Gagarin Air Force Academy. Russia, 394064, Voronezh, ul. St. Bol'shevikov, 54a.

Pertsev, Victor T. DSc, Professor. E-mail: perez_v@mail.ru. Voronezh State Technical University Russian, 394006, Voronezh, ul. 20-letii Oktiabria, 84.

Baranov, Evgenie V. PhD, Assistant professor. E-mail: baranov.evg@mail.ru. Voronezh State Technical University Russian, 394006, Voronezh, ul. 20-letii Oktiabria, 84. «Military Educational and Scientific Centre of the Air Force N.E. Zhukovsky and Y.A. Gagarin Air Force Academy» (Voronezh). Russia, 394064, Voronezh, ul. St. Bol'shevikov, 54a.

Tzagoruiko, Tatyana V. PhD. E-mail: tzagoruiko@mail.ru. Military Educational and Scientific Centre of the Air Force N.E. Zhukovsky and Y.A. Gagarin Air Force Academy. Russia, 394064, Voronezh, ul. St. Bol'shevikov, 54a.

Vnukov Dmitry N. PhD. «Military Educational and Scientific Centre of the Air Force N.E. Zhukovsky and Y.A. Gagarin Air Force Academy» (Voronezh). Russia, 394064, Voronezh, ul. St. Bol'shevikov, 54a.

Received 08.07.2021

Для цитирования:

Леденев А.А., Козодаев С.П., Перцев В.Т., Баранов Е.В., Загоруйко Т.В., Внук Д.Н. Механизмы действия различных видов органоминеральных добавок в цементной системе // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2021. № 9. С. 8–19. DOI: 10.34031/2071-7318-2021-6-9-8-19

For citation:

Ledenev A.A., Kozodaev S.P., Pertsev V.T., Baranov E.V., Tzagoruiko T.V., Vnukov D.N. Mechanisms of act of various kinds of organic mineral additives in cement system. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2021. No. 9. Pp. 8–19. DOI: 10.34031/2071-7318-2021-6-9-8-19

DOI: 10.34031/2071-7318-2021-6-9-20-27

Загороднюк Л.Х., *Рыжих В.Д., Махортов Д.С., Синяков Д.А.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

*E-mail: ryzhikh.vlad@mail.ru

ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ МИКРОСТРУКТУРЫ ГРАНУЛИРОВАННЫХ ЗАПОЛНИТЕЛЕЙ НА РАЗНЫХ ВЯЖУЩИХ КОМПОЗИЦИЯХ (ЧАСТЬ 3)

Аннотация. Представленная статья является логическим продолжением результатов исследований, изложенных в предыдущей публикации, и отражает результаты исследований по влиянию вяжущей композиции №3 (ВК-3) на формирования микроструктуры и физико-механические свойства гранулированных заполнителей. В результате теоретического анализа установлено, что плотное застывание кристаллической массой пор гранулированных заполнителей осуществляется при добавлении ВК-3 в количестве 15 % не зависимо от фракционного состава кварцевого песка. Установлено, что плотность кристаллических образований, отображающих микроструктуру образцов, напрямую влияет на физико-механические показатели композитов. На дисперсных микронаполнителях формируется, как на подложках, густая микрокристаллическая структура новообразований гидросиликатов кальция. Добавление 15 % вяжущей композиции №3 (ВК-3) в компонентный состав гранулированных заполнителей обеспечивает стабильность физико-механических показателей и позволяет рекомендовать их для использования в качестве крупных заполнителей при приготовлении растворных смесей специального назначения.

Ключевые слова: гранулированные заполнители, вяжущие композиции, микроструктура, гидратация.

Введение. Сегодня перед научным сообществом всего мира стоит ряд глобальных нерешенных проблем, связанных с загрязнением окружающей среды. Решение данных проблем требует проведения углублённого многогранного анализа.

Каждый день растёт масштаб строительства и производства строительных материалов; нехватка строительного сырья на тех или иных территориях уменьшает экономическую эффективность производства с использованием стандартных материалов. Лишь единицы предприятий оптимизируют свою работу и вводят в производственный процесс современные разработки научного сообщества.

На данный момент одной из глобальных экологических проблем является хранение некондиционного сырья на открытых площадках, в результате чего происходит выветривание и загрязнение атмосферы [1, 2]. Именно применение некондиционного сырья в технологии производства строительных материалов поможет снизить риски загрязнения природы и увеличить экономическую эффективность. Существует ряд актуальных разработок в области производства строительных материалов с использованием техногенных некондиционных материалов и отходов производств [1–9], целью которых является создание высокоэффективных композиционных вяжущих [7–9] и заполнителей [10–12].

Условия производства строительных материалов на различных участках всегда разные, поэтому так важно приспосабливаться к определен-

ным обстоятельствам и требованиям. Существует проблема нехватки крупных и мелких заполнителей на тех или иных территориях, являющаяся основополагающей в процессе спада экономической эффективности производства. Создание искусственных заполнителей необходимых фракций, с возможностью воспроизводства на любой территории мира – важная задача для научного сообщества.

Материалы и методы. Используемые материалы – портландцемент (ПЦ 500-Д0-Н), кварцевый песок (КП) фракций $\leq 0,16$; $\leq 0,315$; $\leq 0,63$ мм; вода (В) ГОСТ 23732-2011.

Формование гранулированных заполнителей (ГЗ) производилось на основе вяжущей композиции №3 (ВК-3). ВК-3 получена путем совместного помола ПЦ=70 % и КП=30 % в вихревой струйной мельнице ВСМ-01 [11, 12].

Грануляция (экструзионное формование) ГЗ производилась на автоматической шнековой установке Mystery MGM-3000 с мощностью 3000 Вт. В ходе исследования получены 3 вида наиболее прочных гранулированных заполнителей (ГЗ) на основе ВК-3 и КП (фр. $\leq 0,16$; $\leq 0,315$; $\leq 0,63$ мм). Набравшие прочность в течение 28 суток в воздушно-влажных условиях ГЗ заформованы с цементным тестом (в пропорциях по массе ГЗ:ПЦ:В = 1:1:0,5) [11, 12] в образцы-кубы $3 \times 3 \times 3$ см. Подробная методология экструзионного формования ГЗ и проведения физико-механических испытаний на сжатие образцов приведена в научно-исследовательских работах [11, 12].

Микроскопические снимки сколов образцов-кубов $3 \times 3 \times 3$ см, предварительно разрушенные на гидравлическом прессе ПГМ-50МГ4, выполнены на электронном микроскопе высокого разрешения Tescan Mira 3 LMU.

Основная часть. Лабораторные исследования проводились с целью определения влияния наполнителя (кварцевого песка) на прочностные

характеристики ГЗ. Изменение объема добавления ВК-3 в ГЗ с 5 до 15 % увеличивает физико-механические показатели прочности всей системы. Проведение микроструктурного анализа проводилось только для наиболее перспективных образцов обладающих наибольшей прочностью (табл. 1).

Таблица 1

Наиболее перспективные составы гранулированных заполнителей и их прочностные характеристики

№ п/п	Шифр образцов с ГЗ	Прочность при сжатии, МПа	
		Средняя	Максимальная
1	Гранулированные заполнители с ВК-3 (рекомендуемые)		
1.1	0,16+15 % ВК-3	25,37	25,89
1.2	0,315+15 % ВК-3	26,66	27,14
1.3	0,63+15 % ВК-3	26,98	27,59
2	Гранулированные заполнители с ВК-3 (не рекомендуемые)		
2.1	0,16+5 % ВК-3	15,42	15,27
2.2	0,315+5 % ВК-3	20,31	21,38
2.3	0,63+5 % ВК-3	20,65	22,06
2.4	0,16+10 % ВК-3	15,08	15,32
2.5	0,315+10 % ВК-3	18,37	19,01
2.6	0,63+10 % ВК-3	23,7	24,46

Исследование микроструктуры гранулированных заполнителей проводилось в областях контактного слоя ГЗ с цементным тестом и в зонах среза ядра ГЗ.

Микроструктура контактного слоя ГЗ с шифром 0,16+15 % ВК-3 (рис. 1) пористая, состоящая из отдельных блоков-агрегатов, сформированными кристаллическими образованиями разной ориентации. Размеры пор находятся в пределах 0,01–0,1 мм. Микроструктура контактного слоя характеризуется основными структурообразующими элементами: кристаллический сrostок [13], не до конца гидратированные зерна портландцемента, тоберморитовый гель, поровое пространство, зерна наполнителя и зерна заполнителя. Величина интеграции цементного теста в ГЗ в области контактного слоя ограничивается низкой дисперсностью, высокой удельной поверхностью и малыми размерами поровых пространств кварцевых песков $\leq 0,16$ мм. Отчетливо прослеживаются образования чешуйчатых поликристаллов гидросиликатов кальция (рис. 1, в). Замечены множественные формирования призматических кристаллов, вероятнее всего, образованные гидроксидом кальция $\text{Ca}(\text{OH})_2$. На некоторых участках пор наблюдается формирование игольчатых кристаллов гидросульфаталюминатов кальция. Отчетливо просматривается обрастание зерен наполнителя, создающих гидратационные центры. Общий структурный вид – блочный, с формированием разноориентированной кристаллической фазы. Слоистость образования кристаллов на одних участках определяется менее четко,

на других нечетко. Несмотря на все вышеизложенные факторы, структура контактного слоя является плотной с достаточно широкой морфологией образования кристаллов.

Микроструктурный анализ поверхности скола ГЗ с шифром 0,16+15 % ВК-3 (рис. 2) показывает, что образец имеет высокопористую структуру с размерами пор 0,01 – 0,1 мм. Мезоструктура ГЗ 0,16+15 % ВК-3 (рис. 2, а, б) зернистая, с плотными кристаллическими обрастаниями зерен заполнителя и наполнителя [14–16]. Отмечается, что мелкодисперсные зерна наполнителя в составе вяжущей композиции ВК-3 уплотняют структуру ГЗ путем формирования дополнительных субмикристаллических гидратных фаз. Микроструктура ГЗ с шифром 0,16+15 % ВК-3 состоит из отдельных блоков-агрегатов (рис. 2, в), образованных разноориентированными кристаллами различной формы при гидратации клинкерных минералов. Кристаллическая фаза ГЗ на основе вяжущего ВК-3 представлена блоками в виде гексогональных пластинчатых кристаллов гидроалюминатов кальция, в некоторых местах сросшихся в двойниковом положении в результате геометрического отбора растущих кристаллов. Наблюдаются формирования чешуйчатых поликристаллов гидросиликатов кальция с параллельными образованиями игольчатых кристаллов эттрингита на поверхности блоков-агрегатов. Форма блока определяет ориентацию роста кристаллов. Отчетливо

видны активные прорастания кристаллов эттрингита в микропоровом и межблочном пространстве, увеличивающие плотность и прочность ГЗ.

Методом электронной микроскопии исследована микроструктура области контактного слоя ГЗ с шифром 0,315+15 % ВК-3 и цементного теста (рис. 3). При этом выявлена плотная зернистая структура с включениями небольшого количества пор размерностью 0,05–0,3 мм (рис. 3, а, б). Установлена блочно-агрегатная структура (рис. 3, в), образованная сросшимися чешуйчатыми поликристаллами гидросиликатов кальция

с формированием в отдельных местах друз кристаллов, гексагональными пластинчатыми кристаллами гидроалюминатов кальция. Отмечается обрастание зерен заполнителей кристаллической массой. В ходе геометрического отбора образована разноориентированная сросшаяся кристаллическая структура с формированием блоков-агрегатов. Частично наблюдаются формирования игольчатых кристаллов гидросульфалюминатов кальция, прорастающих в поровом пространстве и в соседние агрегатно-блочные образования.

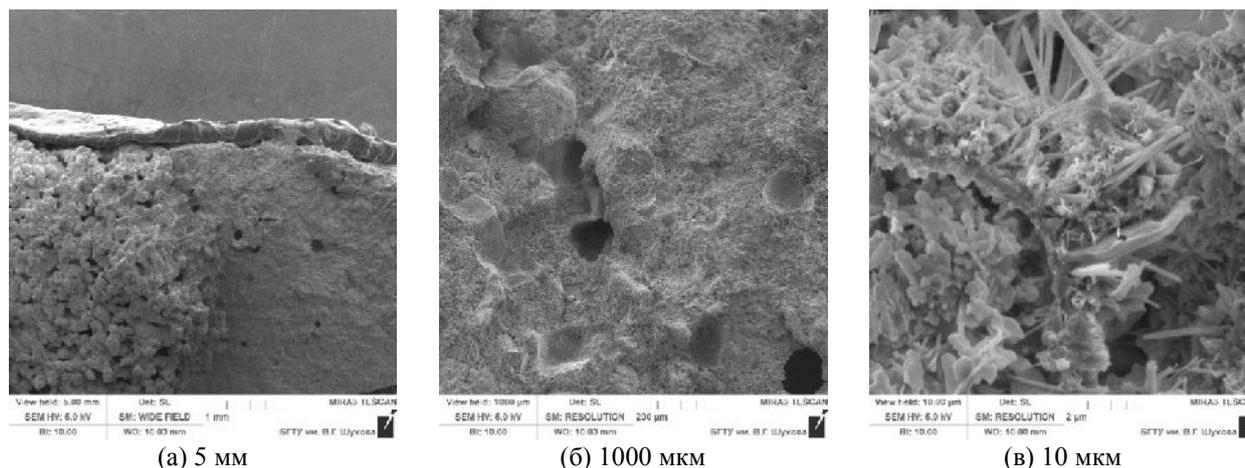


Рис. 1. Микроструктура контактного слоя гранулированных заполнителей 0,16+15 % ВК-3

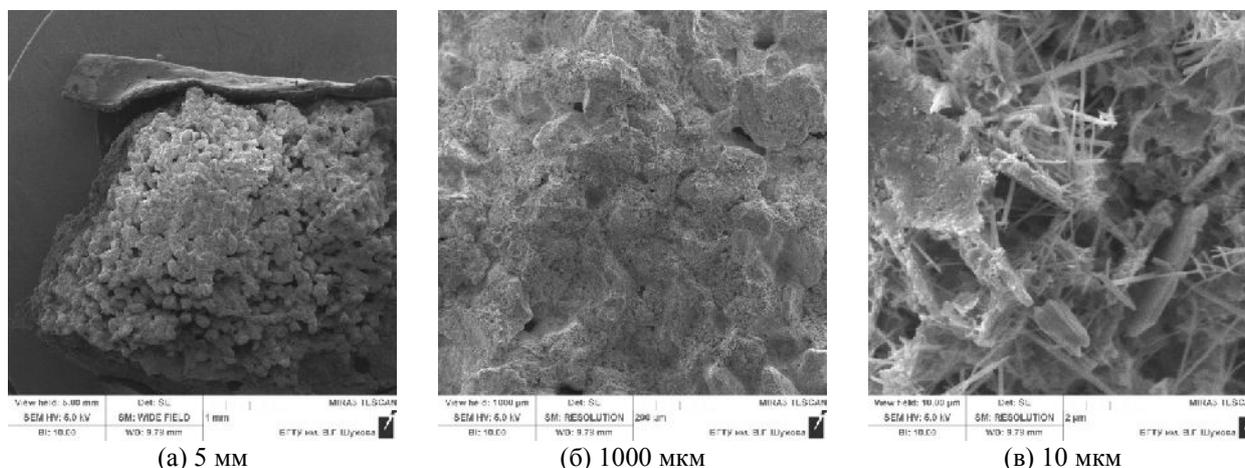


Рис. 2. Микроструктура поверхности скола гранулированных заполнителей 0,16+15 % ВК-3

Изучая микроструктуру поверхности скола ГЗ с шифром 0,315+15 % ВК-3 (рис. 4), следует отметить, что наблюдается плотное зарастание кристаллических образований с наличием небольшого количества вкраплений пор размерами 0,01–0,15 мм. Наблюдается контактная область сцепления частицы заполнителя (кварцевого песка) и вяжущей композиции ВК-3 (рис. 4, б). Структура поверхности скола вяжущей композиции агрегатно- или блочно-ритмическая (рис. 4, в), с образованием разноориентированных чешуйчатых поликристаллов гидросиликатов кальция, игольчатых кристаллов гидросульфалюми-

натов кальция и дополнительных субмикроструктурных гидратных фаз в виде бахромы. На некоторых местах (рис. 4, в) отчетливо видны гексагональные пластинчатые кристаллы, по всей вероятности, низкосульфатного гидросульфалюмоферрита кальция [15–18]. Формирование кристаллической массы осуществляется методами наслоения с образованием кристаллоагрегатов в процессе гидратации минералов клинкера. Параллельная слоистость системы отсутствует. Наблюдается плотное сцепление кристаллической фазы с шероховатой поверхностью частиц заполнителя, что обеспечивает дополнительную прочность композита.

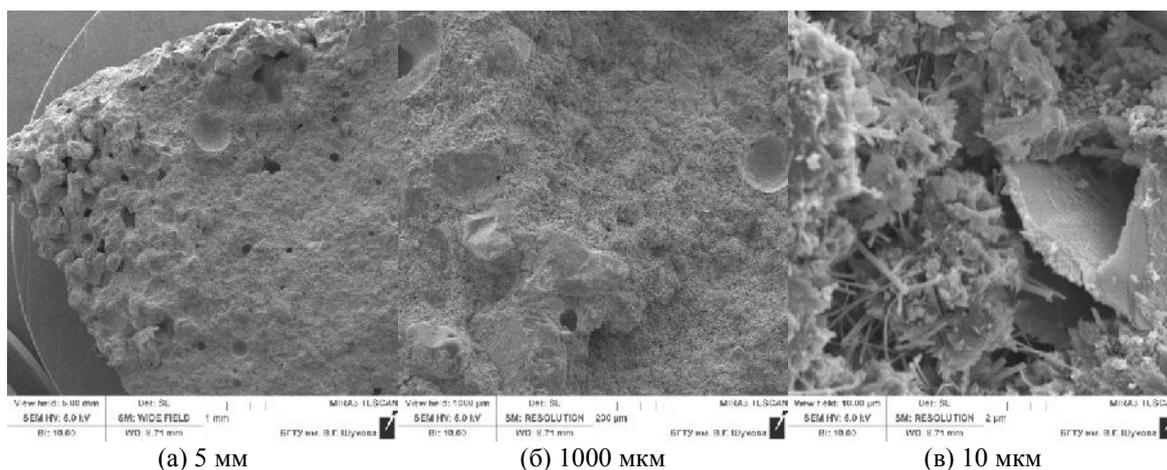


Рис. 3. Микроструктура контактного слоя гранулированных заполнителей 0,315+15 % ВК-3

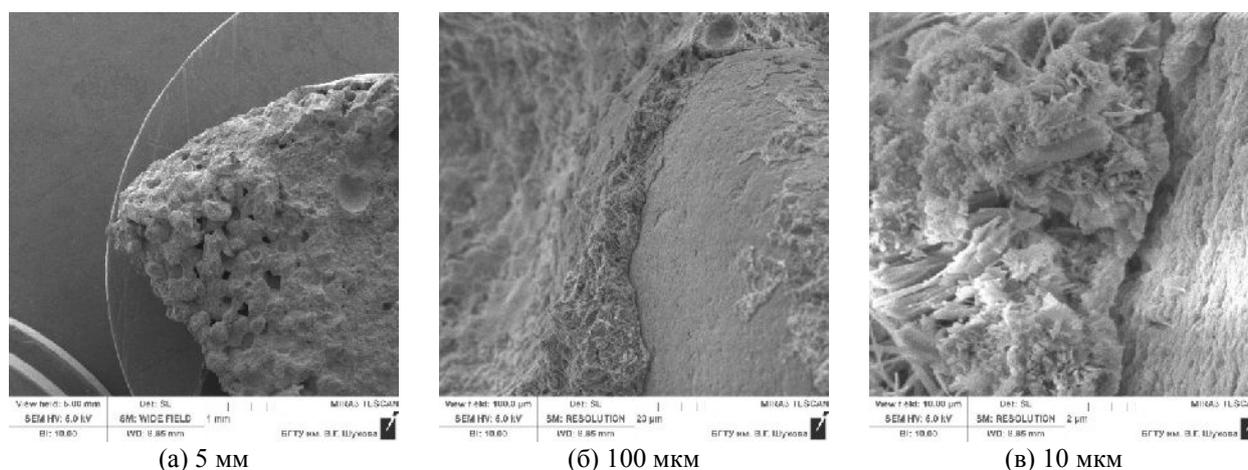


Рис. 4. Микроструктура поверхности скола гранулированных заполнителей 0,315+15 % ВК-3

Поверхность контактного слоя ГЗ с шифром 0,63+15 % ВК-3 (рис. 5, а, б) характеризуется наличием зернистой мезоструктуры с наличием поровых пространств размерностью 0,01–0,5 мм. Шероховатая поверхность, угловатая форма частиц заполнителя, а также высокая пористость ГЗ увеличивают размерность контактного слоя, тем самым повышая интенсификацию и адгезию. Размеры контактного слоя находятся в пределах 1–1,3 мм. Микроструктура контактного слоя ГЗ шифра 0,63+15 % ВК-3 состоит из отдельных блоков-агрегатов (рис. 5, в), образованных разноориентированными чешуйчатыми поликристаллами гидросиликатов кальция, игольчатыми кристаллами этtringита, а также малыми призматическими кристаллами гидроксида кальция. Содержание 30 % дисперсного минерального наполнителя в составе композиционного вяжущего ВК-3 обеспечивает формирование плотной структуры вследствие зарастания пор и образование дополнительных субмикроструктурных центров гидратации. Кристаллические новообразования формируются послойно, что объясняется периодическим изменением концентраций раствора из-за разной скорости диффузии водного

раствора к исходным зернам вяжущего (портландцемента) через слой новообразований [16]. Слоистость контактного слоя отчетливо видна при значительном увеличении.

Микроструктурный анализ поверхностей скола ГЗ шифра 0,63+15 % ВК-3 (рис. 6) свидетельствует, что данный образец характеризуется значительным количеством пор размерами от 0,05 до 0,5 мм с одновременным плотным зарастанием межчастичного пространства и частиц заполнителя (кварцевого песка) кристаллами продуктов гидратации. Микроструктура ГЗ шифра 0,63+15 % ВК-3 состоит из отдельных блоков-агрегатов (рис. 6, в). Блочно-ритмическая структура имеет различную морфологию [13–16]. Одни блоки формируются из пластинчатых (чешуйчатых) поликристаллов гидросиликатов кальция, другие из гексагональных пластинчатых кристаллов гидроалюминатов кальция, третьи из удлиненных призматических кристаллов продуктов гидратации силикатов кальция. В результате геометрического отбора установлены образования параллельно направленных друз кристаллов. В общей массе структура блоков-агрегатов смешанная и разноориентированная, содержащая в себе суммарно все кристаллические

образования в разных пропорциях. Установлены малые образования игольчатых кристаллов этрингита, формирующиеся в поровых пространствах и микротрещинах цементного камня и ГЗ. С увеличением возраста твердения ГЗ предпола-

гается срастание и формирование новых кристаллоагрегатов сложной формы. Плотная структура зарастания межчастичного пространства определяет высокие физико-механические характеристики образцов на сжатие.

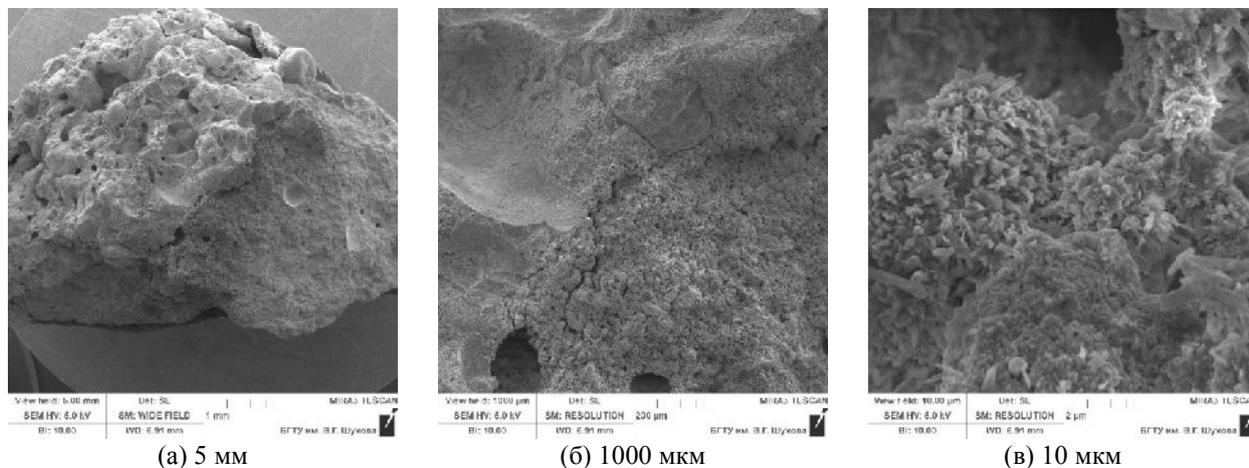


Рис. 5. Микроструктура контактного слоя гранулированных заполнителей 0,63+15 % KB-3

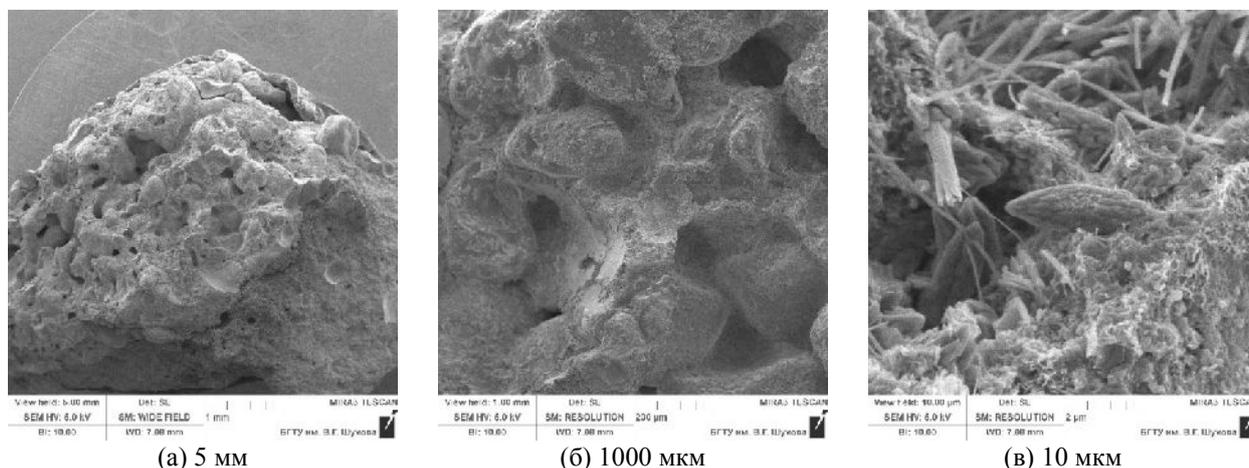


Рис. 6. Микроструктура поверхности скола гранулированных заполнителей 0,63+15 % BK-3

Установлено, что вяжущая композиция BK-3 при гидратации образует плотную кристаллическую структуру с активным зарастанием пор и формированием дополнительных центров гидратации, за счет содержания в компонентном составе частиц кварцевого песка. Опираясь на результаты физико-механических испытаний, следует отметить, что наиболее перспективными образцами являются ГЗ с шифром 0,63+15 % BK-3, образующих плотную структуру системы и высокую степень адгезии с цементным тестом.

Выводы.

1. Установлено, что плотность кристаллических образований, отображающих микроструктуру образцов, напрямую влияет на физико-механические показатели композитов. Гранулированные заполнители на основе песков (фр. 0,16; 0,315; 0,63 мм) и вяжущей композиции BK-3 обладают высокой стабильной прочностью в диапазоне от 25,37 МПа до 26,98 МПа.

2. Микроструктура контактных слоев гранулированных заполнителей с цементным тестом представлена основными структурообразующими элементами: кристаллический сросток, не до конца гидратированные зерна портландцемента, тоберморитовый гель, поровое пространство, зерна наполнителя и зерна заполнителя.

3. По всему объему ГЗ пористое пространство плотно зарастает мелкодисперсными кристаллическими фазами, что прогнозирует получение образцов высокой прочности.

4. Сравнивая прочностные характеристики и микроструктуру ПЦ 500-Д0-Н и BK-1, следует отметить, что при применении BK-1 микроструктура образцов уплотняется. Таким образом, приготовление вяжущей композиции в вихревой струйной мельнице и использование минерального наполнителя в компонентном составе гранулированных заполнителей обеспечивают экономию дорогостоящего высокоэнергоемкого портландцемента при одновременном повышении

прочностных показателей. Экономия портланд-цемента осуществляется за счет его замены на кварцевый песок (ВК-1 – до 10 %; ВК-2 – до 20 %; ВК-3 – до 30 %), а также их совместного помола в ВСМ-01.

5. Анализ показателей прочности и микро-структуры гранулированных заполнителей с содержанием вяжущей композиции ВК-2 показал неравномерность формирования кристаллической структуры при гидратации, что негативно сказалось на величинах физико-механических показателей образцов. Данный состав ГЗ с вяжущей композицией ВК-2 нецелесообразно использовать при приготовлении растворов в связи с нестабильностью формирования внутренней структуры композита.

6. Отмечается, что при повышении добавления кварцевого песка в состав ВК от 10 до 30 % увеличиваются прочностные показатели ГЗ. В системе создается двойной каркас за счет совместной работы природного заполнителя, вяжущего и искусственно созданного наполнителя в составе ВК (кварцевого песка, добавляемого в количествах 10, 20, 30 %), что объясняется законом сродства структур.

7. На основании проведенных исследований по изучению формирования микроструктуры гранулированных заполнителей на разных вяжущих композициях наиболее перспективным является состав с шифром 0,63+15 % ВК-3 с прочностью при сжатии 26,98 МПа, характеризуемый стабильностью свойств и рекомендуемый для использования при приготовлении строительных растворов специального назначения.

Источник финансирования. РФФИ научно-исследовательского проекта № 18-29-24113 с использованием оборудования Центра высоких технологий БГТУ им. В.Г. Шухова.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Aljasimee D.H., Dhaheer M.S.A. Fresh and hardened properties of self-compacting concrete incorporating PVA-treated recycled aggregate // *Materials Science and Engineering*. 2020. Vol. 671. 012103.
2. Cabrera-Covarrubias F., Gomez-Soberon J.M., Almaral-Sanchez J.L., Arredondo-Rea S.P., Gomez-Soberon M.C., Corral-Higuera R. An Experimental Study of Mortars with Recycled Ceramic Aggregates: Deduction and Prediction of the Stress-Strain // *Materials*. 2016. Vol. 9, № 12. 1029.
3. Palovčik J., Opravil T., Novotný R., Másilko J. Application of brick grind dust in systems based on Portland cement // *IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng.* 2018. Vol. 379. 012002.
4. Shapovalov N.A., Shchekina A. Yu., Gorodov A.I. Modified binders on the basis of flotation

tailings // *IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng.* 2018. Vol. 327. 032050.

5. Tchamdjou W.H.J., Grigoletto S., Michel F., Courard L., Abidi M.L., Cherradi T. An investigation on the use of coarse volcanic scoria as sand in Portland cement mortar // *Case Studies in Construction Materials*. 2017. Vol. 7. Pp. 191–206.

6. Thomas C., Cimentada A.I., Cantero B., Saez del Bosque I.F., Polanco J.A. Industrial Low-Clinker Precast Elements Using Recycled Aggregates // *Applied Sciences*. 2020. Vol. 10, № 19. 6655.

7. Загороднюк Л.Х., Сумской Д.А., Чепенко А.С. Особенности процессов гидратации высокодисперсных вяжущих // *Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова*. 2018. № 12. С.105–113.

8. Yüksel I., Genç A. Properties of Concrete Containing Nonground Ash and Slag As Fine Aggregate // *ACI Materials Journal*. 2007. Vol. 37. 8.

9. Miller S.A. The role of cement service-life on the efficient use of resources // *Environ. Res. Lett.* 2020. Vol. 15, № 2. 024004.

10. Courard L., Rondeux M., Zhao Z., Michel F. Use of Recycled Fine Aggregates from C&DW for Unbound Road Sub-Base // *Materials*. 2020. Vol. 13, № 13. P. 2994.

11. Zagorodnyuk L.H., Ryzhikh V.D., Makhortov D.S., Sumskey D.A. Method of Extrusion Granulation of Aggregates for the Preparation of Filling Mixtures // *Innovations and Technologies in Construction*. Cham: Springer International Publishing. 2021. Vol. 151. Pp. 22–28.

12. Lesovik V., Zagorodnyuk L., Ryzhikh V., Lesovik R., Fediuk R., Vatin N., Karelina M. Granular Aggregates Based on Finely Dispersed Sub-standard Raw Materials // *Crystals*. 2021. Vol. 11, № 4. 369.

13. Feng Y. Hydration and strength development in blended cement with ultrafine granulated copper slag // *PLoS ONE* ed. Pimraksa K. 2019. Vol. 14, № 4. e0215677.

14. Wu J., Wang L., Meng L. Analysis of mineral composition and microstructure of gravel aggregate based on XRD and SEM // *Road Materials and Pavement Design*. 2017. Vol. 18, № 3. Pp. 139–148.

15. An J., Kim S.S., Nam B.H., A. Durham S. Effect of Aggregate Mineralogy and Concrete Microstructure on Thermal Expansion and Strength Properties of Concrete // *Applied Sciences*. 2017. Vol. 7, № 12. 1307.

16. Zitouni K., Djerbi A., Mebrouki A. Study on the Microstructure of the New Paste of Recycled Aggregate Self-Compacting Concrete // *Materials*. 2020. Vol. 13, № 9. 2114.

17. Rao M., Wei J., Gao Z., Zhou W., Li Q., Liu S. Study on Strength and Microstructure of Cement-Based Materials Containing Combination Mineral

Admixtures // Advances in Materials Science and Engineering. 2016. Vol. 2016. Pp. 1–10.

18. Hodul J., Žižková N., Borg R.P. The Influence of Crystalline Admixtures on the Properties and

Microstructure of Mortar Containing By-Products // Buildings. 2020. Vol. 10, № 9. 146.

Информация об авторах

Загороднюк Лилия Хасановна, доктор технических наук, профессор кафедры строительного материаловедения, изделий и конструкций. E-mail: LHZ47@mail.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Рыжих Владислав Дмитриевич, аспирант кафедры строительного материаловедения, изделий и конструкций. E-mail: ryzhikh.vlad@mail.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Махортов Денис Сергеевич, аспирант кафедры строительного материаловедения, изделий и конструкций. E-mail: mahortov1995@yandex.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Синебок Дарья Александровна, магистрант кафедры безопасности жизнедеятельности. E-mail: rd_work00@mail.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Поступила 12.04.2021 г.

© Загороднюк Л.Х., Рыжих В.Д., Махортов Д.С., Синебок Д.А., 2021

Zagorodnyuk L.Kh., *Ryzhikh V.D., Makhortov D.S., Sinebok D.A.

Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov

**E-mail: ryzhikh.vlad@mail.ru*

SPECIFIC FEATURES OF THE FORMATION OF THE MICROSTRUCTURE OF GRANULAR AGGREGATES ON DIFFERENT BINDING COMPOSITIONS (PART 3)

Abstract. *This article represents a logical continuation of the research results presented in the previous publication and reflects the results of studies of the effect of the binder composition No. 3 (BC-3) on the formation of the microstructure and physical and mechanical properties of granular aggregates. The experimental results demonstrate that the best indicators of the strength of granular aggregates are provided with the adding of BC-3 in an amount of 15 %, regardless of the fractional composition of quartz sand. In addition, the density of crystalline formations reflecting the microstructure of the samples directly affects the physical and mechanical properties of the composites. On dispersed micro fillers, as on a base plate, a dense micro-crystalline structure of new formations of hydrated calcium silicates is formed. The addition of 15% binder composition No. 3 (BC-3) to the component composition of granular aggregates ensures the stability of physical and mechanical properties. Thus, they can be recommended for use as coarse aggregates in the preparation of special-purpose mortar mixtures.*

Keywords: *granulated fillers, binding compositions, microstructure, hydration, extrusion.*

REFERENCES

1. Aljasimee D.H., Dhaheer M.S.A. Fresh and hardened properties of self-compacting concrete incorporating PVA-treated recycled aggregate. Materials Science and Engineering. 2020. Vol. 671. 012103.

2. Cabrera-Covarrubias F., Gomez-Soberon J.M., Almaral-Sanchez J.L., Arredondo-Rea S.P., Gomez-Soberon M.C., Corral-Higuera R. An Experimental Study of Mortars with Recycled Ceramic Aggregates: Deduction and Prediction of the Stress-Strain. Materials. 2016. Vol. 9, No. 12. 1029.

3. Palovčík J., Opravil T., Novotný R., Másilko J. Application of brick grind dust in systems based

on Portland cement. IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 2018. Vol. 379. 012002.

4. Shapovalov N.A., Shchekina A. Yu., Gorodov A.I. Modified binders on the basis of flotation tailings. IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 2018. Vol. 327. 032050.

5. Tchamdjou W.H.J., Grigoletto S., Michel F., Courard L., Abidi M.L., Cherradi T. An investigation on the use of coarse volcanic scoria as sand in Portland cement mortar. Case Studies in Construction Materials. 2017. Vol. 7. Pp. 191–206.

6. Thomas C., Cimentada A.I., Cantero B., Saez del Bosque I.F., Polanco J.A. Industrial Low-

Clinker Precast Elements Using Recycled Aggregates. Applied Sciences. 2020. Vol. 10, № 19. P. 6655.

7. Zagorodnyuk L.H., Sumskey D.A., Chepenko A.S. Features of the processes of hydration of highly dispersed binders [Osobennosti processov gidratatsii vysokodispersnyh vyazhushchih]. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2018. No. 12. Pp. 105–113. (rus)

8. Yüksel I., Genç A. Properties of Concrete Containing Nonground Ash and Slag As Fine Aggregate. ACI Materials Journal. 2007. Vol. 37. P. 8.

9. Miller S.A. The role of cement service-life on the efficient use of resources. Environ. Res. Lett. 2020. Vol. 15, No. 2. 024004.

10. Courard L., Rondeux M., Zhao Z., Michel F. Use of Recycled Fine Aggregates from C&DW for Unbound Road Sub-Base. Materials. 2020. Vol. 13, No. 13. 2994.

11. Zagorodnyuk L.H., Ryzhikh V.D., Makhortov D.S., Sumskey D.A. Method of Extrusion Granulation of Aggregates for the Preparation of Filling Mixtures. Innovations and Technologies in Construction. Cham: Springer International Publishing. 2021. Vol. 151. Pp. 22–28.

12. Lesovik V., Zagorodnyuk L., Ryzhikh V., Lesovik R., Fediuk R., Vatin N., Karelina M. Granular Aggregates Based on Finely Dispersed Substandard Raw Materials. Crystals. 2021. Vol. 11, No. 4. 369.

13. Feng Y. Hydration and strength development in blended cement with ultrafine granulated copper slag. PLoS ONE ed. Pimraksa K. 2019. Vol. 14. No. 4. e0215677.

14. Wu J., Wang L., Meng L. Analysis of mineral composition and microstructure of gravel aggregate based on XRD and SEM. Road Materials and Pavement Design. 2017. Vol. 18, No. 3. Pp. 139–148.

15. An J., Kim S.S., Nam B.H., A. Durham S. Effect of Aggregate Mineralogy and Concrete Microstructure on Thermal Expansion and Strength Properties of Concrete. Applied Sciences. 2017. Vol. 7, No. 12. 1307.

16. Zitouni K., Djerbi A., Mebrouki A. Study on the Microstructure of the New Paste of Recycled Aggregate Self-Compacting Concrete. Materials. 2020. Vol. 13, No. 9. 2114.

17. Rao M., Wei J., Gao Z., Zhou W., Li Q., Liu S. Study on Strength and Microstructure of Cement-Based Materials Containing Combination Mineral Admixtures. Advances in Materials Science and Engineering. 2016. Vol. 2016. Pp. 1–10.

18. Hodul J., Žižková N., Borg R.P. The Influence of Crystalline Admixtures on the Properties and Microstructure of Mortar Containing By-Products. Buildings. 2020. Vol. 10. No. 9. 146.

Information about the authors

Zagorodnyuk, Liliya Kh. DSc, Professor. E-mail: LHZ47@mail.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Ryzhikh, Vladislav D. Postgraduate student. E-mail: ryzhikh.vlad@mail.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Makhortov, Denis S. Postgraduate student. E-mail: mahortov1995@yandex.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Sinebok, Darya A. Master student. E-mail: rd_work00@mail.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Received 12.04.2021

Для цитирования:

Загороднюк Л.Х., Рыжих В.Д., Махортов Д.С., Синебок Д.А. Особенности формирования микроструктуры гранулированных заполнителей на разных вяжущих композициях (Часть 3) // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2021. № 9. С. 20–27. DOI: 10.34031/2071-7318-2021-6-9-20-27

For citation:

Zagorodnyuk L.Kh., Ryzhikh V.D., Makhortov D.S., Sinebok D.A. Specific features of the formation of the microstructure of granular aggregates on different binding compositions (Part 3). Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2021. No. 9. Pp. 20–27. DOI: 10.34031/2071-7318-2021-6-9-20-27

DOI: 10.34031/2071-7318-2021-6-9-28-36

¹Рыбникова И.А., ²*Рыбников А.М.¹Новороссийский филиал Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова²Государственный морской университет им. адм. Ф.Ф. Ушакова

*E-mail: a.ribnikov@novoroskhp.ru

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ РАСЧЁТА НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ БУРОНАБИВНЫХ КОНИЧЕСКИХ СВАЙ

Аннотация. Представлены три способа определения несущей способности буронабивных конических свай с учётом дополнительных сил отпора грунта по их наклонной боковой поверхности при вертикальной нагрузке. Несущую способность по результатам полевых испытаний предложено определять с помощью коэффициента перехода от предельной допустимой осадки фундамента здания к осадке сваи, полученной при статических испытаниях. Его величина варьируется от 0,1 до 0,3 в зависимости от угла конусности сваи. Для определения несущей способности эмпирическим способом разработаны табличные данные сил отпора грунта по боковой поверхности свай в зависимости от прочностных свойств грунтов основания, угла конусности сваи и глубины расположения изменяющегося сечения сваи по длине. Процесс обжатия грунта в пробуренной скважине упругим цилиндрическим прессиометром близок по физическому смыслу возникновению отпора грунта при его раздвижении боковой поверхностью конической сваей при осадке под нагрузкой. При этом допущении определять отпор грунта на боковой поверхности конических свай предложено по той же зависимости, что и при обработке результатов прессиометрических испытаний грунтов с учётом введения корректирующего коэффициента в зависимости от параметров сваи. Расчётная несущая способность свай, определённая по предлагаемым методикам, отличается от фактической несущей способности, определённой по результатам статических испытаний натуральных свай, в пределах 10 %. Однако, приведенные методики требуют совершенствования по мере накопления статистических данных испытаний натуральных свай в разных грунтовых условиях.

Ключевые слова: буронабивная свая, угол конусности сваи, несущая способность сваи, отпор грунта, прессиометрические испытания грунтов, методика расчёта.

Введение. Результаты натуральных испытаний трёх типоразмеров буронабивных конических свай (БКС) показали их эффективность [1, 2]. Диаметры голов буронабивных конических свай составляли $d_r = 0,4; 0,5; 0,6$ м, диаметр торца свай $d_o = 0,2$ м. Цифровые обозначения таких свай приняты по их наименованию, длине в м, диаметру головы и нижнего торца в сантиметрах. Таким образом, при принятых геометрических размерах угол конусности сваи БКС 40/20-4,5 составляет $\alpha = 1^\circ 20'$, у сваи БКС 50/20-4,5 он равен $\alpha = 2^\circ$, а у сваи БКС 60/20-4,5 доходит до $\alpha = 2^\circ 40'$.

Анализ методик расчёта свай, сужающихся к острию, выявил различный подход к определению их несущей способности. Однако существующие методики относятся только к клиновидным сваям, уплотняющим грунт вокруг них при их погружении. В то же время внедрение в практику строительства рассматриваемых конструкций буронабивных конических свай предполагает необходимость разработки методики расчёта именно их несущей способности.

Методология. Авторами учтена особенность определения несущей способности буронабивных конических свай по результатам натуральных полевых испытаний статическими нагруз-

ками, уточнён эмпирический способ, а также использован способ по результатам прессиометрических испытаний грунтов.

Основная часть. Определение несущей способности буронабивных конических свай.

а) Способ по результатам полевых испытаний свай статическими вдавливающими нагрузками.

Несущую способность F_d свай по результатам их испытаний вдавливающей статической нагрузкой определяется по формуле СП 24.13330.2011 «Свайные фундаменты»:

$$F_d = F_{u,n} / \gamma_g, \quad (1)$$

где $F_{u,n}$ – нормативное значение предельного сопротивления сваи, κH ; γ_g – коэффициент надёжности по грунту, принимаемый, как правило, равным 1.

Для фундаментов зданий и сооружений за частное значение предельного сопротивления сваи F_u вдавливающей нагрузке следует принимать нагрузку, под воздействием которой испытываемая свая получит осадку, равную S , определяемую по формуле

$$S = \zeta S_{u,mt}, \quad (2)$$

где $S_{u,mt}$ – предельное значение средней осадки фундамента проектируемого здания или сооружения, устанавливаемого по СП 22.23330.2011 «Основания зданий и сооружений». Предельные деформации основания фундаментов объектов нового строительства S_u для большинства зданий и сооружений составляют 10, 12, 15, 18, 20 см; ζ – коэффициент перехода от предельного значения средней осадки фундамента здания или сооружения $S_{u,mt}$ к осадке сваи, полученной при статических испытаниях с условной стабилизацией (затуханием) осадки, его принимают обычно равным 0,2. Соответственно осадки для назначения несущей способности сваи по графику «нагрузка-осадка» принимаются равными 20...40 мм.

В зарубежных нормах и рекомендациях (ФРГ, США, Бельгия, Индия) предельная нагрузка на сваю назначается по разным методикам: по заданной осадке, резкому перелому кривой графика, фиксированной осадке сваи при определённой нагрузке. В большинстве случаев предельная нагрузка назначается при осадках

свай порядка 20...35 мм, то есть такими же, как и в России.

Таким образом, при определении несущей способности сваи по данным полевых испытаний их статическими ступенчатыми нагрузками важным вопросом является установление нормативного значения предельного сопротивления сваи $F_{u,l}$ по графику «нагрузка-осадка». Коэффициент $\zeta = S / S_{u,mt} = 0,2$, то есть осадка сваи в составе свайного фундамента может в 5 раз превысить осадку одиночной сваи, полученную по результатам испытания. Поэтому он не в полной мере отражает действительную работу сваи. Бахолдин Б.В. и Мамонов В.М. [3], анализируя ряд данных по назначению несущих способностей буронабивных свай по результатам полевых испытаний, пришли к выводу о том, что переходной коэффициент ζ от предельно допускаемой величины средней осадки фундамента сооружения $S_{u,mt}$ к осадке сваи S следует принимать дифференцированно, с учётом опыта строительства.

Таблица 1

Сопротивление буронабивных конических свай в зависимости от их осадки

Нагрузка на сваю $F_{общ}$, кН	Осадка сваи S , мм	Сопротивление, кН			$F_{отп} / F_{общ}$	$S / S_{u,mt}$
		$F_{остр}$	$F_{трен}$	$F_{отп}$		
Свая БКС 50/20-4,5						
12,5	0,96	5	7	0,5	0,05	0,008
25	1,94	7	16	2	0,08	0,016
50	3,13	14	29	7	0,14	0,026
75	6,50	19	41	15	0,20	0,054
100	7,48	24	52	24	0,24	0,062
125	10,11	28	60	37	0,30	0,084
150	19,72	34	63	53	0,35	0,16
175	26,47	40	65	70	0,4	0,22
200	39,05	49	68	83	0,42	0,33
225	51,33	57	70	98	0,44	0,43
250	75,88	67	71	112	0,45	0,63
Свая БКС 60/20-4,5						
50	0,41	-	40	5	0,1	0,003
100	0,95	25	62	13	0,13	0,008
200	3,08	47	112	41	0,21	0,025
300	6,20	62	156	82	0,27	0,052
400	10,41	75	175	150	0,38	0,090
500	16,50	86	190	224	0,45	0,15
600	25,26	103	193	304	0,51	0,23
700	40,03	122	203	375	0,54	0,34
800	62,59	146	206	448	0,56	0,53
900	108,20	154	208	538	0,60	0,90
Примечание: $F_{общ} = F_{остр} + F_{трен} + F_{отп}$; $F_{остр}$ – сопротивление сваи под нижним торцом (остриём); $F_{трен}$ – сопротивление сил трения по боковой поверхности сваи; $F_{отп}$ – сопротивление сил отпора грунта по наклонной (конусной) боковой поверхности сваи						

Коэффициент $\zeta = 0,2$ также не в полной мере отражает действительную работу буронабивных конических свай. Результаты исследований таких натуральных тензометрических свай [2]

показали, что их несущая способность на последних ступенях нагружения в основном определяется отпором грунта по наклонной боковой по-

верхности (см. табл. 1). При малом угле конусности $\alpha = 1^\circ 20'$ свая слабо распирает грунт и как бы «прокалывает» его. С увеличением α до $2^\circ 40'$ расклинивающий эффект проявляется значительно. Поэтому для буронабивных конических свай за критерий назначения несущей способности следует принимать величину сил отпора грунта по боковой поверхности, так как на неё приходится до 38–49 % от общей нагрузки [2]. Таким образом, коэффициент ζ необходимо принимать дифференцированно в зависимости от угла конусности свай α .

Для назначения несущей способности буронабивных конических свай по графикам испытаний «нагрузка-осадка» необходимо на кривых изменения сил отпора грунта в зависимости от осадок определить точки их перегиба, которые бы характеризовали мобилизацию сил отпора.

Однако они, как показано в работах [1, 2], неявно выражены, так как кривые имеют плавный характер (рис. 1, рис. 2). Анализ результатов несущей способности рассматриваемых свай, в том числе при построении графиков в логарифмическом масштабе по аналогии с графиками, приведенными в работах [4, 5], позволяет рекомендовать применение коэффициента ζ по табл. 2. Для свай с большим или меньшим углом α переходной коэффициент ζ требует уточнения. В таблице 2 не приведены значения для свай с малым углом конусности, так как у них выявлено существенное завышение несущей способности. Они близки по форме и технологии устройства к цилиндрическим буронабивным сваям и для них следует принимать коэффициент ζ как для цилиндрических свай.

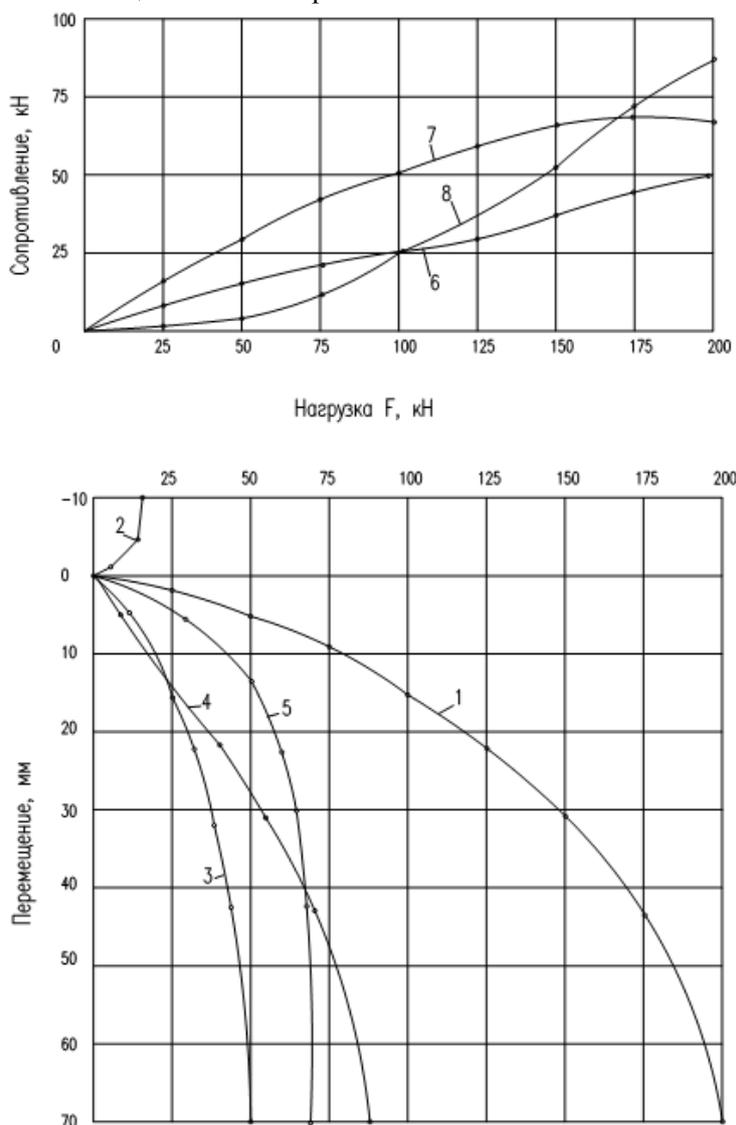


Рис. 1. Результаты исследований работы свай БКС 40/20-4,5 при различных ступенях нагружения.

График зависимостей:

1 – нагрузка – осадка свай; 2 – нагрузка-выход сваи из грунта;

3 – осадка-сопротивление острия; 4 – осадка-отпор грунта;

5 – осадка-трение по стволу; 6 – нагрузка-сопротивление под остриём;

7 – нагрузка-сопротивление трения; 8 – нагрузка-сопротивление отпора

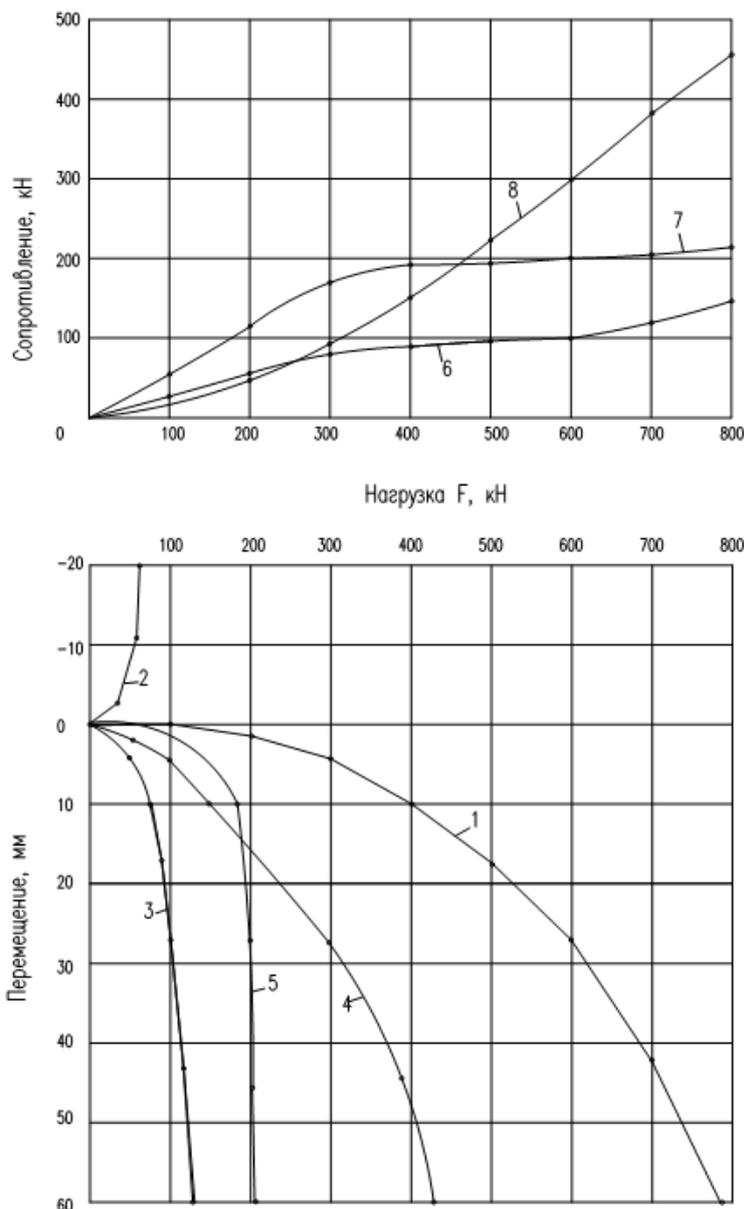


Рис. 2. Результаты исследований работы сваи БКС 60/20-4,5 при различных ступенях нагружения. График зависимостей:

- 1 – нагрузка – осадка сваи; 2 – нагрузка-выход сваи из грунта;
- 3 – осадка-сопротивление острия; 4 – осадка-отпор грунта;
- 5 – осадка-трение по стволу; 6 – нагрузка-сопротивление под остриём;
- 7 – нагрузка-сопротивление трения; 8 – нагрузка-сопротивление отпора

Таблица 2
Рекомендуемый коэффициент ζ для буронабивных конических свай в зависимости от угла конусности α

2°	2,5°	3°
0,20	0,25	0,30

б) Эмпирический способ.

Как было установлено экспериментально, в общем сопротивлении буронабивных конических свай вдавливающим нагрузкам участвуют и силы отпора грунта по наклонной боковой поверхности [4, 6]. Следовательно, несущую спо-

собность таких свай нужно определять по зависимости, в основу которой положена трёхчленная формула для свай с наклонной боковой поверхностью $F_d = F_{остр} + F_{тр} + F_{отп}$, где $F_{остр}$ и $F_{тр}$ принимаются по известным формулам для цилиндрических буронабивных свай согласно СП 24.13330.2011 «Свайные фундаменты». Отпор грунта по наклонной боковой поверхности сваи предлагается определять по формуле

$$F_{отп} = \sum f_i^{отп} u_i l_i k_i, \tag{3}$$

где $f_i^{отп}$ – расчётное сопротивление i -го слоя грунта основания по боковой поверхности сваи,

$кг/м^2$; u_i – средний периметр i -го поперечного сечения сваи, m ; l_i – толщина i -го слоя грунта основания, соприкасающегося с боковой поверхностью сваи, m ; k_i – коэффициент условий работы грунта на боковой поверхности сваи, принимаемый для супесей и суглинков равным 0,6, для глин – 0,8.

Значения $f_i^{отп}$ рекомендуется принимать по табл. 3 из условий, что отпор грунта зависит от прочностных свойств грунтов, угла конусности сваи и глубины расположения сечения сваи. Приведенные данные получены по результатам про-

веденных исследований действительного характера распределения контактных напряжений по наклонной боковой поверхности свай [1, 2]. Тенденция такого подхода подтверждается исследованиями некоторых авторов [6, 7]. В табл. 3 значения $f_i^{отп}$ дано только при показателях консистенции грунтов $0 < I_L \leq 0,4$. Такое нормирование обусловлено тем, что применение буронабивных свай, в том числе цилиндрических, в грунтах с показателем I_L технологически и экономически нецелесообразно. В указанных грунтах лучше применять забивные призматические или пирамидальные сваи.

Таблица 3

Расчётное сопротивление отпора грунта $f_i^{отп}$, МПа

Глубина расположения сечения сваи, m	Угол конусности сваи α , град.	Отпор грунта на боковой поверхности буронабивных конических свай $f_i^{отп}$, при показателе консистенции грунта I_L				
		0	0,1	0,2	0,3	0,4
0,5	1°	0,005	0,004	0,003	0,002	0,001
	1°30'	0,012	0,010	0,008	0,006	0,004
	2°	0,030	0,027	0,024	0,021	0,018
	2°30'	0,041	0,037	0,033	0,029	0,025
	3°	0,060	0,055	0,050	0,045	0,040
1,0	1°	0,006	0,005	0,004	0,003	0,002
	1°30'	0,013	0,011	0,009	0,007	0,005
	2°	0,035	0,032	0,029	0,026	0,023
	2°30'	0,046	0,042	0,038	0,034	0,030
	3°	0,070	0,065	0,060	0,055	0,050
2,0	1°	0,007	0,006	0,005	0,004	0,003
	1°30'	0,015	0,013	0,011	0,009	0,007
	2°	0,040	0,037	0,034	0,031	0,028
	2°30'	0,056	0,052	0,048	0,044	0,040
	3°	0,080	0,075	0,070	0,065	0,060
3,0	1°	0,008	0,007	0,006	0,005	0,004
	1°30'	0,018	0,016	0,014	0,012	0,010
	2°	0,050	0,047	0,044	0,041	0,038
	2°30'	0,069	0,065	0,061	0,057	0,053
	3°	0,095	0,090	0,085	0,080	0,075
4,0	1°	0,009	0,008	0,007	0,006	0,005
	1°30'	0,021	0,019	0,017	0,015	0,013
	2°	0,065	0,062	0,059	0,056	0,053
	2°30'	0,082	0,078	0,074	0,070	0,066
	3°	0,115	0,110	0,105	0,100	0,095
5,0	1°	0,010	0,009	0,008	0,007	0,006
	1°30'	0,035	0,022	0,020	0,018	0,016
	2°	0,082	0,078	0,074	0,070	0,066
	2°30'	0,096	0,093	0,090	0,087	0,084
	3°	0,142	0,136	0,130	0,124	0,118

в) Способ с использованием результатов прессиометрических испытаний грунтов.

Согласно СП 24.13330.2011 «Свайные фундаменты» несущая способность висячих буронабивных свай определяется с учётом наименования грунта, показателя крупности песков или консистенции глинистых грунтов I_L , а также глубины заложения нижнего конца сваи. Поскольку

эти показатели не полностью характеризуют прочностные свойства грунтов при разработке метода расчёта несущей способности свай, желательно учитывать и деформационные характеристики грунтов. Бахолдин Б.В. и Игонкин И.Т. [6], рассматривая картину возникновения отпора грунта при его раздвигании боковыми гранями пирамидальной сваей, пришли к выводу о том,

что этот процесс близок по физическому смыслу к возникновению напряжений при обжатии грунта прессиометром. На основании этого вывода авторы допускают возможность при определении отпора грунта на боковой поверхности пирамидальных свай пользоваться той же зависимостью, что и при обработке результатов прессиометрических испытаний грунтов.

Как известно ГОСТ 20276-2012 «Грунты. Методы полевого определения характеристик прочности и деформируемости» прессиометрический метод исследования грунтов состоит в обжатии их в пробуренной скважине упругим цилиндром с измерением давления обжатия при увеличении давления обжатия и соответствующих деформаций стенок скважины. Развития этого метода отражены в работах некоторых авторов [8–10]. В свете этого наиболее достоверная картина возникновения деформаций грунта бу-

дет наблюдаться при осадке под нагрузкой буронабивной конической сваи, изготовленной в пробуренной скважине с ненарушенной структурой грунта.

На рис. 3 показана схема взаимодействия буронабивной конической сваи с грунтом при её осадке от нагрузки. Сила f аналогична силе сопротивления грунта по боковой поверхности сваи и обусловлена сцеплением и трением грунта. Сила $f^{отп}$ является дополнительным отпором грунта при раздвигании его в стороны в процессе осадки сваи под нагрузкой. Эта сила отклоняется от нормали к боковой поверхности на угол внутреннего трения грунта φ и раскладывается на нормальную $\sigma^{отп}$ и параллельную f' составляющие [11]. Сила $f^{отп}$ дополнительно повышает трение по боковой поверхности сваи из-за увеличения напряжений, действующих нормально к боковой поверхности при осадке сваи.

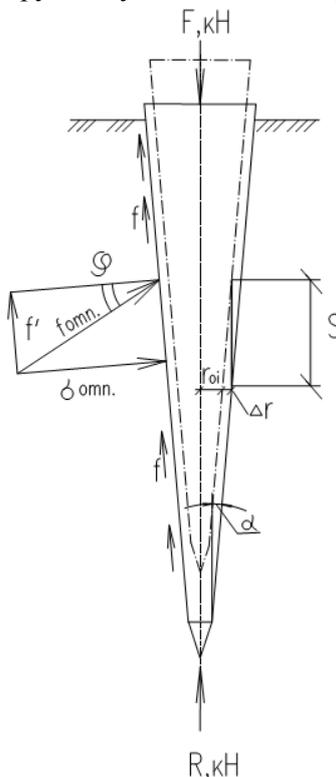


Рис. 3. Схема взаимодействия буронабивной конической сваи с грунтом основания при её осадке от вертикальной нагрузки

Сопротивление сваи, вызванное отпором грунта, определяется по зависимости:

$$f^{отп} = \sigma^{отп} \operatorname{tg} \varphi \cdot \cos \alpha + \sigma^{отп} \sin \alpha = \sigma^{отп} (\operatorname{tg} \varphi + \operatorname{tg} \alpha), \quad (4)$$

где α – угол конусности сваи, град; φ – угол внутреннего трения грунта, град.

Несущая способность буронабивной конической сваи в соответствии с рис. 3 будет определяться по формуле:

$$\Phi = RF + \sum m_f u_i l_i \cos \alpha + \sum u_i l_i f^{отп} \quad (5)$$

или

$$\Phi = RF + \sum m_f u_i l_i \cos \alpha + \sum u_i l_i \sigma_i^{отп} (\operatorname{tg} \varphi + \operatorname{tg} \alpha). \quad (6)$$

Неизвестным в формуле (6) остаётся дополнительный отпор грунта $\sigma_i^{отп}$. Для его определения и воспользуемся зависимостью, принятой при обработке результатов прессиометрических испытаний грунтов. Модуль общей деформации грунта E_0 по данным прессиометрических испытаний находят из уравнения

$$E_0 \frac{\psi(1+\mu_0)r_0\sigma^{отп}}{u}, \quad (7)$$

где ψ – коэффициент, зависящий от отношения длины обжимаемого цилиндром участка l к его

диаметру d ; μ_0 – коэффициент Пуассона грунта; r_0 – начальный радиус скважины, m ; σ_i^{omn} – давление на стенки скважины, m/m^2 ; u – величина деформация стенки скважины, m .

При большой длине участка нагрузки, что наблюдается при осадке сваи под нагрузкой, практически уже при $1/2 r_0 \geq 4$, $\psi = 1$ и формула (7) преобразуется в известную формулу Ляме

$$E_0 = \frac{(1+\mu)r_0 \Delta\sigma}{\Delta r}, \quad (8)$$

где $\Delta\sigma$ – приращение давления на стенку скважины между двумя точками, взятыми на осреднённой прямой графика испытаний, m/m^2 ; Δr –

приращение перемещения стенки скважины (по радиусу), соответствующее $\Delta\sigma$, m .

Преобразуем формулу Ляме относительно $\Delta\sigma = \sigma_i^{omn}$ для условий работы конической сваи, тогда

$$\sigma_i^{omn} = \frac{E_0 \Delta r}{K(1+\mu_0)r_{oi}}, \quad (9)$$

где K – корректирующий коэффициент, учитывающий анизотропию грунта, различную способность грунта к восприятию сжимающих и растягивающих усилий, принимаемый в первом приближении по табл. 4.

Таблица 4

Рекомендуемый корректирующий коэффициент K для буронабивных конических свай в зависимости от угла конусности α

α	1°	1,5°	2°	2,5°	3°
K	2,5	1,2	0,8	0,6	0,5

Поскольку нас интересует σ_i^{omn} в состоянии, при котором назначается несущая способность сваи, то радиальное перемещение Δr следует принимать при осадке сваи

$$S = \zeta S_{np,cp}, \quad (10)$$

где ζ – дифференцированный переходной коэффициент, принимаемый по табл. 2; $S_{np,cp}$ – предельно допустимое значение средней осадки фундамента здания или сооружения, определяемое по СП 22.13330.2011 «Основания зданий и сооружений» (Приложение Д, табл. Д.1).

Тогда $\Delta r = S \cdot tg\alpha$. Следовательно, отпор грунта можно определять по формуле

$$\sigma_i^{omn} = \frac{E_0 S}{K(1+\mu_0)r_{oi}} tg. \quad (11)$$

Применительно к результатам испытаний натуральных буронабивных конических свай [4] была определена их несущая способность по формуле (6). Из табл. 5, в которой приведена фактическая несущая способность свай по результатам полевых испытаний (с учётом дифференцированного коэффициента ζ), видно, что расчётные и опытные данные различаются не более, чем на 10 %. Это свидетельствует о достаточной точности для практического применения предлагаемого метода расчёта.

Таблица 5

Несущая способность буронабивных конических свай, kH

Марка сваи	Угол конусности сваи α , град	Длина сваи, m	Опытные данные	Теоретические данные	Сходимость данных, %
БКС-50/20-4,5-1	1°20'	4,5	340	328	4
БКС 50/20-4,5 -2	1°20'	4,5	380	347	10
БКС-60/20-4,5	2°40'	4,5	628	624	1
БКС-40/20-4,5	2°	4,5	180	206	8

Выводы.

1. Разработанные методики расчёта несущей способности буронабивных конических свай учитывают дополнительные силы отпора грунта по наклонной боковой поверхности, которые определяются при помощи составленной таблицы удельных сил отпора или по результатам исследований грунтов прессиометром. При этом величина сопротивления под нижним торцом и сил трения по боковой поверхности свай определяются по СП 24.13330.2011 «Свайные фундаменты». Расчётная несущая способность свай, определённая по предлагаемым методикам, отличается от фактической несущей способности,

определённой по результатам статических испытаний натуральных свай, в пределах 10 %.

2. При накоплении данных результатов испытаний натуральных буронабивных конических свай рассматриваемых конструкций в разных грунтовых условиях оснований фундаментов следует совершенствовать приведенные методики расчёта их несущей способности, так как расхождение в 10 % по ним от фактической несущей способности достаточно большое.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Рыбникова И.А., Рыбников А.М. Анализ результатов натурных испытаний буронабивных конических свай на действие различных видов нагрузок // Вестник БГТУ им. В. Г. Шухова. 2018. № 3. С. 24–29.
2. Рыбникова И.А., Рыбников А.М. Анализ результатов тензометрических исследований работы буронабивных конических свай // Вестник БГТУ им. В. Г. Шухова. 2020. № 2. С. 44–55.
3. Бахолдин Б.В., Мамонов В.М. Совершенствование норм проектирования буронабивных свай // Основания, фундаменты и механика грунтов. 1972. № 6. С. 21–22.
4. Далматов Б.И., Лапшин Ф.К., Россихин Ю.В. Проектирование свайных фундаментов в условиях слабых грунтов. Л.: Стройиздат, 1975. 240 с.
5. Хилобок В.Г., Великородный Ю.И. К методике интерпретации результатов испытаний свай статической нагрузкой // Свайные фундаменты в просадочных грунтах. Киев: КГУ. 1970. С. 53–57.
6. Бахолдин Б.В., Игонькин И.Т. Исследование несущей способности пирамидальных свай // Основания, фундаменты и механика грунтов. 1978. № 3. С. 13–16.
7. Готман А.Д., Зиязов Я.Ш. Определение несущей способности свай в выштампованном ложе // Основания, фундаменты и механика грунтов. 1984. № 2. С. 12–15.
8. Трофименков Ю.Г., Воробков Л.Н. Полевые методы исследования строительных свойств грунтов. М.: Стройиздат, 1981. 215 с.
9. Лушников В.В. Развитие прессиометрического метода исследований нескальных грунтов. М.: Стройиздат, 1991. 392 с.
10. Бондарин Г.К., Коренева С.Л., Горячева Д.С. Методические рекомендации по определению деформационных и прочностных свойств глинистых пород методом прессиометрии. М.: Мингеологии СССР, 1971. 65 с.
11. Лапшин Ф.К. Расчёт свай по предельным состояниям. Саратов: Саратовский университет, 1979. 152 с.

Информация об авторах

Рыбникова Ирина Александровна, старший преподаватель кафедры гуманитарных и естественнонаучных дисциплин. E-mail: 7upa7@mail.ru. Новороссийский филиал Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. Россия, 353915, Новороссийск, ул. Мысхакское шоссе, д. 75.

Рыбников Александр Михайлович, старший научный сотрудник, кандидат технических наук, доцент кафедры подъёмно-транспортных машин и комплексов. E-mail: a.ribnikov@novoroshkp.ru. Государственный морской университет имени адмирала Ф.Ф. Ушакова. Россия, 353918, Новороссийск, пр. Ленина, д. 93.

Поступила 12.01.2021 г.

© Рыбникова И.А., Рыбников А.М., 2021

¹Rybnikova I.A., ^{2,*}Rybnikov A.M.

¹Novorossiyskiy branch of Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov

²State Maritime University named after adm. F. F. Ushakov

*E-mail: a.ribnikov@novoroshkp.ru

DEVELOPMENT OF A METHOD FOR CALCULATING THE BEARING CAPACITY OF BORED CONICAL PILES

Abstract. Three methods for determining the load-bearing capacity of bored conical piles are presented, considering the additional forces of the ground rebound along their inclined side surface under vertical load. It is proposed to determine the bearing capacity according to the results of field tests using the coefficient of transition from the maximum permissible settlement of the building foundation to the settlement of the pile obtained during static tests. Its value varies from 0.1 to 0.3 depending on the angle of the pile taper. To determine the bearing capacity of the empirical method, tabular data of the ground rebound forces on the side surface of the piles are developed. It depends on the strength properties of the base soil, the angle of the pile taper and the depth of the location of the changing cross-section of the pile along the length. The process of compressing the soil in a drilled well with an elastic cylindrical pressiometer is close to the occurrence of a ground rebound when it is pushed apart by the side surface of a conical pile during sediment under load. It is proposed to determine the ground resistance on the side surface of conical piles according to the same dependence as when processing the results of pressiometric tests of soils, taking into account the introduction of a correction factor depending on the parameters of the pile. The calculated load-bearing capacity of the piles, determined by the proposed methods, differs from the actual load-bearing capacity, determined by the results

of static tests of full-scale piles, within 10 %. However, these methods need to be improved with the accumulation of statistical data for testing full-scale piles in different ground conditions.

Keywords: bored piles, the taper angle of piles, bearing capacity of the pile, resistance of the soil, passive testing of soil, method of calculation.

REFERENCES

1. Rybnikova I.A., Rybnikov A.M. Analysis of the results of field testing of drilled conical piles on the action of different types of loads. [Analiz rezultatov naturnykh ispytaniy buronabivnykh konicheskikh svaj na dejstvie razlichnykh vidov nagruzok]. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2018. No. 3. Pp. 24–29. (rus)
2. Rybnikova I.A., Rybnikov A.M. Analysis of the results of tensometric studies of the work bored conical piles. [Analiz rezultatov tenzometricheskikh issledovaniy raboty buronabivnykh konicheskikh svaj]. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2020. No. 2. Pp. 4455. (rus)
3. Bakholdin B.V., Mamonov V.M. Improve standards for designing bored piles. [Sovershenstvovanie norm proektirovaniya buronabivnykh svaj]. Bases, foundations and soil mechanics. 1972. No. 6. Pp. 21–22. (rus)
4. Dalmatov B.I., Lapshin F.K., Rossikhin Yu. V. Design of pile foundations in conditions of weak soils. [Proektirovanie svajnykh fundamentov v usloviyah slabyykh gruntov]. L.: Stroyizdat, 1975. 240 p. (rus)
5. Khilobok V.G., Velikorodny Yu.I. To the method of interpretation of the results of testing piles with static load. [K metodike interpretatsii rezultatov ispytaniy svaj staticheskoy nagruzkoy]. Pile foundations in subsidence soils. Kiev: KSU. 1970. Pp. 53–57. (rus)
6. Bakholdin B.V., Igonkin I.T. Investigation of the bearing capacity of pyramidal piles. [Issledovanie nesushchej sposobnosti piramidalnykh svaj]. Bases, foundations and soil mechanics. 1978. No. 3. Pp. 13–16. (rus)
7. Gotman A.D., Ziyazov Ya.Sh. Determination of the bearing capacity of piles in a vyshtampovannom bed. [Opredelenie nesushchej sposobnosti svaj v vyshtampovannom lozhe]. Bases, foundations and soil mechanics. 1984. No. 2. Pp. 12–15. (rus)
8. Trofimenkov Yu. G., Vorobkov L.N. Field methods for studying construction properties of soils. [Polevye metody issledovaniya stroitelnykh svoystv gruntov]. M.: Stroyizdat, 1981. 215 p. (rus)
9. Lushnikov V.V. Development of the pressiometric method for studying non-rock soils. [Razvitiye pressiometricheskogo metoda issledovaniy neskalnykh gruntov]. M.: Stroyizdat, 1991. 392 p. (rus)
10. Bondarin G.K., Koreneva S.L., Goryacheva D.S. Methodical recommendations for determining the deformation and strength properties of clay rocks by the method of pressiometry. [Metodicheskie rekomendatsii po opredeleniyu deformatsionnykh i prochnostnykh svoystv glinistykh porod metodom pressiometrii]. M.: Mingeologiya SSSR. 1971. 65 p. (rus)
11. Lapshin K.F. Calculation of the pile ultimate limit state. [Raschyot svaj po predelnym sostoyaniyam]. Saratov: Saratov University. 1979. 152 p. (rus)

Information about the authors

Rybnikova, Irina A. Senior Lecturer of the Department of Humanities and Natural Sciences. E-mail: 7upa7@mail.ru. Novorossiysk branch of Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 353915, Novorossiysk, str. Myshakskoe shosse, 75.

Rybnikov, Alexander M. Senior Researcher, PhD, Assistant Professor of the Department of Lifting and Transport Machines and Complexes. E-mail: a.ribnikov@novoroskhp.ru. Admiral F.F. Ushakov State Maritime University. Russia, 353918, Novorossiysk, Lenin Ave., 93.

Received 12.01.2021

Для цитирования:

Рыбникова И.А., Рыбников А.М. Разработка методики расчёта несущей способности буронабивных конических свай // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2021. № 9. С. 28–36. DOI: 10.34031/2071-7318-2021-6-9-28-36

For citation:

Rybnikova I.A., Rybnikov A.M. Development of a method for calculating the bearing capacity of bored conical piles. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2021. No. 9. Pp. 28–36. DOI: 10.34031/2071-7318-2021-6-9-28-36

DOI: 10.34031/2071-7318-2021-6-9-37-44

Ефимов О.И., Гимранов Л.Р., *Фаттахова А.И., Чеканин М.С.
Казанский государственный архитектурно-строительный университет
*E-mail: Fattakhova.Alsou@yandex.ru

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ КОМБИНИРОВАННОГО ПЕРЕКРЫТИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОФИЛИРОВАННОГО НАСТИЛА ОТ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ НАГРУЗОК

Аннотация. Комбинированные сталежелезобетонные перекрытия с использованием профилированного настила – наиболее частое решение в зданиях со стальным каркасом. Гибкие упоры обеспечивают совместную работу каркаса и дисков перекрытия. Деформации комбинированного перекрытия, а, следовательно, и каркаса в горизонтальной плоскости, могут возникать из-за возможного появления неравномерных силовых воздействий, вызывающих сдвиг. При этом, в конечном счёте, на величину этих деформаций оказывает влияние как уровень силовых воздействий и сдвиговая жесткость диска перекрытия, так и податливость гибких упоров, соединяющих последний с несущим каркасом. В работе предлагается способ определения деформаций диска перекрытия и несущего каркаса от горизонтальной нагрузки.

Рассматривается задача, в которой квадратная в плане плита перекрытия опирается по контуру на ригели каркаса, но ее закрепление гибкими упорами предусмотрено по двум параллельным сторонам.

Предложена формула определения перемещений каркаса от горизонтальной нагрузки. Аналитически определено перемещение диска перекрытия, отмечено как податливость гибких упоров влияет на определение конечного результата. На примере численного эксперимента демонстрируется возможность применения предложенного способа.

Перемещения в дисках перекрытий позволят оценить жесткость каркаса от горизонтальных нагрузок без акцентирования внимания на деформации каждой составляющей сталежелезобетонной плиты. Кроме того, позволит рациональнее использовать материалы и ресурсы путем оптимизации конструктивных решений.

Ключевые слова: комбинированное перекрытие, перемещения, горизонтальные нагрузки, сдвигающие усилия, гибкие упоры, деформация сдвига, стальной болт.

Введение. Как и прежде, большее распространение имеют здания с металлическим каркасом. Основная масса зданий и сооружений имеет небольшую этажность, однако даже при расчетах каркасов таких зданий требуется учитывать неравномерные горизонтальные нагрузки, например, ветровая нагрузка, действующая на половину каркаса. С увеличением же этажности влияние горизонтальных нагрузок увеличивается. Так для многоэтажных гражданских зданий с применением металлического каркаса ветровая нагрузка возрастает настолько, что снеговой нагрузкой допустимо иногда пренебрегать [1]. Всё это говорит о важности изучения сдвиговой жесткости каркаса.

В отечественной нормативной документации нормируются перемещения несущего каркаса в основном от вертикальных нагрузок. Пожалуй, единственное ограничение горизонтальных перемещений относится к верхним узлам каркаса, что характеризует, в определенной мере, изгибную жесткость каркаса в целом.

За рубежом здания из металлокаркаса распространены куда больше, чем в России, однако, несмотря на это, вопросы перемещений от горизонтальных нагрузок затронуты поверхностно [2,

3]. Основная роль в восприятии неравномерных горизонтальных нагрузок на каркас отводится дискам перекрытий. Наиболее частое решение – сталежелезобетонная плита с использованием профилированного настила. Совместность работы плиты с ригелями каркаса обеспечивается гибкими упорами. Жесткости плиты перекрытия и ригелей каркаса весьма велики по сравнению с отпорностью гибких упоров, поэтому именно податливость последних и определяет перемещения всей конструкции при действии неравномерных горизонтальных нагрузок.

В СП 266.13258000-2016 «Конструкции сталежелезобетонные. Правила проектирования» расчеты гибких упоров от действия горизонтальных нагрузок не оговорены. Сечения упоров подбирают по усилиям от вертикальных нагрузок, а шаг постановки регламентируется обеспечением всестороннего обжатия бетоном и совместностью работы упора и плиты.

В зарубежной литературе имеется раздел расчетов гибких упоров комбинированных перекрытий с учетом действия горизонтальных нагрузок [4]. Как правило, это технические условия производителей, основанные на исследова-

ниях местных ученых [5–7]. Однако нормативные документы, применяемые за рубежом, отличаются от отечественных, поэтому отечественным производителям приходится доказывать допустимость применения тех или иных конструктивных решений.

В свете всего вышесказанного поставлена задача определения перемещений дисков перекрытий от горизонтальных нагрузок. Требовалось разработать инженерный способ, позволяющий оценить жесткость каркаса, не вдаваясь в подробности расчета деформативности каждого элемента, оперируя лишь прикладываемой нагрузкой.

Гибкие упоры – конструктивные элементы, обеспечивающие жесткость каркаса, работают на сдвиг и обладают некоторой податливостью, поэтому сдвиговые усилия в упорах позволяют оценить перемещения с учетом их податливости.

Рассмотрена плита квадратной формы в плане, закрепленная по двум параллельным ригелям к ячейке балочной клетки. В качестве гибких упоров приняты стальные болты – небольшие стержни круглого сечения диаметром от 6 до 25 мм со шляпкой на одном конце, так как это наиболее простое конструктивное решение, применяемое в комбинированных перекрытиях.

Материалы и методы. Решение задачи условно поделено на два этапа: определение усилий в стальных болтах от действующей сдвигающей нагрузки, определение перемещения рамки (ячейки несущего каркаса) относительно плиты перекрытия. При решении задачи было принято, что жесткости рамки и плиты бесконечно большие. Расчетная схема представлена на рис. 1а. Рамка размерами $a \times b$ закреплена по вертикали и горизонтали. Условно показаны стальные болты, расположенные по продольным балкам. От действия нагрузки F рамка сдвигается на Δ , а в стальных болтах появляются сдвигающие усилия Q_x и Q_y .

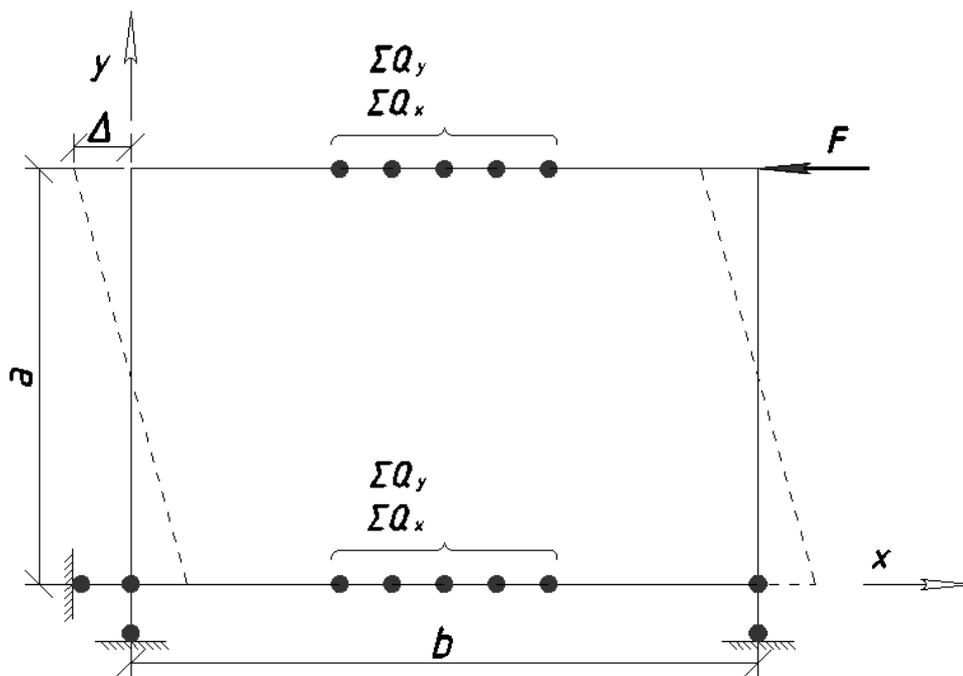


Рис. 1. Расчетная схема рамки

Опорные реакции и внутренние усилия в стержнях рамки определяются из условий равновесия, при этом принято, что в узлах рамки шарнира, а геометрическая неизменяемость обеспечена прикрепленной к рамке плитой.

На рис. 2 представлены эпюры внутренних усилий в стержне рамки, параллельному нагрузке.

Гибкие упоры по конструктивным требованиям установлены равномерно и симметрично вдоль ригеля, поэтому достаточно рассмотреть уравнения равновесия для половины ригеля.

Усилие в каждом гибком упоре – S_{xi} и S_{yi} . Вертикальные составляющие S_{yi} определяются из условия равновесия (1) и из условий совместности деформаций (2, 3).

$$\sum_{i=1}^{n_b} S_{yi} x_i = \frac{Fa}{2}. \quad (1)$$

$$\frac{S_{yi}}{S_{y1}} = \frac{x_i}{x_1}. \quad (2)$$

$$S_{yi} = \frac{\frac{Fa}{2} x_i}{\sum x_i^2}. \quad (3)$$

Горизонтальная составляющая S_{xi} , учитывая «недеформируемость» плиты перекрытия, определяется по выражению (4), где n_b – число упоров на ригеле.

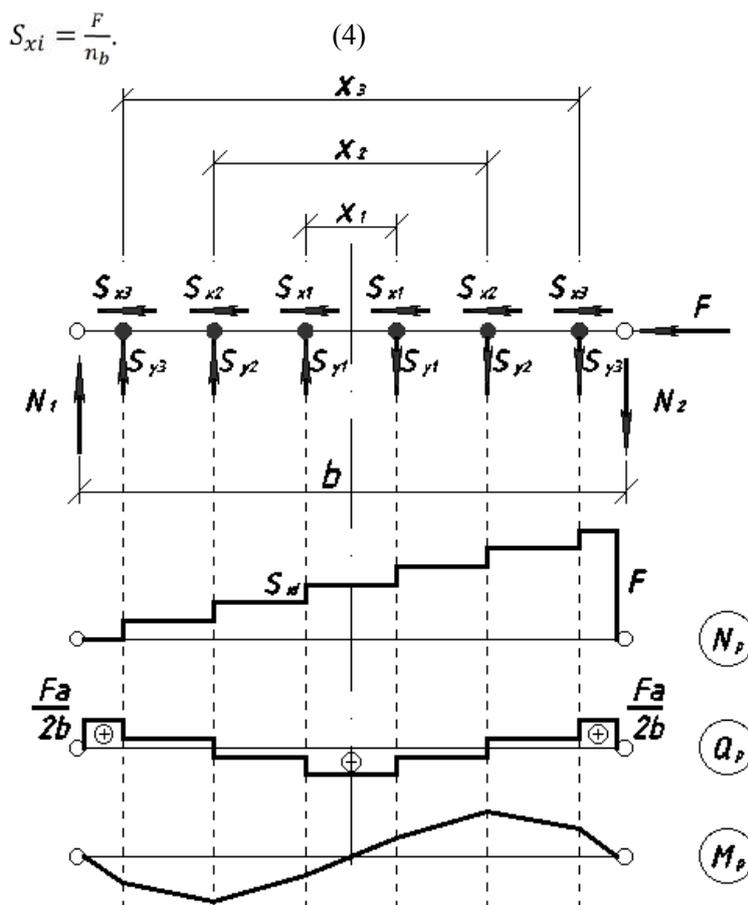


Рис. 2. Эпюры внутренних усилий в продольной балке рамки

Одной из конечных задач является получение инженерной формулы для определения деформации сдвига всей рамки (ячейки каркаса).

Деформация складывается из сдвига плиты перекрытия и податливости гибких упоров (5).

$$\Delta = \sum \int_0^{l_i} \frac{N_{pi} \bar{N}_i}{EA_i} dl_i + \sum \int_0^{l_i} \frac{M_{pi} \bar{M}_i}{EJ_i} dl_i + \sum \mu_i \int_0^{l_i} \frac{Q_{pi} \bar{Q}_i}{GA_i} dl_i + 2n_b \bar{S}_{ix} S_{ix} D_x + 2n_b \bar{S}_{iy} S_{iy} D_y, \quad (5)$$

где N_{pi} , M_{pi} , Q_{pi} – внутренние усилия в элементах рамки при действии сдвигающей нагрузки; \bar{N}_i , \bar{M}_i , \bar{Q}_i – внутренние усилия в элементах рамки и плиты при действии единичной нагрузки по направлению искомого перемещения; D_x , D_y – значения податливости, определяемые по зависимостям, установленным производителями гибких упоров для их определенного конструктивного решения; \bar{S}_{ix} , \bar{S}_{iy} – усилия сдвига, приходящиеся на гибкие упоры при приложении к рамке единичного сдвигающего усилия по направлению искомого перемещения. Жесткости рамки и плиты значительно больше жесткости гибких упоров. Пренебрегая этими деформациями, получаем выражение (6).

$$\Delta = \frac{2S_{ix} n_b a}{t_{red} b G_{red}} + 2n_b \bar{S}_{ix} S_{ix} D_x + 2 \sum_{i=1}^{n_b} \bar{S}_{iy} S_{iy} D_y, \quad (6)$$

где t_{red} – приведенная толщина плиты перекрытия; G_{red} – приведенный модуль сдвига плиты перекрытия.

Для косвенного подтверждения достоверности полученных формул произведен численный

эксперимент с использованием ПК «Лира-САПР», реализующий «метод конечных элементов». В последующем производится сравнение результатов расчёта с использованием формул (3, 4 и 6) и данных, полученных в ходе численного эксперимента.

Рассматривается квадратная в плане плита размерами 6×6 м, лежащая на рамке (на ригелях ячейки каркаса). Плита прикреплена к рамке «стад болтами», поставленными с шагом 10 см по двум сторонам, параллельным прикладываемой к рамке сдвигающей силе. Рамка из двутавров 60Б2, шарнирно соединённых в углах, что представляет собой геометрически изменяемую систему. Диаметр «стад болтов» 16 мм. Железобетонная плита с несъемной опалубкой из профилированного листа представляется в расчётной схеме пластинами с приведенной толщиной 12 см, что соответствует перекрытию из профилированного настила высотой 80 мм, железобетонная полка равна 70 мм. Класс прочности бетона В20.

Угол рамки загружен сдвигающей нагрузкой 50 кН.

На рис. 3 представлена расчетная схема рассматриваемой ячейки перекрытия в исходном и деформированном состояниях.

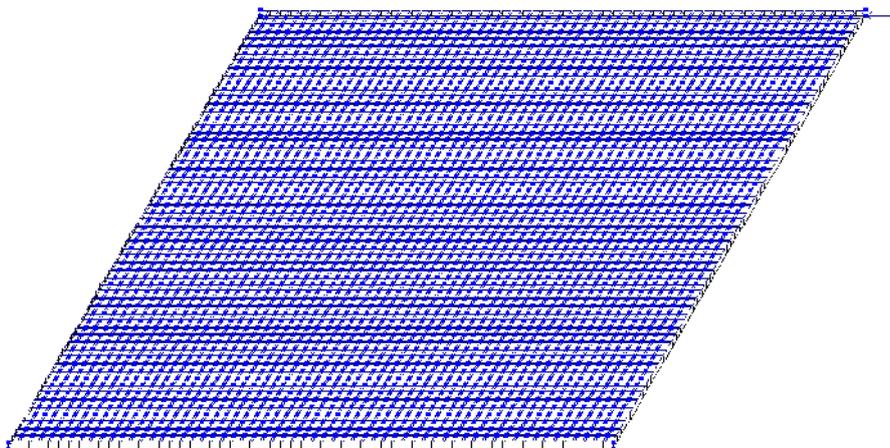


Рис. 3. Расчетная модель плиты в ПК Лира-САПР

Податливость гибких упоров D_x , D_y определяется по графикам, приведенным в руководствах для проектировщиков, например, в [11], или же определяются в результате испытаний. Для каждого конструктивного решения определяются свои значения податливости в продольном и поперечном направлениях. Согласно ГОСТ Р 54773-2011 или ГОСТ Р 58336-2018 проводятся испытания участка плиты, на котором расположено от одного до трех анкеров. Податливость определяется по графику сдвига балки по плоскостям контакта плиты и балки.

В исследовании [10] был проведен подобный эксперимент в программном комплексе Ansys, позволяющем моделировать реальную работу соединения. К участку плиты размерами 400×300 мм, опертому на полку двутавра 60Б2, поэтапно была приложена нагрузка в 50 кН (рис. 4). Податливость соединения в обоих направлениях определялась делением нагрузки на общие перемещения образца в рассматриваемом направлении.

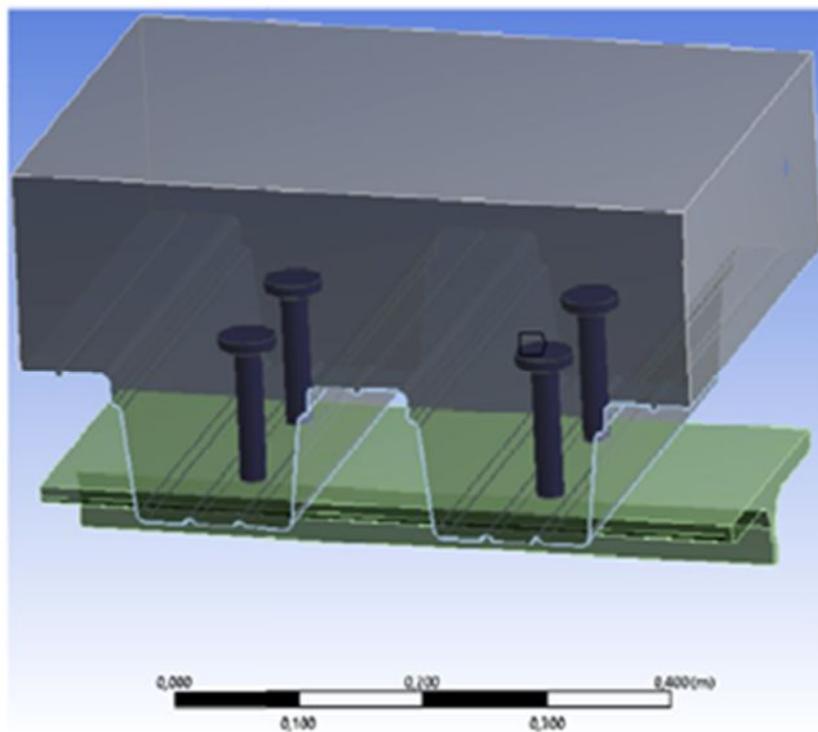


Рис. 4. Расчетная модель участка плиты для определения податливости

Результаты численного эксперимента были сопоставлены с графиками, приведенными в руководстве для проектировщиков [15], а также с результатами реальных испытаний, полученными другими исследователями [12–14].

Перемещения образца плиты размерами 6×6 м были определены по (6) и сопоставлены с результатами численного эксперимента в ПК Лири-САПР.

Результаты и дискуссия. В результате расчёта модели с использованием ПК «Лири-САПР» для всех упоров рассматриваемого ригеля получено горизонтальное сдвигающее усилие 0,874 кН, а вертикальные - распределены по линейному треугольному закону, при этом сдвигающее усилие на крайнем упоре 5,085 кН, на среднем около нуля. Сдвигающие усилия на упорах параллельного рассматриваемому ригеля такие же, что лишний раз подтверждает симметричность задачи.

Сдвигающие усилия в крайних гибких упорах, определённые по формулам (3) и (4), отличаются от полученных в результате численного эксперимента не более чем на 2 %. На значение усилий в анкерах, расположенных ближе к середине пролёта, больше влияют жесткостные характеристики компьютерной модели, поэтому разница между результатами вычислений инженерным способом и метода конечных элементов была больше.

Наибольшие усилия получены в угловых гибких упорах, их податливость и определяет перемещение всей плиты. Усилие в угловом стаде болте составило $S_{x1}=0,874$ кН, $S_{y1}=5,085$ кН, податливость равна $D_x=161160,8$ Н/мм, $D_y=230829,6$ Н/мм. По формуле (6) получено перемещение равное 3,51 мм.

Программный комплекс Лири-САПР позволяет определять перемещения, которые составили 4,316 мм. Результат численного эксперимента больше аналитического расчета из-за деформативности элементов конструкции, которые в свою очередь зависят от жесткостных характеристик.

В исследовании [12] был проведен натурный эксперимент по определению перемещений плиты размерами 6×6 м. Перемещения при сколе бетона вокруг анкеров при нагрузке 82,14 кН составили 4,6 мм, то есть при рассматриваемой в рамках данного исследования нагрузке перемещения составили бы около 3,5–4 мм.

Значения перемещений, определенных компьютерным моделированием, завышены из-за деформативности отдельных элементов конструкции, поэтому для получения более точного ре-

зультата необходимо отдельно уточнить жесткостные характеристики элементов или ввести поправочные коэффициенты.

В заключение следует отметить, что предложенный инженерный метод определения перемещений ячейки перекрытия от неравномерных горизонтальных сдвигающих воздействий достаточно точно отражает действительную работу конструкции и может быть рекомендован для практического использования.

Выводы.

1. Предложен простой инженерный способ определения усилия в гибких упорах при действии на ячейку каркаса неравномерного сдвигающего усилия. Достоверность предложенного способа подтверждена проведением численных экспериментов на аналогичной модели с использованием ПК «Лири-САПР».

2. Предложена инженерная формула по определению перемещений ячейки каркаса с опирающейся на нее плитой перекрытия и закрепленной по двум сторонам гибкими упорами, при этом гибкие упоры устанавливаются на два параллельных ригеля рамки. Достоверность предложенной инженерной формулы подтверждена проведением численных экспериментов на аналогичной модели с использованием ПК «Лири-САПР» и ПК «Ansys». Расхождения не превышают 18 %.

3. Установлено, что, с достаточной точностью, можно рассматривать деформацию рамки как результат сложения сдвиговой деформации самой плиты перекрытия и податливости гибких упоров.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Сюй П., Фу С., Ван Ц., Сяо Ц. Проектирование современных высотных зданий (пер. с китайского). М.: Изд-во ABC, 2008. 469 с.
2. Luttrell L., Mattingly J., Schultz W., Sposito T. Diaphragm Design Manual. Steel Deck Institute. 4th Ed. T. 2015. 405 p.
3. O'Brien P., Eatherton M.R., Easterling W.S. Characterizing the load-deformation behavior of steel deck diaphragms using past test data. Cold-formed steel research consortium report series CFSRC R-2017-02 June 2017. 243 p.
4. Роджер П. Джонсон Руководство для проектировщиков к Еврокоду 4: Проектирование сталежелезобетонных конструкций EN 1994-1-1 (перевод с английского). МГСУ. М.: 2013. 412 с.
5. Dennis L. D., Ehab E. Behavior of Headed Stud Shear Connectors in Composite Beam // Journal of Structural Engineering. 2005. Vol. 131(1). DOI: 10.1061/(ASCE)0733-9445(2005)131:1(96)
6. Wang H., Yu J., Liu J.P., Chen Y.F. Shear behavior of shear stud groups in precast concrete

decks // Engineering Structures. 2019. Vol. 187. Pp. 73–84. DOI: 10.1016/j.engstruct.2019.02.002

7. Shim H.B., Lee J.H. Shear force of headed shear studs, high-strength shear studs and steel plate embedded in concrete: An experimental study Material // Research Innovations. 2019. Vol. 8. Pp. 145–148. DOI: 10.1179/1432891715Z.0000000001645

8. Фаттахова А.И. Влияние горизонтальных нагрузок на работу стая-болтов в комбинированных плитах перекрытия // Вестник МГСУ. 2020. Т. 15. Вып. 1. С. 31–42. DOI: 10.22227/1997-0935.2020.1.31-42

9. Фаттахова А.И. Анализ распределения усилий в сдвиговых упорах комбинированных перекрытий многоэтажных зданий с различным соотношением сторон // Известия вузов. Строительство. 2020. № 1. С. 46–56. DOI 10.32683/0536-1052-2020-733-1-46-56

10. Gimranov L., Fattakhova A. Shear stops forces distribution analysis in combined floors of multi-storey buildings 2020 // IOP Conf. Ser.: Mater.

Sci. Eng. 890. 012080. DOI:10.1088/1757-899X/890/1/012080

11. Luttrell L., Schultz W., Li D. Diaphragm design manual, fifth edition, Steel desk institute, Glenshaw, 2017. 292 p.

12. Wang Q., Liu Y., Luo J., Lebet J.-P. Experimental study on stud shear connectors with large diameter and high strength // International Conference on Electric Technology and Civil Engineering (ICETCE), 2011. Pp. 340–343

13. Hicks S.J. Strength and ductility of headed stud connectors welded in modern profiled steel sheeting // Structural Engineer. 2007. Vol. 85(10). Pp. 32–38.

14. Molken T., Dobrić J., Rossi B. Shear resistance of headed shear studs welded on welded plates in composite floors // Engineering Structures. 2019. Vol. 197. DOI: 10.1016/j.engstruct.2019.109412

15. Luttrell L. Diaphragm Design Manual. Third Edition. Appendix VII. Hilti and simpson strong-tie screws. Glenshaw, 2013. 25p.

Информация об авторах

Ефимов Олег Иванович, кандидат технических наук, доцент кафедры металлических конструкций и испытания сооружений. E-mail: ef-oleg@mail.ru. Казанский государственный архитектурно-строительный университет. Россия, 420043, Казань, ул. Зеленая, д. 1.

Линур Рафаилович Гимранов, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой металлических конструкций и испытания сооружений. E-mail: leenur@mail.ru. Казанский государственный архитектурно-строительный университет. Россия, 420043, Казань, ул. Зеленая, д. 1.

Фаттахова Алсу Илсуровна, аспирант кафедры металлических конструкций и испытания сооружений. E-mail: fattakhova.alsoul@yandex.ru. Казанский государственный архитектурно-строительный университет. Россия, 420043, Казань, ул. Зеленая, д. 1.

Чеканин Максим Сергеевич, магистр кафедры металлических конструкций и испытания сооружений. E-mail: fattakhova.alsoul@yandex.ru. Казанский государственный архитектурно-строительный университет. Россия, 420043, Казань, ул. Зеленая, д. 1.

Поступила в 14.04.2021 г.

© Ефимов О.И., Гимранов Л.Р., Фаттахова А.И., Чеканин М.С., 2021

Efimov O.I., Gimranov L.R., *Fattakhova A.I. Chekanin M.S.

Kazan State University of Architecture and Engineering

**E-mail: fattakhova.alsou@yandex.ru*

DETERMINATION OF THE MOVEMENTS OF THE COMBINED FLOORING USING PROFILED FLOORING FROM HORIZONTAL LOADS

Abstract. Combined steel-reinforced concrete floors using profiled flooring are the most common solution in buildings with a steel frame. Flexible stops ensure the joint work of the frame and the flooring disks. Deformations of the combined flooring, and therefore of the frame in the horizontal plane, can occur due to the possible appearance of uneven force effects that cause a shift. At the same time, the magnitude of these deformations is influenced by both the level of force influences and the shear stiffness of the flooring disk, as well as the malleability of the flexible stops connecting the latter to the supporting frame. The paper proposes a method for determining the deformations of the flooring disk and the supporting frame from a horizontal load. The problem is considered in which a square floor slab is based on a contour on the crossbars of the frame,

but its fixing with flexible stops is provided on two parallel sides. A formula for determining the movements of the frame from the horizontal load is proposed. The displacement of the flooring disk is analytically determined, it is noted how the malleability of flexible stops affects the determination of the final result. Using the example of a numerical experiment, the possibility of using the proposed method is demonstrated. The movement in the flooring disks will allow to assess the rigidity of the frame from horizontal loads without focusing on the deformation of each component of the steel-reinforced concrete slab. In addition, it will help to use materials and resources more efficiently by optimizing design solutions.

Keywords: combined overlap, displacement, horizontal loads, shear forces, flexible stops, shear deformation, stud bolt.

REFERENCES

1. Xu P., Fu X., Wang C., Xiao T. Design of modern high-rise buildings (translated from Chinese) [Proyektirovaniye sovremennykh vysotnykh zdaniy (per. s kitayskogo)]. M.: ABC, 2008. 469 p. (rus)
2. Luttrell L., Mattingly J., Schultz W., Sputo T. Diaphragm Design Manual. Steel Deck Institute. 4th Ed. T. (2015). 405 p.
3. O'Brien P., Eatherton M.R., Easterling W.S. Characterizing the load-deformation behavior of steel deck diaphragms using past test data. Cold-formed steel research consortium report series CFSRC R-2017-02 June 2017. 243p.
4. Jonson R.P. Designer's guide to Eurocode 4: Design of composite steel and concrete structures EN 1994-1-1 (transl. from engl.) [Rukovodstvo dlya proyektirovshchikov k Yevrokodu 4: Proyektirovaniye stalezhelezobetonnykh konstruktsiy EN 1994-1-1 (perevod s angliyskogo)]. M.: MGSU, 2012; 412. (rus)
5. Dennis L. D., Ehab E. Behavior of Headed Stud Shear Connectors in Composite Beam. Journal of Structural Engineering. 2005. Vol. 131(1). DOI: 10.1061/(ASCE)0733-9445(2005)131:1(96)
6. Wang H., Yu J., Liu P.J., Chen Y.F. Shear behavior of shear stud groups in precast concrete decks. Engineering Structures. 2019 Vol. 187. Pp. 73–84 DOI: 10.1016/j.engstruct.2019.02.002
7. Shim H.B., Lee J.H. Shear force of headed shear studs, high-strength shear studs and steel plate embedded in concrete. An experimental study Material. Research Innovations. 2019. Vol. 8.p. 145-148. DOI: 10.1179/1432891715Z.0000000001645
8. Fattakhova A. I. Impact of horizontal loads on the work of stud bolts in combined floor slabs [Vliyaniye gorizonta'nykh nagruzok na rabotu stud-boltov v kombinirovannykh plitakh perekrytiya]. Vestnik MGSU [Monthly Journal on Construction and Architecture]. 2020. Vol. 15. Pp. 31–42. DOI: 10.22227/1997-0935.2020.1.31-42 (rus)
9. Fattakhova A.I. Multi-storey buildings combined floors with different aspect ratios shear stops forces distribution analysis [Analiz raspredeleniya usilii v sdvigovykh uporakh kombinirovannykh perekrytiy mnogoetazhnykh zdaniy s razlichnym sootnosheniyem storon]. Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo [Proceedings of universities. Building]. 2020. Vol. 1. DOI 10.32683/0536-1052-2020-733-1-46-56 (rus)
10. Gimranov L., Fattakhova A. Shear stops forces distribution analysis in combined floors of multi-storey buildings. IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 2020 DOI:10.1088/1757-899X/890/1/012080
11. Luttrell L., Schultz W., Li D. Diaphragm design manual, fifth edition, Steel desk institute, Glenshaw, 2017. 292p.
12. Wang Q., Liu Y., Luo J., Lebet J.-P. Experimental study on stud shear connectors with large diameter and high strength. International Conference on Electric Technology and Civil Engineering (ICETCE), 2011. Pp. 340–343.
13. Hicks S. J. Strength and ductility of headed stud connectors welded in modern profiled steel sheeting. Structural Engineer. 2007. Vol. 85(10). Pp. 32–38
14. Molkens T., Dobrić J., Rossi B. Shear resistance of headed shear studs welded on welded plates in composite floors. Engineering Structures. 2019. Vol. 197. DOI: 10.1016/j.engstruct.2019.109412
15. Luttrell L. Diaphragm Design Manual. Third Edition. Appendix VII. Hilti and simpson strong-tie screws. Glenshaw, 2013. 25 p.

Information about the authors

Efimov, Oleg I. PhD. E-mail: ef-oleg@mail.ru. Kazan State University of Architecture and Engineering. Russia, 420043, Kazan, st. Zelenaya, 1.

Gimranov, Linur R. PhD. E-mail: leenur@mail.ru. Kazan State University of Architecture and Engineering. Russia, 420043, Kazan, st. Zelenaya, 1.

Fattakhova, Alsou I. Postgraduate student. E-mail: fattakhova.alsou@yandex.ru. Kazan State University of Architecture and Engineering. Russia, 420043, Kazan, st. Zelenaya, 1.

Chekanin, Maxim S. Graduate student. E-mail: fattakhova.alsou@yandex.ru. Kazan State University of Architecture and Engineering. Russia, 420043, Kazan, st. Zelenaya, 1.

Received 14.04.2021

Для цитирования:

Ефимов О.И., Гимранов Л.Р., Фаттахова А.И., Чеканин М.С. Определение перемещений комбинированного перекрытия с использованием профилированного настила от горизонтальных нагрузок // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2021. № 9. С. 37–44. DOI: 10.34031/2071-7318-2021-6-9-37-44

For citation:

Efimov O.I., Gimranov L.R., Fattakhova A.I. Chekanin M.S. Determination of the movements of the combined flooring using profiled flooring from horizontal loads. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2021. No. 9. Pp. 37–44. DOI: 10.34031/2071-7318-2021-6-9-37-44

DOI: 10.34031/2071-7318-2021-6-9-45-55

***Бухезам Ф., Колесникова Т.Н.**

Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева

*E-mail: fahima.boh04@gmail.com

МОДЕЛИРОВАНИЕ АРХИТЕКТУРНЫХ РЕШЕНИЙ ПАТИО И ИХ ВЛИЯНИЕ НА ТЕПЛОВОЙ КОМФОРТ ГОРОДСКОГО ЖИЛЬЯ В ПОЛУСУХОМ КЛИМАТЕ АЛЖИРА

Аннотация. Статья направлена на обоснование роли патио и его влияния на тепловой комфорт в городском жилище, особенно в полусухих климатических зонах Алжира. В городах с полусухим климатом задача всегда состоит в том, чтобы избежать прямых солнечных лучей и стремиться к тени и прохладе в летний сезон. Действительно, патио является одним из биоклиматических архитектурных устройств, которое реагирует на поле внутренней тепловой среды и участвует в создании комфортной атмосферы. В рамках данного исследования мы попытались оценить влияние геометрии патио на тепловой комфорт внутри жилых помещений в условиях полусухого климата города Оум Эль Буаги. Исследование проводилось на основе метода математического моделирования, реализованного в программе ECOTECT, в рамках которого оценивалось влияние пропорционального коэффициента H/L (высота/ширина) на значение показателей PMV (прогнозируемая средняя оценка) и PPD (прогнозируемый процент недовольных температурной средой). Результаты этого исследования показывают, что патио играет важную роль в обеспечении теплового комфорта в городских жилищах. Патио значительно улучшает значение показателя PMV и уменьшает значение показателя PPD, увеличивая солнечные лучи зимой и обеспечивая пассивное охлаждение помещений летом. При этом, для обеспечения оптимального теплового комфорта значение пропорционального коэффициента H/L должно быть больше 2,5.

Ключевые слова: тепловой комфорт, городское жилье, полусухой климат, геометрия патио, ECOTECT, показатели PMV и PPD.

Введение. На протяжении многих лет человек стремился удовлетворить и обеспечить свое благополучие и комфорт, будь то тепловой, акустический или визуальный, чтобы создать подходящую среду обитания, отвечающую его потребностям. Человек всегда пытался адаптировать свою среду обитания к климату окружающей среды. Поэтому он разработал методы и системы в соответствии с местными условиями и материалами, чтобы спроектировать дом, который защищает его от негативных составляющих погодных условий (жара/холод).

Сегодня сектор жилищного строительства является одним из крупнейших потребителей энергии. Значительная часть этого потребления приходится на системы отопления и кондиционирования воздуха, которые обеспечивают комфортную температуру в помещении.

Решение заключается в адаптации жилищ средствами биоклиматической архитектуры [1], которая использует экологические подходы и пассивные процессы с низким энергопотреблением. Среди этих процессов применение патио является экологическим решением, которое обеспечивает определенный уровень комфорта при правильном дизайне.

Тепловой комфорт воспринимается как состояние удовлетворения человеческого восприятия по отношению к тепловой среде. Эта концеп-

ция требует энергетическую экономию в жилищном хозяйстве и обеспечивает проектирование архитектуры, уважающей окружающую среду и экологию [2]. Тепловой комфорт считается важным элементом качества окружающей среды, его собственной целью является устойчивое проектирование и энергоэффективность, с одной стороны, и улучшение качества жизни в жилищном хозяйстве – с другой.

Патио, как его назвал Изард [3], является одним из архитектурных устройств, которые реагируют на область тепловых атмосфер. Правильное понимание геометрического и физического влияния патио заключается в его положительном контроле тепловой среды помещений. Исходя из этого, в данном исследовании стоит задача ответить на следующий вопрос, который отражает проблематику данной статьи: *какое влияние оказывает патио на тепловой комфорт городского жилья в полусухом климате Алжира?*

Для решения этой проблемы, связанной с климатической дезадаптацией городского жилья, было использовано математическое моделирование с помощью программного обеспечения Ecotect для оценки влияния патио на тепловой комфорт.

Степень научной разработанности темы. Выбранное направление статьи является малоизученным в архитектурной науке.

Проблемы, связанные с взаимосвязью между городской средой обитания, климатом и тепловым комфортом, являются предметом научных статей и публикаций многих авторов. Среди них работы Пуэртолас Р.Ф., Итурра Э., Деваль Ж.-К., Жанно Й., Джаико Т., Селестин К., Грундстрем К., Йоханссон Э., Лебада Ф., Будраа Р., Телье Ф., Нехила С., Кемажу А., Тсеуеп А.

Вопросам тепловой эффективности патио уделено внимание в исследованиях Бенчериф Мериама, Салах Чауш, Укфиф Т., Алкала Б.Ж., Зохра Сааид Ф., Феззиуи Н., Беньямин М., Тадж Н., Драуи Б., Ларби С.

Показатели оценки теплового комфорта рассматриваются в работах авторов, таких как Хомод Р.З., Сахари К., Сатиш Б.К., Ханьцин В., Чуньхуа Х., Жицян Л., Гуанфа Т., Инъюнь Л., Чжиюн В., Хабиби С., Пуршагхи А., Омидвари М., Баббах С., Драуи А., Менезо К.Х., Йезу Р., Абделуахаб Ж., Экичи К., Альфано Ф.Р.Д.А., Ианниелло Э., Палелла Б.И., Карманн К., Скьявон С., Бауман Ф., Яо Ж., Эльнаклах Р., Цао С., Минг П., Чжао Х.

В Алжире вопросы проектирования биоклиматической архитектуры в полусухих районах рассматривали Ремини Б., Эме С., Араб Х., Хадди М.Л., Мехеннауи С., Морсли Б. Мазур М., Медеджель Н., Хамуди А., Руз Э., Ахмед Али-Аит Кади С., Бугагане М., Чирин А., Торкия А., Иссоло Р., Тахар А., Дербаль Н., Хаддам М., Ислам Т.

Программное обеспечение для математического моделирования с целью оценки теплового комфорта (ECOTECT) – в работах Ананд П., Деб К., Алур Р., Ву К., Жо Х.К., Чжан С., Фенг Б., Садафи Н., Саллех Е.

Нормативно-правовая база исследования: опирается на ASHARE 55 и ISO 7730.

Однако специальные исследования, посвященные архитектурным решениям патио и их влиянию на тепловой комфорт городского жилья в условиях полусухого климата Алжира, практически отсутствуют, что делает исследование данной статьи актуальным.

Цель. Основная цель настоящей статьи заключается в оценке влияния патио на тепловой комфорт городского жилья, расположенного в полусухой климатической зоне, например, в городе Ум-эль-Буаги в Алжире, с использованием метода математического моделирования. Для достижения данной цели ставились следующие задачи:

- выявить величину теплового комфорта городского жилища без патио в полусухом климате;
- выявить влияние патио на режим теплового комфорта в условиях полусухого климата;

- определить оптимальную конфигурацию патио в зависимости от пропорционального коэффициента Н/Л в условиях полусухого климата.

Материалы и методы.

Методологический подход. Количественное исследование тепловых характеристик для городских жилищ в полусухом климате. Для этого был рассмотрен реальный жилой дом без патио, расположенный в полусухой зоне Алжира, после чего предложено интегрировать в жилище 2 типа патио и проанализировать влияние патио на тепловые характеристики этого жилища и виртуальных случаев предлагаемых моделей. Это количественное исследование основано на математическом моделировании с использованием программного обеспечения Ecotect для жаркого и холодного сезонов.

Математическое моделирование с использованием программного обеспечения ECOTECT позволит рассчитать показатели PMV и PPD для проведения оценки теплового качества реального городского жилища без патио и после интеграции патио. После этого будет проведен сравнительный анализ тепловых характеристик городского жилища без патио и после интеграции патио.

Синтез полученных результатов определит оптимальную благоприятную геометрию патио, отражающую пропорциональный коэффициент Н/Л [4] для полусухого климата Алжира.

Математическое моделирование. Математическое моделирование остается одним из самых передовых инструментов оценки тепловой комфортности. Использование имитационного программного обеспечения может осуществляться на всех стадиях проектирования и эксплуатации зданий; это позволяет нам наблюдать и оценивать существующую ситуацию и находить климатические и архитектурные решения.

Используя математическое моделирование, архитектор может определить мощность систем, которые будут установлены (отопление и кондиционирование воздуха), он должен иметь возможность проверить, не рискует ли его проект вызвать дискомфорт в определенное время года.

В последние годы математическое моделирование стало новаторским инструментом количественной оценки комфортности параллельно с экспериментами, основанными на натурных измерениях. Несколько исследователей использовали программное обеспечение ECOTECT для моделирования показателей PMV и PPD для оценки теплового комфорта в архитектурных пространствах [5–8]. Процесс осуществления данной исследовательской работы показан на рисунке 1.



Рис. 1. Процесс исследовательской работы

В качестве первого шага, моделирование проводилось в формате 2D с использованием программного обеспечения AUTOCAD.

Второй шаг заключается в экспорте моделей в формате (.dxf), чтобы они были совместимы с программным обеспечением ECOTEST. На этом этапе 3D-модели определяются и подразделяются на тепловые зоны.

Третий шаг касается импорта климатического файла и обмена метеорологическими данными города Умм-эль-Буаги с использованием программного обеспечения ECOTEST, зная, что климатические данные были экспортированы из программного обеспечения Meteororm.

Четвертый шаг заключается в проверке тепловых характеристик модели (реальное городское жилище без патио). И для того, чтобы проверить влияние патио на внутренний тепловой комфорт городского жилища, математическое моделирование должно быть проведено после интеграции патио в городское жилище, которое уже было изучено.

- Случай 1: интеграция патио с пропорциональным коэффициентом: $N/L < 2,5$.
- Случай 2: интеграция патио с пропорциональным коэффициентом: $N/L > 2,5$.

Тепловое моделирование моделей осуществляется путем анализа и оценки показателей:

- PMV (прогнозируемая средняя оценка).
- PPD (прогнозируемый процент недовольных температурной средой).

Для получения точного уровня теплового комфорта в помещении моделей, тепловое моделирование моделей выполнено:

- 21 июня (самый жаркий день в летний период).
- 21 декабря (самый холодный день в зимний период).

Пятый шаг заключается в переносе результатов, представленных в программе ECOTEST, в программу Excel в виде графических колонок и проведении сравнительного анализа.

Показатели теплового комфорта: PMV/PPD. Оценка теплового комфорта в помещениях является одним из ключевых параметров любого архитектурного проекта [9]. Наиболее распространенным способом оценки теплового комфорта в помещениях является использование уравнений комфорта, установленных Фангером (Fanger) [10]. Фангер разработал показатели теплового комфорта: PMV и PPD [11]. Первый прогнозирует средние тепловые ощущения большой группы людей, а второй – процент жильцов, неудовлетворенных тепловой средой [12].

PMV: показатель основан на усредненных мнениях по оценке комфортности с учетом энергетического метаболизма, теплового сопротивления, температуры воздуха, средней радиационной температуры, скорости воздуха [13]. Значения PMV варьируются от -3 до 3 (табл. 1) [14, 15].

Таблица 1

Соответствие между PMV и шкалой тепловых ощущений человека

Значения показателя PMV	3	2	1	0	-1	-2	-3
Человеческие ощущения	Жарко	Тепло	Немного тепло	Нейтрально	Немного прохладно	Прохладно	Холодно

Определение PMV равен 0, позволяет получить формулу для прогнозирования сочетания параметров активности, одежды и окружающей среды, которые, как правило, предоставляет нейтральную температурную чувствительность [16].

PPD: Из-за физиологических различий невозможно удовлетворить каждого, удовлетворяя «идеальным» условиям, и PPD выражает в процентах «недовольных» субъектов данной тепловой среды [17].

В оптимальной ситуации ($PMV = 0$, ни жарко, ни холодно) уровень неудовлетворенности составляет 5 % среди людей, испытывающих одинаковые тепловые, метаболические и одежные условия [16, 18].

Уровень неудовлетворенности возрастает одинаково, если PMV отклоняется от 0 в сторону холода и в сторону тепла.

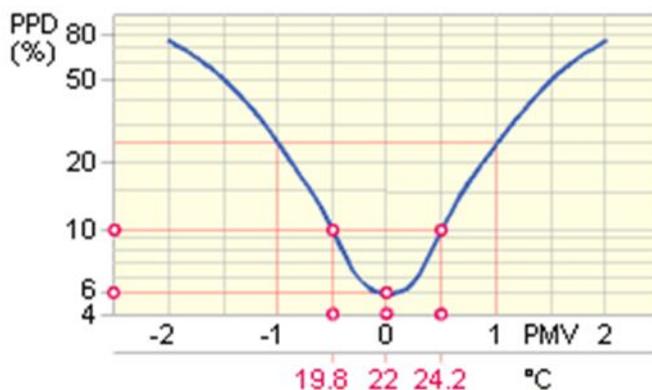


Рис. 2. PPD, основанный на PMV. [Из ASHRAE 55. 2013. С. 23]

Стандарт ISO 7730 предусматривает, что для нахождения в зоне теплового комфорта необходимо, чтобы: $-0,5 < PMV < 0,5$ либо $PPD < 10 \%$ [19–21].

Климатические характеристики города Ум-эль-Буаги. Контекст данного исследования ограничен регионами с полусухим климатом, в качестве примера можно привести город Ум-Эль-Буаги (35° N, 7° E). Город Ум-Эль-Буаги характеризуется полусухим климатом. По данным

таблицы 2 и 3, а также диаграммы температуры и осадков (рис. 3 и 4) видно, что это климат с двумя периодами (холодная зима) и (жаркое и сухое лето). В этом городе выражено интенсивное солнечное излучение с очень высокими температурами летом (максимум 34,49 °C) в августе. Средняя относительная влажность, большое количество осадков зимой и редкие осадки летом.

Таблица 2

Метеорологические данные (температуры) города Ум-эль-Буаги

	Янв	Фев	Мар	Апр	Май	Июн	Июл	Авг	Сен	Окт	Ноя	Дек
Максимальные месячные температуры	11.64	12.11	16.12	19.73	24.69	30.41	30.41	34.49	28.38	24.16	16.91	12.31
Минимальные месячные температуры	1.18	1.25	4.08	7.1	10.33	15.05	18.01	18.06	14.47	11.01	5.43	2.24
Среднемесячные температуры	6.8	6.68	10.21	13.70	17.67	21.83	26.4	26.31	21.58	17.58	11.15	7.64

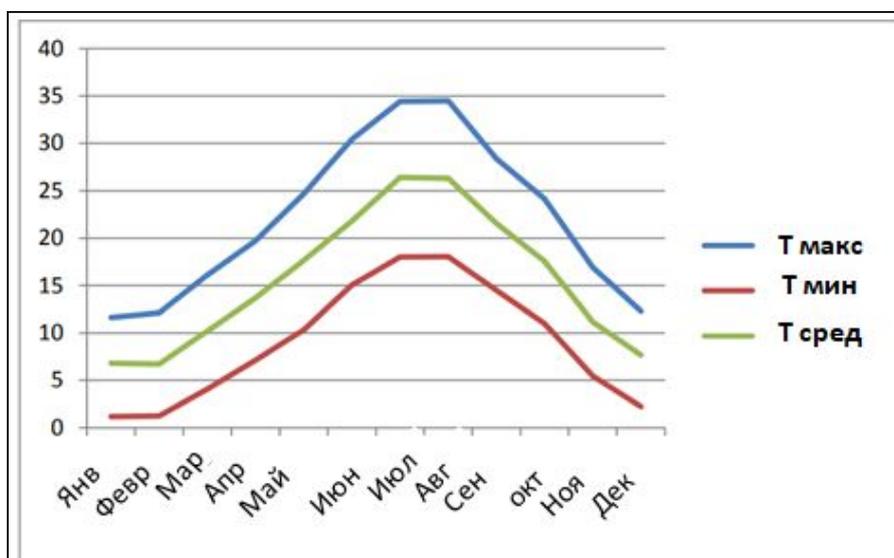


Рис. 3. Диаграмма изменения температуры по месяцам

Таблица 3

Метеорологические данные (осадки) города Ум-эль-Буаги

	Янв	Фев	Мар	Апр	Май	Июн	Июл	Авг	Сен	Окт	Ноя	Дек
Количество осадков (мм)	30.89	31.77	33.75	37.29	51.66	22.42	9.34	17.57	41.44	27.45	33.82	44.67

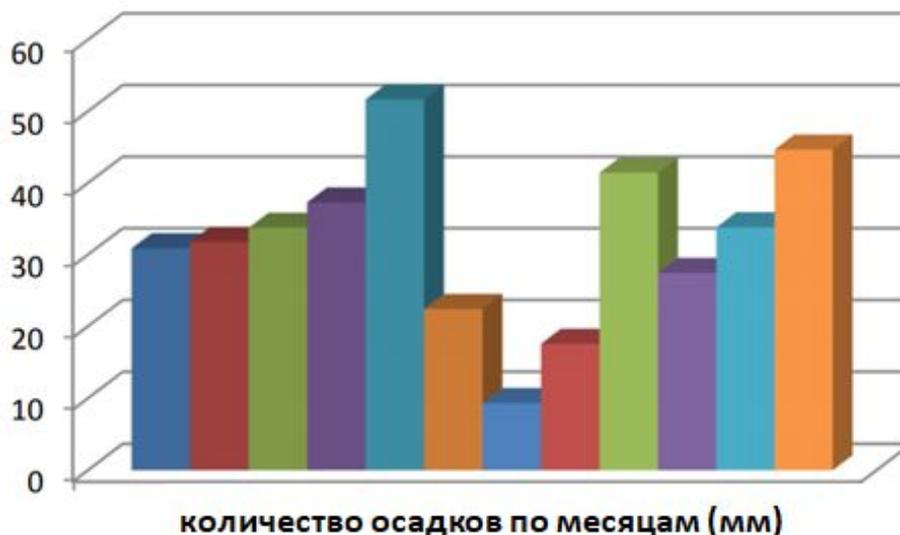


Рис. 4. Диаграмма количества осадков по месяцам

Презентация изучаемого городского жилища. Исследование проводилось в городском жилище, расположенном на северо-западе города Оум Эль Буаги. Район под названием Сите Эль

Мустакбель. Географическое положение исследуемого городского жилища представлено на рис 5, 6.



Рис. 5, 6. Географическое положение исследуемого городского жилья. [изображения по «Google Earth»]

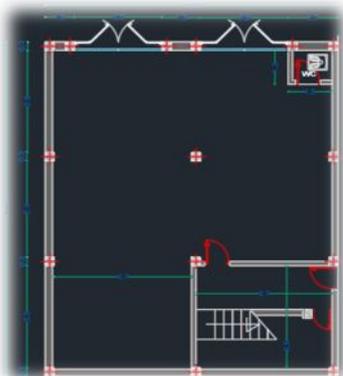


Рис. 7. План первого этажа



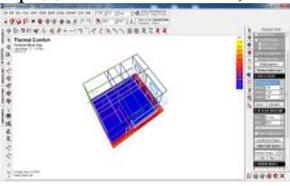
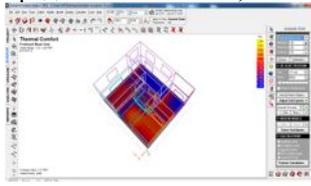
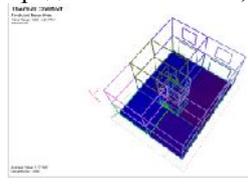
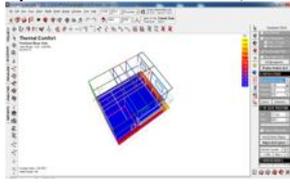
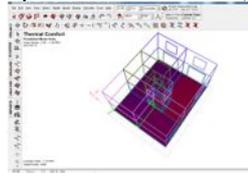
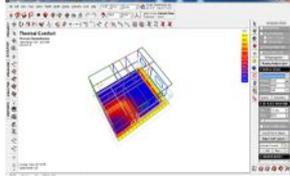
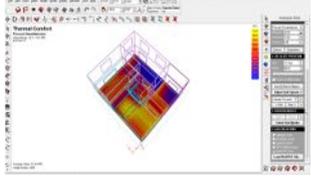
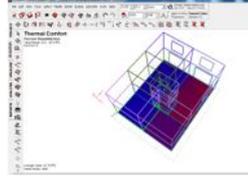
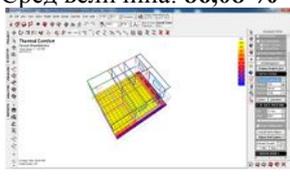
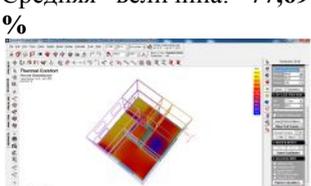
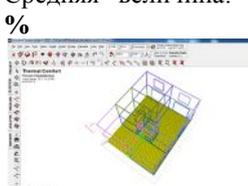
Рис. 8. План второго этажа

Исследуемое городское жилище имеет площадь 118 м², состоит из двух этажей. На первом этаже отделан небольшой гараж и лестничная клетка. Второй этаж жилой – гостиная, кухня, санузел и две жилые комнаты. Планировочные решения жилого дома представлены на рис. 7 и 8.

Результаты и обсуждение. Результаты математического моделирования ДО и ПОСЛЕ интеграции патио в структуру жилого дома приведены в таблице 4.

Таблица 4

Результаты математического моделирования ДО и ПОСЛЕ интеграции патио

		Исследовано городского жилья без патио	<u>Вариант1:</u> после интеграции патио с пропорциональным коэффициентом: $N/L < 2,5$	<u>Вариант2:</u> после интеграции патио с пропорциональным коэффициентом: $N/L > 2,5$
PMV	Жаркий период	Интервал результата: (Мин 1,50; Макс 11,50) Средняя величина: 2,58 	Интервал результата: (Мин 1,2; Макс 2,2) Средняя величина: 1,51 	Интервал результата: (Мин 1,2; Макс 3,2) Средняя величина: 1,37 
	Холодный период	Интервал результата: (Мин -3; Макс 2) Средняя величина: -2,64 	Интервал результата: (Мин -5; Макс 0) Средняя величина: -2,06 	Интервал результата: (Мин -2; Макс -1) Средняя величина: -1,72 
PPD	Жаркий период	Интервал результата: (Мин 54; Макс 94) Средняя величина: 69,19 % 	Интервал результата: (Мин 32; Макс 72) Средняя величина: 51,54 % 	Интервал результата: (Мин 35; Макс 95) Средняя величина: 45,78 % 
	Холодный период	Интервал результата: (Мин 5; Макс 105) Средняя величина: 86,08 % 	Интервал результата: (Мин 54; Макс 94) Средняя величина: 77,69 % 	Интервал результата: (Мин 35; Макс 55) Средняя величина: 62,63 % 

Сопоставление результатов. Используя Microsoft office Excel, результаты моделирования представлены на рисунках (рис. 9–12).

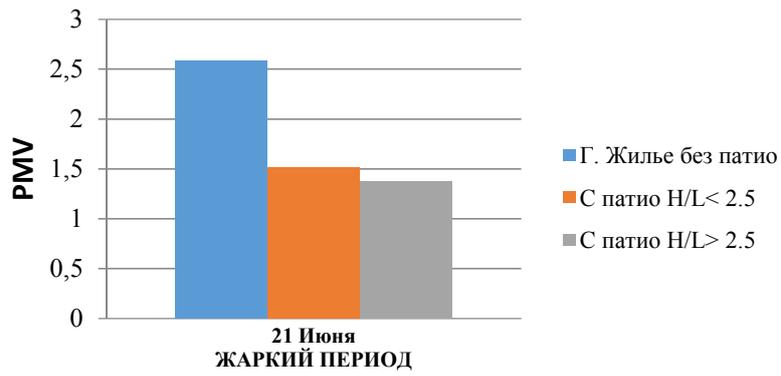


Рис. 9. График сравнения значения PMV в жарком периоде

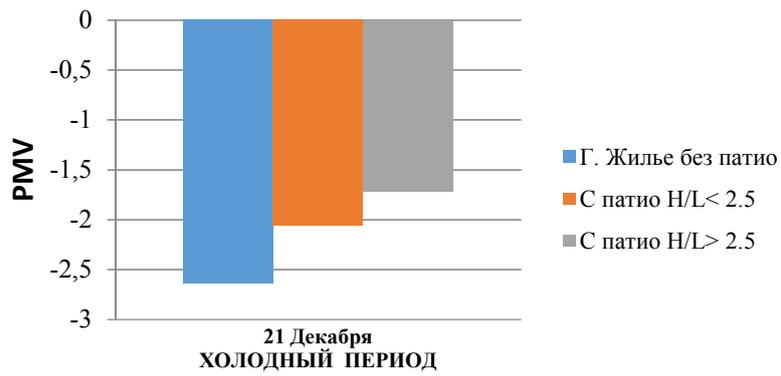


Рис. 10. График сравнения значения PMV в холодном периоде

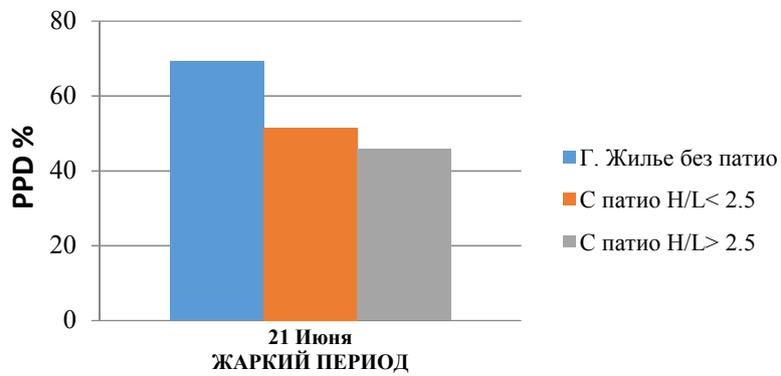


Рис. 11. График, сравнивающий процент PPD в жарком периоде

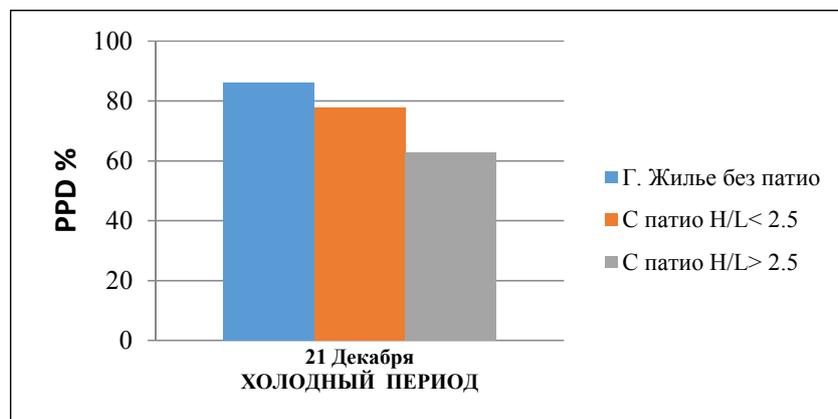


Рис. 12. График, сравнивающий процент PPD в холодном периоде

Данные, характеризующие тепловой вклад модели патио с пропорциональным коэффициентом $N/L < 2,5$, полученные в результате данного исследования, обобщены в таблице 5.

Данные, характеризующие тепловой вклад модели патио с пропорциональным коэффициентом $N/L > 2,5$, полученные в результате данного исследования, обобщены в таблице 6.

Таблица 5

Тепловой вклад модели патио $N/L < 2,5$

	<u>Тепловой вклад</u>	<u>Тепловое ощущение</u>
Жаркий период	Уменьшение величины PPD с 69,19 % до 51,54 % внутри жилища в среднем на 17,65 %, что отражает теплую атмосферу	Снижение значения PMV с 2,58 до 1,51, что свидетельствует о преобразовании интервала ощущения жарка в интервале ощущения тепла
Холодный период	Уменьшение среднего значения PPD внутри жилища с 86,06 % до 77,69 %, которое равно 8,37 %, что отражает прохладную атмосферу	Увеличение значения PMV с -2,64 до -2,06, что свидетельствует о преобразовании интервала ощущения холодна в интервале ощущения прохладна

Таблица 6

Тепловой вклад модели патио $N/L > 2,5$

	<u>Тепловой вклад</u>	<u>Тепловое ощущение</u>
Жаркий период	Уменьшение величины PPD с 69,19 % до 45,78 % внутри жилища в среднем на 23,41 %, что отражает немного теплую атмосферу	Снижение значения PMV с 2,58 до 1,37, что свидетельствует о преобразовании интервала ощущения жарка в интервале ощущения немного тепла
Холодный период	Уменьшение среднего значения PPD внутри жилища с 86,06 % до 62,63 %, которое равно 23,43 %, что отражает прохладную атмосферу	Увеличение значения PMV с -2,64 до -1,72, что свидетельствует о преобразовании интервала ощущения холодна в интервале ощущения прохладна

Выводы. Тема данной статьи «Моделирование архитектурных решений патио и их влияние на тепловой комфорт городского жилья в полусухом климате Алжира» была посвящена экспериментальному исследованию влияния патио на повышение уровня комфортности проживания в жилье в полусухих климатических районах Алжира, таких как город Ум-эль-Буаги, связанных с климатическими проблемами.

Результаты этой работы являются позитивными в плане прояснения параметров положительного воздействия патио в полусухих районах. Благодаря моделированию с использованием программного обеспечения «ECOTECT» было показано, что патио является термическим регулятором, используемым для защиты конструкции и повышения ее тепловых и энергетических характеристик в условиях зимнего и летнего периода и в соответствии со специфическими ограничениями данного типа климата.

На основе результатов, полученных в ходе моделирования исследуемого случая и виртуальных случаев предлагаемых моделей, можно подтвер-

ждено значительное воздействие патио на тепловой комфорт в помещениях, а также на значения PMV и PPD в полусухом климате. Таким образом, чтобы быть точным, патио, который характеризуется пропорциональным коэффициентом $N/L > 2,5$, наиболее эффективен. При этом, для достижения оптимального уровня комфорта могут использоваться и другие стратегии, такие как атриум, вода и растительность.

В ходе этой работы мы попытались максимально обосновать концепцию патио на основе анализа его влияния на тепловой комфорт внутри городских жилищ, путем оценки показателей тепловой комфортности (PMV, PPD), в сочетании с выбором оптимальной геометрической формы патио в соответствии с коэффициентом N/L пропорционального проектирования, без специализации изучения каждого параметра, оставляя возможность для продолжения исследований оптимизации в этой области.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Puertolas R.F. et al. A bioclimatic building in Madrid: Analysis of the thermal response and

long-term comfort indices review // *Developments in the Built Environment*. 2020. Vol. 3. 100015.

2. Iturra E.E.M. Impact de la configuration des bâtiments scolaires sur leur performance lumineuse, thermique et énergétique. Doctoral dissertation. Université Laval. Canada. 2011. 164 p.

3. Bencherif M., Chaouche S. La maison urbaine à patio, réponse architecturale aux contraintes climatiques du milieu aride chaud // *Science et changements planétaires/Sécheresse*. 2013. Vol. 24. Iss. 3. Pp. 203–213.

4. Benlatreche T. Effets thermo-radiatifs et caractérisation microclimatique des cours intérieures dans les édifices publics. Magister dissertation. Université Mentouri. Constantine. 2006. 103–104 p. URL : <http://193.194.84.142/theses/architecture/BEN4480.pdf>.

5. Anand P., Deb C., Alur R. A simplified tool for building layout design based on thermal comfort simulations // *Frontiers of Architectural Research*. 2017. Vol.6. Iss. 2. Pp. 218–230.

6. Wu Q., Jo H.K. A study on Ecotect application of local climate at a residential area in Chuncheon, Korea // *Journal of Environmental Engineering and Landscape Management*. 2015. Vol. 3. Iss. 2. Pp. 94–101.

7. Zhang S., Feng B. Analysis of thermal environment of Existing Residential Building Envelope Energy-saving in ECOTECT simulation // In 3rd International Conference on «Materials Engineering, Manufacturing Technology and Control». Atlantis Press, (2016, April). 2016. Pp. 442–446.

8. Sadafi N., Salleh E., Haw L.C., Jaafar M.F.Z. Potential design parameters for enhancing thermal comfort in tropical Terrace House: A case study in Kuala Lumpur // *ALAM CIPTA Journal*. 2012. Vol. 3. Iss. 1.

9. Homod R.Z. et al RLF and TS fuzzy model identification of indoor thermal comfort based on PMV/PPD // *Building and Environment*. 2012. Vol. 49. Pp. 141–153.

10. Satish B.K. Beyond Energy-efficient Built Environment—Examining the Relationship between the Users' Cultural Values and Energy Consumption // *IOP Conference Series «Earth and Environmental*

Science». IOP Publishing, (2019, September). 2019. Vol. 329. №1. 012024.

11. Hanqing W., Chunhua H., Zhiqiang L., Guangfa T., Yingyun L., Zhiyong W. Dynamic evaluation of thermal comfort environment of air-conditioned buildings // *Building and environment*. 2006. Vol. 41. Iss. 11. Pp. 1522–1529.

12. Habibi S. The promise of BIM for improving building performance // *Energy and Buildings*. 2017. Vol. 153. Pp. 525–548.

13. Pourshaghagh A., Omidvari M. Examination of thermal comfort in a hospital using PMV–PPD model // *Applied ergonomics*. 2012. Vol.43. Iss. 6. Pp. 1089–1095.

14. Babbah S., Draoui A., Menezo C.H., Yezou R., Abdelouahab J.B. Evaluation Energétique des Bâtiments au Nord du Maroc // «12èmes Journées Internationales de Thermique». 2005. P. 235–238.

15. Ekici C. Measurement uncertainty budget of the PMV thermal comfort equation // *International Journal of Thermophysics*. 2016. Vol. 37. Iss. 6. Pp. 48.

16. ГОСТ Р ISO 7730-2009. Эргономика термальной среды. М.: Стандартинформ. 2009.

17. Alfano F.R.D.A., Ianniello E., Palella B. I. PMV–PPD and acceptability in naturally ventilated schools // *Building and Environment*. 2013. Vol. 67. Pp. 129–137.

18. Karmann C., Schiavon S., Bauman F. Thermal comfort in buildings using radiant vs. all-air systems: A critical literature review // *Building and Environment*. 2017. Vol. 111. Pp. 123–131.

19. Yao J. Teaching indoor thermal comfort using computer technologies with inexpensive instruments // *Proceeding of World Transactions on Engineering and Technology Education*. 2013. Vol. 11. Iss. 3. Pp. 293–296.

20. Elnaklah R. et al. Thermal comfort standards in the Middle East: Current and future challenges // *Building and Environment*. 2021. Vol. 200. Pp. 107899.

21. Cao S., Ming P., Zhao X. Fuzzy comprehensive evaluation of human thermal comfort in simulating natural wind environment // *Building and Environment*. 2021. Vol. 188. Pp. 107447.

Информация об авторах

Бухезам Фахима, аспирант кафедры архитектуры. E-mail: fahima.boh04@gmail.com. Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева. Россия, 302026, г. Орел, ул. Комсомольская, д. 95.

Колесникова Татьяна Николаевна, доктор архитектуры, доцент, заведующий кафедрой архитектуры. E-mail: kolesnikovoj@uandex.ru. Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева. Россия, 302026, г. Орел, ул. Комсомольская, д. 95.

Поступила 30.06.2021 г.

© Бухезам Ф., Колесникова Т.Н., 2021

***Bouhezam F., Kolesnikova T.N.**
 Oryol State University named after I.S. Turgenev
 *E-mail: fahima.boh04@gmail.com

MODELING OF PATIO ARCHITECTURAL SOLUTIONS AND THEIR EFFECT ON THE THERMAL COMFORT OF URBAN HOUSING IN THE SEMI-ARID CLIMATE OF ALGERIA

Abstract. The article aims to substantiate the role of the patio and its effect on thermal comfort in urban housing, especially in the semi-arid climatic zones of Algeria. In semi-dry cities, the aim is always to avoid direct sunlight and to seek shade and freshness in the summer season. Indeed, the patio is one of the bioclimatic architectural devices that responds to the field of indoor thermal environments and contributes to the creation of comfortable atmosphere. In this study, authors tried to assess the impact of patio geometry on thermal comfort inside housing in the semi-arid climate of Oum El Bouaghi. The study is based on the method of mathematical modeling implemented in the program ECOTECT. It evaluates the impact of the proportional coefficient H/L (height/width) on the value of PMV (Predicted Mean Vote), and PPD (Predicted Percentage of Dissatisfied). The results of this study show that the patio plays an important role in thermal comfort in urban housing. The patio significantly improves the PMV value and reduces the PPD value, increasing sunlight in winter and providing passive space cooling in summer. However, for optimal thermal comfort, the proportional H/L value must be greater than 2.5.

Keywords: Thermal comfort, urban housing, semi-arid climate, geometry of patio, ECOTECT, PMV and PPD.

REFERENCES

- Puertolas R.F. et al. A bioclimatic building in Madrid: Analysis of the thermal response and long-term comfort indices review. *Developments in the Built Environment*. 2020. Vol.3. 100015.
- Iturra E.E.M. Impact de la configuration des bâtiments scolaires sur leur performance lumineuse, thermique et énergétique. Doctoral dissertation. Laval University. Canada. 2011. 164 p.
- Bencherif M., Chaouche S. La maison urbaine à patio, réponse architecturale aux contraintes climatiques du milieu aride chaud. *Science and Global Change/Drought*. 2013. Vol. 24. Iss. 3. Pp. 203–213.
- Benlatreche T. Effets thermo-radiatifs et caractérisation microclimatique des cours intérieures dans les édifices publics. Magister dissertation. University Mentouri. Constantine. 2006. 103–104 p. URL : <http://193.194.84.142/theses/architecture/BEN4480.pdf>.
- Anand P., Deb C., Alur R. A simplified tool for building layout design based on thermal comfort simulations. *Frontiers of Architectural Research*. 2017. Vol.6. Iss. 2. Pp. 218–230.
- Wu Q., Jo H. K. A study on Ecotect application of local climate at a residential area in Chuncheon, Korea. *Journal of Environmental Engineering and Landscape Management*. 2015. Vol.23. Iss. 2. Pp. 94–101.
- Zhang S., Feng B. Analysis of thermal environment of Existing Residential Building Envelope Energy-saving in ECOTECT simulation. In 3rd International Conference on "Materials Engineering, Manufacturing Technology and Control" . Atlantis Press, (2016, April). 2016. Pp. 442–446.
- Sadafi N., Salleh E., Haw L.C., Jaafar, M. F.Z. Potential design parameters for enhancing thermal comfort in tropical Terrace House: A case study in Kuala Lumpur. *ALAM CIPTA Journal*. 2012. Vol. 3. Iss. 1.
- Homod R.Z. et al. RLF and TS fuzzy model identification of indoor thermal comfort based on PMV/PPD. *Building and Environment*. 2012. Vol. 49. Pp. 141–153.
- Satish, B. K. Beyond Energy-efficient Built Environment—Examining the Relationship between the Users' Cultural Values and Energy Consumption. *IOP Conference Series"Earth and Environmental Science"*. IOP Publishing, (2019, September). 2019. Vol. 329. No. 1. 012024.
- Hanqing W., Chunhua H., Zhiqiang L., Guangfa T., Yingyun L., Zhiyong W. Dynamic evaluation of thermal comfort environment of air-conditioned buildings. *Building and environment*. 2006. Vol. 41. Iss 11. Pp. 1522–1529.
- Habibi S. The promise of BIM for improving building performance. *Energy and Buildings*. 2017. Vol. 153. Pp. 525–548.
- Pourshaghagh A., Omidvari M. Examination of thermal comfort in a hospital using PMV–PPD model. *Applied ergonomics*. 2012. Vol. 43. Iss. 6. Pp. 1089–1095.
- Babbah S., Draoui A., Menezo C.H., Yezou R., Abdelouahab J.B. Evaluation Energétique des Bâtiments au Nord du Maroc. "12èmes Journées Internationales de Thermique". 2005. Pp. 235–238.
- Ekici C. Measurement uncertainty budget of the PMV thermal comfort equation. *International*

Journal of Thermophysics. 2016. Vol. 37. Iss. 6. Pp. 48.

16. GOST P ISO 7730-2009. Ergonomics of thermal environment [GOST R ISO 7730-2009 Ergonomika termal'noy sredy]. Moscow: Standartinform. 2009. (rus)

17. Alfano F.R.D.A., Ianniello E., Paella B.I. PMV–PPD and acceptability in naturally ventilated schools. Building and Environment. 2013. Vol. 67. Pp. 129–137.

18. Karmann C., Schiavon S., Bauman F. Thermal comfort in buildings using radiant vs. all-air systems: A critical literature review. Building and Environment. 2017. Vol. 111. Pp. 123–131.

19. Yao J. Teaching indoor thermal comfort using computer technologies with inexpensive instruments. Proceeding of World Transactions on Engineering and Technology Education. 2013. Vol. 11. Iss. 3. Pp. 293–296.

20. Elnaklah R. et al. Thermal comfort standards in the Middle East: Current and future challenges. Building and Environment. 2021. Vol. 200. 107899.

21. Cao S., Ming P., Zhao X. Fuzzy comprehensive evaluation of human thermal comfort in simulating natural wind environment. Building and Environment. 2021. Vol. 188. Pp. 107447.

Information about the authors

Bouhezam, Fahima. Postgraduate student. E-mail: fahima.boh04@gmail.com. Oryol State University named after. I.S. Turgenev. Russia, 302026, Orel, st. Komsomolskaya, 95.

Kolesnikova, Tatyana N. DSc, Assistant professor, head of the Department of Architecture. E-mail: kolesnikovoj@yandex.ru. Oryol State University named after. I.S. Turgenev. Russia, 302026, Orel, st. Komsomolskaya, 95.

Received 30.06.2021

Для цитирования:

Бухезам Ф., Колесникова Т.Н. Моделирование архитектурных решений патио и их влияние на тепловой комфорт городского жилья в полусухом климате Алжира // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2021. № 9. С. 45–55. DOI: 10.34031/2071-7318-2021-6-9-45-55

For citation:

Bouhezam F., Kolesnikova T.N. Modeling of patio architectural solutions and their effect on the thermal comfort of urban housing in the semi-arid climate of Algeria. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2021. No. 9. Pp. 45–55. DOI: 10.34031/2071-7318-2021-6-9-45-55

DOI: 10.34031/2071-7318-2021-6-9-56-63

Гаврилова М.Ю., Гаврилов А.М.Новгородский государственный университет имени Ярослава Мудрого***E-mail: gmjl@mail.ru*

ПРЕОБРАЗОВАНИЕ ОБЩЕСТВЕННЫХ ПРОСТРАНСТВ НА ОСНОВЕ СИМВОЛИЧЕСКОЙ ИНТЕРПРЕТАЦИИ ЭЛЕМЕНТОВ ГОРОДСКОЙ СРЕДЫ

Аннотация. *Одной из важных тем проектирования является формирование городской среды на основе современных требований комфортности с учетом исторического содержания и выявлением особой уникальности места. Использование символической интерпретации характерных элементов среды, таких как: поверхность земли, разнообразные формы рельефа, растительность, водные структуры и малые архитектурные формы при создании городских открытых территорий позволяет создать яркий выразительный образ общественного пространства. Отмечается, что применение данного принципа способствует усилению информативности исторической городской среды и созданию особой запоминаемости преобразуемого пространства. Применение символических композиций в городском пространстве повышает образные характеристики среды, выявляя её индивидуальность и закрепляя ее идентичность.*

Выявляются приемы передачи определенной информации с помощью знаков и символов для создания устойчивых визуальных приоритетов в общественной среде. Отмечается, что представленные в исследовании приемы преобразования общественных пространств позволяют без значительных градостроительных изменений повысить образные характеристики сред, выявить её идентичность и повысить экологическую устойчивость городского пространства. Приводятся примеры использования символической интерпретации в российском и зарубежном опыте создания новых общественных городских пространств.

Ключевые слова: *символическая интерпретация, общественные пространства, городская среда, ландшафт.*

Введение. Сегодня одной из важных задач в проектировании является создание общественных пространств, обладающих новым уровнем качества городской среды с учетом исторического контекста и выявлением особой уникальности места. Федеральный приоритетный проект «Формирование комфортной городской среды», утвержденный Минстроем России, способствует возможности вдохнуть новую жизнь в большинство городов через преобразование открытых общественных территорий.

Пренебрежительное отношение к городской среде и духу места на протяжении длительного времени способствовало утрате своеобразия городской среды. Во многих городах имеются связанные с историей и наследием «наполненные смыслом места», но это, как правило, не выявлено в городской среде. Однако, для человека важно идентифицировать себя с окружением, которое обладает определенным смыслом и содержанием. Отражение духа места является ключевой темой в работах К. Норберг-Шульца [1], а также нашло отражение в исследованиях К. Линча, В. Нефедова, Ю. Янковской и др. В Квебекской декларации по сохранению идентичности места отмечается, что дух места выявляется как «материальные и нематериальные, физические и духовные элементы», способствующие приданию территории индивидуальности [2].

В преобразовании общественных пространств могут использоваться разные принципы, одним из которых является применение символической интерпретации характерных элементов городской среды: поверхности земли, разнообразных форм рельефа, растительности, водных структурах и малых архитектурных формах. Термин «символика» во многих исследованиях – это выражение идей, понятий или чувств, с помощью условных знаков и символов, а интерпретация является раскрытием смысла предмета или объекта. Следовательно, символическая интерпретация элементов городской среды – это создание архитектурно-пространственного контекста на основе «семиотической знаковой модели в виде линий, фигур, символов» для передачи духа места [3]. Значит возможно формирование городского пространства на основе символического интерпретирования истории места, используя данные элементы среды, как для преодоления безликости территории, так и для повышения ее идентичности. Преимущество использования знаков в городском пространстве заключается в возможности не коррелировать их со структурой оригинала существовавшего объекта [4]. Символизм городской среды – «это своего рода универсальный код, с помощью которого информация внешнего мира переводится, транслируется в искусственно создаваемую среду и снова декодиру-

ется при ее восприятии» [5]. Символизм архитектурного пространства рассматривается в исследованиях Д. Лихачева, К. Линча, А. Иконникова и др.

В качестве объекта исследования выступают элементы городской среды. Основная цель работы заключается в выявлении приемов преобразования пространства на основе символической интерпретации городской среды. Задачами исследования являются раскрытие идентичности пространства с помощью характерных элементов городской среды и выявление современного архитектурно-градостроительного опыта преобразования общественных пространств имеющих историческую значимость.

Материалы и методы. Методика исследования основывается на изучении исторических, архитектурных, градостроительных и символических особенностей преобразования общественных пространств городской среды имеющих историческую значимость. В исследовании применялись следующие методы: изучение отечественной и зарубежной практики преобразования общественных пространств; проведение натурных исследований городской среды; выявление информационно-символического значения характерных элементов городской среды.

Основная часть. Одним из самых распространенных компонентов преобразования архитектурно-пространственной среды является поверхность земли, которая обладает определенным ресурсом, способным значительно расширить палитру средств организации выразительно-

сти среды. Например, применение варианта интегрирования в поверхность мощения информации о существовавших на данном участке исторических объектов. Информация может быть представлена в двух вариантах: в создании контура абриса существовавшего объекта или в представлении конкретной информации.

Прием передачи исторической информации с помощью знаков на поверхности покрытия имеет более широкое распространение в общественных городских пространствах, так как голова человека обычно наклонена вниз во время движения для лучшей ориентации в пространстве [6].

Создание символов и знаков места на поверхности мощения отвечает целям осмысленного акцентирования фрагментов среды для формирования устойчивых визуальных приоритетов [7]. Площадь Frères-Charon в Монреале (Канада), демонстрирует пример организации современного городского ландшафта на основе исторического своеобразия территории, выявленной через знаковые элементы пространства [8]. В основе формирования городского общественного пространства в Сантандер (Испания) лежит символическая интерпретация рыболовецких сетей, которая нашла свое отражение в пластической трактовке поверхности земли и характере мощения, что позволило создать яркий выразительный образ среды (рис. 1) [9]. На основе фактурного и графического решения поверхности земли с использованием различных материалов общественные пространства получили определенный эстетический смысл.



Рис. 1. Символическая интерпретация рыболовецких сетей в пластической трактовке поверхности земли и характере мощения. Сантандер (Испания) [9]

Любая контрастная линия, расположенная на поверхности, является определенным визуальным акцентом, притягивающим к себе внимание. Так, в Олд-Маркет-сквер одном из старейших городских пространств Ноттингема (Великобритания) [10] линия показывает направление древней улицы, а на площади Испании на острове Санта-

Круз-де-Тенерифе (Испания) спроектированной Herzog & de Meuron, линейный контур, нанесенный на поверхность белой чаши водного модуля, указывает границы крепостных стен [11]. Примером из российской проектной практики преобразования поверхности мощения с целью повыше-

ния идентичности места можно привести Нижний Новгород. Возникшая в результате реконструкции на пешеходной улице Большая Покровская линия, концентрирует внимание на обозначении контура исторических укреплений Малого острога, пересекавшего улицу как раз в этом месте (рис. 2).

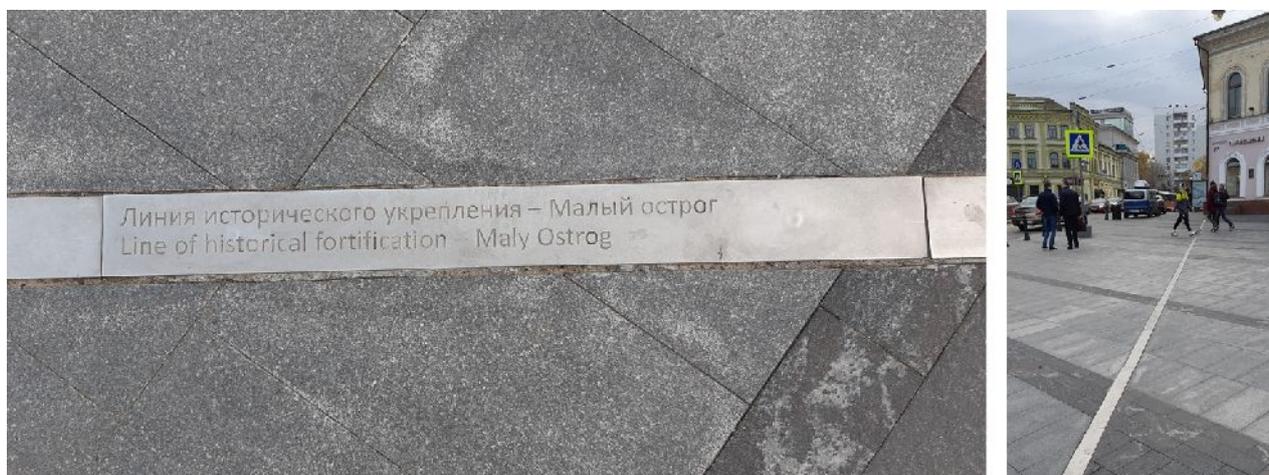


Рис. 2. Контур исторических укреплений на пешеходной улице Большая Покровская. Нижний Новгород

Повышению идентичности пространства способствует и применение в структуре покрытия характерного элемента, связанного с городской историей участка, передающей «дух места». В городе Целе (Словения) на мощении «надписями из патинированного металла» зафиксированы сохранившиеся направления римских улиц [12].

Выбор современных средств формирования поверхности земли позволяет зафиксировать в общественном пространстве определенную конкретную информацию. Таким образом, применение приема передачи исторической информации с помощью знаков на поверхности покрытия способствует созданию идентичности места без градостроительных изменений и появлений в пространстве объемных форм.

Прием создания символов пространства в виде современной скульптуры или знаковых объектов позволяет значительно разнообразить палитру элементов, формирующих общественные городские территории. Курбатов Ю.И. отмечает, что язык архитектурной формы часто содержит два кода, имеющих некие смысловые значения: «зашифровывающий» (новизна) и дешифрующий» (преемственность) [13]. Так, в парке High Line в Нью-Йорке, сформированном на месте заброшенной надземной железной дороги, для сохранения исторической значимости места по архитектурно-дизайнерской концепции символическая интерпретация «постиндустриального ландшафта» проявилась как в частичном сохранении рельсов на территории, так и в создании новых

Сквер Водников в Великом Новгороде формирует современными средствами городского дизайна конфигурацию древней улицы, находящейся на глубине нескольких метров под землей, выявляя уникальную историю места и его ландшафтное своеобразие. Созданное новое пространство стало активной точкой притяжения, как для туристов, так и жителей города.

малых архитектурных форм [14]. В городе Белфаст, который являлся в прошлом важным кораблестроительным центром Великобритании, шестнадцатиметровые обшитые листовой медью мачты с парусами стали запоминающимися символами пространства, непосредственно взаимодействующими с окружением и усиливающими его идентичность [15]. В Ла Пинеде (Испания) создано общественное пространство, в основу которого положена символическая интерпретация образа сосны, которая частично погибает, находясь в отдельных местах вдоль побережья. Ее образ нашел отражение в планировочном решении территории: конфигурациях дорожек, клумб, контуров водных объектов, а также в навесах, расположенных среди сосен у побережья [16]. Восприятие данных композиционных объектов в городской среде формирует у человека устойчивые образы, связанные с конкретными общественными пространствами.

Использование данного приема способствует выявлению ключевых точек пространства и вносит элементы идентичности без существенного изменения пространства.

Многие оборонительные укрепления старых городов имели по периметру рвы, заполненные водой. В ходе исторического развития с карты ряда городов исчезли небольшие реки и ручьи, память о которых сохранилась в названиях улиц и бульваров. В мировой практике не так много примеров восстановления водных структур, таких как общественное пространство Чхонгечхон

в Сеуле. С 60-х годов прошлого века река оказалась скрыта под скоростной многополосной автомагистралью. После реконструкции территории была восстановлена река, вдоль которой сформировалось новое общественное пространство [17]. Однако, например, в Великом Новгороде с течением времени упал уровень воды в реке Волхов, следствием чего явилось исчезновение воды по периметру Кремля и Окольного города. Сегодня уже невозможно вернуться к историческому городскому ландшафту. Однако, можно использовать «образ интерпретации», важными функциями которого являются учет и продуманное использование историко-генетического и образно-ассоциативного потенциалов городского пространства [18].

Прием интерпретации водных пространств в городской среде может быть представлен в виде плоских или объемных элементов. В первом варианте водное пространство может быть представлено на поверхности с твердым покрытием характерным рисунком мощения или в виде криволинейного контура линий, а также созданием цветочных вариантов композиций с волнообразным рисунком в сине-фиолетовой гамме. В другом варианте вода может

формироваться элементами малой пластики или силуэтами растительности криволинейного абриса. Использование в городском пространстве волнообразных кривых способствует зрительной концентрации внимания людей на средовых объектах. Применение символических композиций повышает образные характеристики среды, выявляя её индивидуальность и закрепляя определенные ассоциации.

Ярким примером, демонстрирующим в себе разнообразие средств символической интерпретации водной тематики, представленной в многообразных элементах среды, является сад Атлантики на крыше вокзала Монпарнас в Париже (рис. 3). Состояние движения характерного для водных структур эстетически интерпретируется в рисунке декоративного мощения, абрисах растительных элементов, контурах газона и малых архитектурных формах [19]. Выбор проектного решения, основанного на символической интерпретации, способствует появлению в городском пространстве дополнительной мотивации, способствующей повышению посещаемости территории.



Рис. 3. Формирование образа водного пространства с помощью рисунка мощения и контура деревянного подиума. Сад Атлантики, Париж. Источник: https://www.gardener.ru/gap/garden_guide/page330.php

Следовательно, использование приема интерпретации водных пространств в преобразовании городской среды способствует возникновению «контекстуальной ассоциативности», повторяющей не элементы прошлого, а их образное воплощение в архитектурно-историческом пространстве [20].

Элементы растительности, обладающие разнообразными возможностями в

интерпретации форм, являются важными компонентами городской среды. Они являются важным фактором в формировании комфортного городского пространства. Использование пластического моделирования растительного материала способно придать уникальность любому общественному пространству. Обращение к идентичности места через символическую интерпретацию может быть

представлено приемом использования разнообразной колористики и формы растительности. Так, на знаковых символах растительного материала строится образ парка Ситроен в Париже, созданного на территории бывших цехов по производству красителей завода «Ситроен», в котором отразилась вся палитра красок. Серии Садов, созданные на небольшой территории с продуманным чередованием открытых и закрытых пространств, а также разнообразной колористикой, формируют особую образность парка [21]. В результате преобразования компонентов природы, на основе смысловых акцентов и символических знаков городская среда наполняется современным содержанием. Таким образом, использование данного приема способствует появлению новых акцентов и доминант при этом, повышая экологическую устойчивость городского пространства. Умение воспринимать общественные пространства через символические образы способствует расширению эмоционально-чувственного содержания внутреннего мира человека.

Выводы. Сегодня активно встает вопрос о необходимости восстановления, реставрации, реабилитации исторических городских пространств и включению их в жизнь города в качестве комфортной среды, естественной и удобной для проживания, отдыха, созерцания. Следовательно, при формировании городской среды необходимо обращать внимание на:

- связь историко-культурного наследия и современного средового подхода к созданию общественных пространств;

- семиотические знаковые модели с интерпретацией архитектурных объектов в виде геометрических элементов, которые способствуют созданию определенного духа места;

- применение приемов передачи исторической информации с помощью знаков на поверхности покрытия, создания символов пространства в виде современной скульптуры или знаковых объектов, интерпретации водных пространств и использования разнообразной колористики и формы растительности.

Формирование разнообразных символов и знаков в городском пространстве является особенно актуальным в связи с ослаблением ориентации жителей в современных городах, имеющих одинаковое пространственное, колористическое и архитектурное окружение. При увеличении пристального внимания к общественным пространствам становится актуальным поиск новых подходов к формированию территорий. Представленные в

исследовании приемы преобразования общественных пространств на основе символической интерпретации характерных элементов городской среды без значительных градостроительных изменений повышают образные характеристики среды и выявляют её идентичность.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Кияненко К. О феномене, структуре и духе места у К. Норберг-Шульца // Архитектурный вестник. 2008. № 3. С. 98–100.
2. Есаулов Г.В. Об идентичности в архитектуре и градостроительстве // Academia. Архитектура и строительство. 2018. № 4. С. 12–18. DOI: 10.22337/2077-9038-2018-4-12-18
3. Нефёдов В.А. Городской ландшафтный дизайн. СПб.: «Любавич», 2012. 320 с.
4. Чертов Л.Ф. Знаковость: опыт теоретического синтеза идей о знаковом способе информационной связи. СПб.: Издательство Санкт-Петербургского университета, 1993. 388 с.
5. Фёдоров В.В. Символизм архитектурных пространств: дис. доктора культурологии. Москва, 2000. 308 с.
6. Гейл Я. Города для людей / Пер. с англ. А.Токтонов. Москва: Концерн «Крост»: Альпина Паблишер, 2012. 276 с.
7. Гаврилова М.Ю., Гаврилов А.М. Приемы формирования поверхности земли в городском пространстве с использованием формы круга // Перспективы науки. 2020. № 12 (135). С. 128–130.
8. Ritter A. Aydinlatma tasarimi tema – Tasarlanmis Kent Parklan: Frères-Charon Meydanı Montreal/Kanada // Lighting. Professional design Turkiye. 2010. № 5 (35). Pp. 36–43.
9. San Martín de la Mar Square / Zigzag Arquitectura URL: <https://www.archdaily.com/780583/san-martin-de-la-mar-square-zigzag-arquitectura> (дата обращения: 15.01.2020).
10. Фролова Н. Контуры прошлого в городском ландшафте // Speech: площадь. 2009. № 3. С. 120–129.
11. Татунашвили Н. Площадь Испании (Plaza de España). Herzog & de Meuron // Проект International. 2010. № 24. С. 70–77.
12. Фролова Н. LUZ Реконструкция общественного пространства в историческом центре Целе, Словения // Проект Россия. Улицы. 2016. № 79. С. 162–165.
13. Курбатов Ю.И. Язык архитектуры как выразитель гуманитарной культуры общества и его родословной [Электронный ресурс] // Academia. Архитектура и строительство. 2016. № 1.

С. 55-56. URL: <http://aac.raasn.ru/issue/view/10/Academia.%20Architecture%20and%20Construction.%20%20No1%2C%202016> (дата обращения 25.01.2021).

14. Броницкая А. Элизабет Диллер. Агротекстура // Проект International. 2012. № 31. С. 94–105.

15. Фролова Н. АЕСОМ План реконструкции улиц центрального Белфаста, Великобритания // Проект Россия. Улицы. 2016. № 79. С. 154–157.

16. "Pinar de Peruquet" Park / Arteks Arquitectura [Электронный ресурс]. URL: // <http://archdaily.com/9654/pinar-del-peruquet-park-arteks-arquitectura> (дата обращения 08.10.2020).

17. Антропова В. Дорога в сад: дизайн современных парков в индустриальных районах [Электронный ресурс]. URL: // <http://www.berlogos.ru/article/doroga-v-sad-dizajn-sovremennyh-parkov-v-industrialnyh-rajonah/> (дата обращения 22.09.2020).

18. Янковская Ю.С. Семиотика в архитектуре – диалог во взаимодействии: Место семиотических исследований в современной теории архитектуры. Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2003. 125 с.

19. Нефёдов В.А. Ландшафтный дизайн и устойчивость среды. СПб: 2002. 295 с.

20. Курбатов Ю.И. Ассоциативность как инструмент преемственности в визуальном языке архитектуры [Электронный ресурс] // Academia. Архитектура и строительство. №3. 2016 С. 32–34. URL: <http://aac.raasn.ru/issue/view/12/Academia.%20Architecture%20and%20Construction.%20%20No3%2C%202013> (дата обращения 20.06.2020).

21. Домрачёва Л. Новый язык современного ландшафтного дизайна // Вестник «ЗОДЧИЙ. 21 век». 2002. № 2. С. 38–45.

Информация об авторах

Гаврилова Мария Юрьевна, кандидат архитектуры, доцент кафедры дизайна. E-mail: gmj1@mail.ru. Новгородский Государственный университет имени Ярослава Мудрого. Россия, 173003, Великий Новгород, ул. Большая Санкт-Петербургская, д. 41.

Гаврилов Алексей Михайлович, кандидат педагогических наук, заведующий кафедрой дизайна. E-mail: gavrilov307@mail.ru. Новгородский Государственный университет имени Ярослава Мудрого. Россия, 173003, Великий Новгород, ул. Большая Санкт-Петербургская, д. 41

Поступила 29.06.2021 г.

© Гаврилова М.Ю., Гаврилов А.М., 2021

***Gavrilova M.Y., Gavrilov A.M.**

Yaroslav-the-Wise Novgorod State University

**E-mail: gmj1@mail.ru*

TRANSFORMATION OF PUBLIC SPACES BASED ON THE SYMBOLIC INTERPRETATION OF ELEMENTS OF THE URBAN ENVIRONMENT

Abstract. *One of the important design topics is the formation of the urban environment based on modern comfort requirements, considering the historical content and identifying the special uniqueness of the place. The use of symbolic interpretation of characteristic elements of the environment: such as the earth's surface, various forms of relief, vegetation, water structures and small architectural forms when creating urban open areas allows to create a bright expressive image of public space. The application of this principle contributes to the strengthening of the information content of the historical urban environment and the creation of a special memorability of the transformed space. The use of symbolic compositions in urban space increases the figurative characteristics of the environment, revealing its individuality and consolidating its identity. The methods of transmitting certain information using signs and symbols to create stable visual priorities in the public environment are identified. It is noted that the methods of transformation of public spaces presented in the study provides increasing the figurative characteristics of environments without significant urban planning changes, to reveal its identity and to increase the environmental sustainability of urban space. Examples of the use of symbolic interpretation in the Russian and foreign experience of creating new public urban spaces are given.*

Keywords: *symbolic interpretation, public spaces, urban environment, landscape.*

REFERENCES

1. Kiyanenko K. On the Phenomenon, Structure and Spirit of Place at Christian Norberg-Schulz [O fenomene, strukture i duhe mesta u K. Norberg-SHul'ca]. Architectural Bulletin. 2008. No. 3. Pp. 98–100. (rus)

2. Esaulov G.V. On Identity in Architecture and Urban Planning [Ob identichnosti v arhitekture i gradostroitel'stve]. Academia. Architecture and construction. 2019. No. 4. Pp. 32–41. (rus)
3. Nefedov V.A. Urban Landscape Design [Gorodskoj landshaftnyj dizajn]. SPb.: «Lyubavich», 2012. 230 p. (rus)
4. Chertov L.F. Signedness: the experience of theoretical synthesis of ideas about the sign method of information communication. [Znakovost': opyt teoreticheskogo sinteza idej o znakovom sposobe informacionnoj svyazi]. SPb.: Izdatel'stvo Sankt-Peterburgskogo universiteta, 1993. 388 p. (rus)
5. Fedorov V.V. Symbolism of architectural spaces [Simvolizm arhitekturnyh prostranstv]: dissertaciya doktora kul'turologi. Moscow, 2000. 308 p. (rus)
6. Gehl J. Cities for people. Transl. into Russian by A. Toktonov. Moskva: Konzern «Krost»: Al'pina Publisher, 2012. 276 p. (rus)
7. Gavrilova M.Yu., Gavrilov A.M. Methods of forming the earth's surface in urban space using the shape of a circle [Priemy formirovaniya poverhnosti zemli v gorodskom prostranstve s ispol'zovaniem formy kruga]. Science Prospects. 2020. No. 12 (35). Pp. 128–130. (rus)
8. Ritter A. Aydinlatma tasarimi tema – Tasarlanmis Kent Parklan: Frères-Charon Meydanı Montreal/Kanada. Lighting. Professional design Turkiye. 2010. Vol. 5 (35). Pp. 36–43.
9. San Martín de la Mar Square / Zigzag Arquitectura URL: <https://www.archdaily.com/780583/san-martin-de-la-mar-square-zigzag-arquitectura> (date of treatment: 15.01.2020).
10. Frolova N. Contours of the past in the urban landscape [Kontury proshlogo v gorodskom landshafte]. Speech: square. 2009. No. 3. Pp. 120–129. (rus)
11. Tatunashvili N. Plaza de España. Herzog & de Meuron. Project International. 2010. No. 24. Pp. 70–77. (rus)
12. Frolova N. LUZ Renovating Public Space in Historical Celje, Slovenia [LUZ Rekonstrukciya obshchestvennogo prostranstva v istoricheskom centre Cele, Sloveniya]. Project Russia. Streets. 2016. No. 79. Pp. 162–165. (rus)
13. Kurbatov Yu.I. The Language of Architecture as a Transmitter of Humanitarian Culture of the Society and its Pedigree [Yazyk arhitektury kak vyrazitel' gumanitarnej kul'tury obshchestva i ego rodoslovnoj]. Academia. Architecture and construction. 2016. No. 1. Pp. 55–56. URL: <http://aac.raasn.ru/issue/view/10/Academia.%20Architecture%20and%20Construction.%20%20No1%2C%202016> (date of treatment: 25.01.2021). (rus)
14. Bronovitskaya A. Elizabeth Diller. Agrotecture [Elizabeth Diller. Agro-tekstura]. Project International. 2012. No 31. Pp. 94–105. (rus)
15. Frolova N. AECOM Street Transformation Plan for Central Belfast, UK [AECOM Plan rekonstrukcii ulic central'nogo Belfasta, Velikobritaniya]. Project Russia. Streets. 2016. No. 79. Pp. 154–157. (rus)
16. Pinar de Perruquet" Park / Arteks Arquitectura. URL: <http://archdaily.com/9654/pinar-del-perruquet-park-arteks-arquitectura> (date of treatment: 08.10.2020).
17. Antropova V. The road to the garden: the design of modern parks in industrial areas [Doroga v sad: dizajn sovremennyh parkov v industrial'nyh rajonah]. URL: <http://www.berlogos.ru/article/doroga-v-sad-dizajn-sovremennyh-parkov-v-industrialnyh-rajonah/> (date of treatment: 22.09.2020). (rus)
18. Yankovskaya Yu.S. Semiotics in Architecture-dialogue in interaction: The place of semiotic research in the modern theory of architecture [Semiotika v arhitekture – dialog vo vzaimodejstvii: Mesto semioticheskikh issledovanij v sovremennoj teorii arhitektury]. Ekaterinburg: Izdatel'stvo Ural'skogo universiteta, 2003. 125 p. (rus)
19. Nefedov V.A. Landscape Design and environment sustainability [Landshaftnyj dizajn i ustojchivost' sredy]. Saint-Petersburg, 2002. 296 p. (rus)
20. Kurbatov Yu.I. Associativity as an Instrument of Continuity in the Visual Language of Architecture [Assosiativnost' kak instrument preemstvennosti v vizual'nom yazyke arhitektury]. Academia. Architecture and Construction. 2016. No. 3. Pp. 32–34. URL: <http://aac.raasn.ru/issue/view/12/Academia.%20Architecture%20and%20Construction.%20%20No3%2C%202013> (date of treatment: 20.06.2020). (rus)
21. Domracheva L. A new language of modern landscape design [Novyj yazyk sovremennogo landshaftnogo dizajna]. Bulletin " ARCHITECT. 21st century". 2002. No. 2. Pp. 38–45. (rus)

Information about the authors

Gavrilova, Maria J. PhD, Associate Professor of Design Department. E-mail: gmj1@mail.ru. Yaroslav-the-Wise Novgorod State University. Russia, 173003, Veliky Novgorod, ul. Bolshaya St. Petersburg, d. 41.

Gavrilov, Alexey M. PhD, Associate Professor, Head of Design Department. E-mail: gavrilov307@mail.ru. Yaroslav-the-Wise Novgorod State University. Russia, 173003, Veliky Novgorod, ul. Bolshaya St. Petersburg, d. 41.

Received 29.06.2021

Для цитирования:

Гаврилова М.Ю., Гаврилов А.М. Преобразование общественных пространств на основе символической интерпретации элементов городской среды // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2021. № 9. С. 56–63. DOI: 10.34031/2071-7318-2021-6-9-56-63

For citation:

Gavrilova M.Y., Gavrilov A.M. Transformation of public spaces based on the symbolic interpretation of elements of the urban environment. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2021. No. 9. Pp. 56–63. DOI: 10.34031/2071-7318-2021-6-9-56-63

DOI: 10.34031/2071-7318-2021-6-9-64-73

Астанин Д.М.

Российский государственный аграрный университет – МСХА им. К.А. Тимирязева
Вологодский государственный университет
E-mail: montenegro.astanin@mail.ru

СТРУКТУРНО-ФУНКЦИОНАЛЬНЫЙ ПОДХОД КАК МЕТОДОЛОГИЧЕСКАЯ ОСНОВА МОДЕЛИРОВАНИЯ ГРАДОСТРОИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ТЕРРИТОРИИ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО ТУРИЗМА

Аннотация. Территория экотуризма – это особо охраняемая природная территория, в функции которой входит развитие экологического туризма. Целью развития территории экотуризма является сохранение природного и культурного наследия при рекреационном использовании территории. Противоречия, возникающие между рекреационным использованием территории и сохранением природного и культурного наследия, приводят к необходимости управления процессами рекреационного воздействия на территорию. Инструментом для решения проблемы является метод моделирования, который обеспечивает необходимый синтез знаний о среде обитания человека. Сложность градостроительной системы территории экотуризма не позволяет принимать градостроительные решения на основе одной всеобъемлющей модели. Системное представление об объекте моделирования складывается из взаимоувязанного рассмотрения его с 2-х позиций: функциональной, морфологической (структурной). Поэтому методологической основой моделирования стал структурно-функциональный подход, позволяющий определить основные пространственные закономерности формирования устойчивой планировочной структуры территории экотуризма. Структурно-функциональный подход дает возможность рассмотреть внешнюю среду территории экотуризма как целостное образование – территориальную систему, всесторонне ее оценить и представить в качестве элемента образования более высокого порядка – градостроительной системы. Функциональная декомпозиция градостроительной системы состоит в иерархическом разделении функций на главную (сохранение природного и культурного наследия) и подчиненные ей основную (рекреационное использование территории) и дополнительную (обслуживание посетителей и территории). В результате, устойчивость структуры планировочного каркаса зависит от сохранения и восстановления целостности экологического и эко-культурного каркасов территории экотуризма.

Ключевые слова: моделирование, градостроительная система, структурно-функциональный подход, функциональная модель территории, структурная модель территории.

Введение. Повышение антропогенной нагрузки на природную среду (в том числе и со стороны туризма) во второй половине 20-го века привело к эскалации многих экологических проблем. Разумным подходом к решению данных проблем является предупреждение порождающих их ситуаций с помощью моделирования.

Моделирование – как метод познания, применялся человечеством всегда. На стенах древних храмов предков южно-американских индейцев обнаружены графические модели мироздания. Однако, в отчетливой форме (хотя и без употребления самого термина) моделирование начинает широко использоваться в Эпоху Возрождения в работах Г. Галилея, Леонардо да Винчи и др. Первоначальным термином «модель» обозначалась уменьшенная копия, а в последующем, в широком смысле под моделью стали понимать любой образ (мысленный или условный: изображение, описание, схема, чертеж, график, план, карта и т. д.) какого-либо объекта, процесса или явления [4–10].

В 19–20-х вв. трудно назвать область науки, где моделирование не имело бы существенного значения.

Постановка проблемы. Особо охраняемые природные территории создаются для охраны и воспроизводства ценных природных ландшафтов, историко-культурного наследия, экологического воспитания населения. Помимо этого, в функции национальных и природных парков входит организация рекреационной деятельности с минимальным вредным воздействием на среду. Вследствие этого, для развития экологического туризма на охраняемых территориях допускается градостроительное обустройство территории (организация информационных центров, экологических троп и туристских маршрутов, смотровых площадок, мест отдыха). Обустройство рассматривается как комплекс мероприятий, реализация которых способствует как созданию эстетически привлекательного, функционального туристического пространства, так и охране и восстановлению природного и культурного наследия. Противоречия, возникающие между рекреа-

ционным использованием территории и сохранением природного и культурного наследия, приводят к необходимости, для устойчивого развития территорий, управления процессом рекреационного воздействия с помощью градостроительного обустройства территории. Для достижения целей управления территории экотуризма рассматривается как системный объект.

Система (от греч. *systema* – целое, составленное из частей; соединение) представляет собой набор взаимодействующих или взаимозависимых сущностей, реальных или абстрактных, образующих интегрированное целое [4–10]. Система представляет собой конструкцию или набор различных элементов, которые вместе могут приводить к результатам, которые не могут быть получены только самими элементами. Понятие системы с середины 20-го в. становится одним из ключевых философско-методологических и специально-научных понятий. Людвиг фон Бергаланфи является родоначальником общей теории систем [23–27].

В.С. Преображенский еще в 1960-х гг. разработал учение о территориальной рекреационной системе. В исследовании территориальных рекреационных систем выделились следующие научные подходы: геосистемный, гуманитарный, социально-географический, пространственно-временной.

Социально-географический подход рассматривает рекреационные системы как крупное образование социальных систем, которые несут территориальный характер.

В 1980-е гг. разработан пространственно-временной подход к изучению территориальных рекреационных систем, который рассматривает не только сезонность функционирования территориальных рекреационных систем, но и многолетнюю динамику их развития. В рамках этого подхода в 1982 г. Ю.А. Ведениным были выделены два типа моделей туристско-рекреационных систем: объектно-центрированные, в которых основное внимание направлено на территории, принимающие рекреантов; субъектно-центрированные модели, в которых внимание акцентировано на людей.

В конце 20-го века социально-географический подход был дополнен гуманитарным. В рамках данного подхода была создана средовая модель рекреационной системы, где человек в структуре рекреационной системы выделяется как «основное действующее лицо, организатор и ведущий субъект туристской практики». Во-первых, изучаются структура и характер потребностей человека в рекреации, во-вторых, процесс

реализации этих потребностей, в-третьих, выявляется эмоциональный, социальный и иной результат рекреации.

В последние годы в исследованиях рекреационных систем стал применяться геосистемный подход (территориальная модель Л.Ю. Мажара), в рамках геосистемного подхода изучаемая территория рассматривается как совокупность взаимосвязанных и взаимообусловленных геосистем различных иерархических уровней.

В зарубежной науке системный подход к туризму начал развиваться в 1970-е гг. В 1972 г. С.А. Gunn выдвинула концепцию «фундаментальной туристской системы», включающей в себя пять подсистем: туристы, транспорт, аттракции, средства обслуживания и информационно-управленческую.

Ведущее место в модели занимает турист, потребности которого генерируют спрос.

Следующим элементом является туристская территория. Здесь происходит влияние туризма на посетителей, но вместе с тем накапливаются негативные последствия от воздействия туристического потока. Поэтому, именно на туристической территории реализуются планы управления туристической системой. Третий элемент модели – туристическая индустрия, которая представляет собой совокупность различных предприятий и организаций.

Среди последних трудов по рассмотрению туризма как системы отдельного внимания заслуживает работа С.Р. Goeldner и J.R.B. Ritchie «Туризм: принципы, практика, философия».

Центральным элементом туристской системы авторы называют туриста. Понимание его поведения и выявление его потребностей – основа развития туристической инфраструктуры, услуг, программ путешествий.

Фундаментом туризма является окружающая среда и природные ресурсы. В окружающую среду включена и антропогенная среда: культура населения территории; инфраструктура предназначена для обеспечения жизнедеятельности местного населения, но используемая туристами; туристская суперструктура, созданная для удовлетворения потребностей туристов; информация; государственное управление всех иерархических уровней. С.Р. Goeldner и J.R.B. Ritchie подчеркивают необходимость единого органа управления, который определяет стратегию развития туризма. Стратегия управления является основой для разработки конкретного туристического продукта.

Целью создания территориально рекреационной системы, разработанной отечественной рекреационной географией, было удовлетворение

рекреационных потребностей человека. Конечной целью зарубежных изысканий является создание конкурентно-способного туристического продукта, способного приносить прибыль. Развитие туризма и рекреации показало, что антропоцентрический характер методологии и методология направленная на извлечение прибыли приводит к разрушению природного и культурного наследия и прекращению развития и функционирования рекреационной территории. Применение обеих методологий для управления туристической территорией приводит к неконтролируемому росту туристического потока.

Экологические проблемы, возникающие в результате неконтролируемого роста туристического потока, привели к необходимости для эффективного и устойчивого развития экологического туризма учитывать помимо потребностей человека и особенности функционирования экосистем туристической территории.

Теорию эффективности сложных систем, последовательно разрабатывал Б.С. Флейшман [1–2].

Принципы построения методики исследования эффективности:

- предоставление агрегированной и детализированной видов информации;
- предоставление как количественных, так и качественный оценок;
- рассмотрение системы как извне, так и изнутри (вариативные положение наблюдателя);
- оценка соотношения затрат-результатов, степени достижения цели;
- реализация подхода «Описание-объяснение-предсказание».

Основные положения методики исследования эффективности:

- анализ продуктивности подсистем;
- распределение ресурсов в системе (варианты распределения);
- реструктуризация системы (укрупнение и разделение подсистем);
- прогнозирование эффективности системы (при достаточном объеме информации).

Особенностью ТПЭСС (теории потенциальной эффективности сложных систем) является единая форма выражения ее законов. Используется дедуктивный подход (от общего к частному).

В соответствии с первым принципом ТПЭСС (формирования законов) постулируются модели, из которых в виде теорем выводятся законы сложных систем. Второй принцип (рекуррентного объяснения) задает вывод свойств системы. Третий принцип (минимаксного построения моделей): системы должна состоять из простых моделей систем, каждая из которых хотя бы

в минимальной (мин) степени отражает нарастающий (макс) уровень сложности поведения систем.

Рекомендуется строить простые модели сложных систем. Сложность градостроительной системы территории экотуризма не позволяет принимать градостроительные решения на основе одной всеобъемлющей модели. Системное представление об объекте моделирования складывается из взаимоувязанного рассмотрения его как территориальное образование (функциональная и структурная модель) и социального объекта (информационная модель).

Обсуждение. Градостроительная система – это сочетание материальных элементов пространства (элементов системы) с их свойствами и отношениями, складывающимися на основе упорядочения и взаимных связей, что придает сочетанию новые качества, отличные от качеств составляющих элементов. Задача построения модели градостроительной системы – это специфическая задача нахождения по заданным «входам» (факторам, воздействующим на модель) и выходам (результат, соответствующий цели развития системы) выявить закономерности всех происходящих процессов, приводящих к цели моделирования.

Территория экотуризма – это зона особо охраняемых природных территорий, на участках которой разрешено рекреационное использование и развитие планового туризма. Для нее характерно согласованное взаимное размещение материальных элементов и наличие устойчивых территориальных связей. Это позволяет рассматривать территорию экотуризма как градостроительную систему.

На основании предварительного анализа территории экотуризма, ее градостроительное формирование происходит в результате сложного взаимодействия между территориальным образованием, которое имеет потенциал для инициализации будущего развития; системой планирования и прогнозирования развития градостроительной системы [11–15], которая вносит управляющие воздействия и определяет требования к территории экотуризма; социокультурной системой, генерирующей развитие территории экотуризма. В результате этих взаимодействий территория экотуризма представляет собой целостное образование – сложную градостроительную систему.

Градостроительная система территории экотуризма – это искусственная природно-антропогенная система. Элементы системы являются выходом сознательно выполняемых процессов человека. Целью развития градостроительной си-

стемы территории экотуризма является сохранение природного и культурного наследия, при рекреационном использовании территории.

Для достижения поставленной цели и решения противоречивых задач необходимо создать механизм управления, выделить субъект и объекты управления. Субъектами управления являются органы государственного управления, местные органы исполнительной власти и органы местного самоуправления, предприятия сферы туризма.

Объектом прямого управления является территория со сложившимися природными, экологическими, культурными, инфраструктурными условиями, влияющими на планировочную структуру. Прямое управление осуществляется с помощью регулирования рекреационного воздействия на территорию градостроительными методами: функциональным зонированием территории и моделированием устойчивого планировочного каркаса.

Объект косвенного управления – человек со сложной структурой и характером рекреационных потребностей, предпочтений, которые сформировались в результате воздействия культурных, социальных и других факторов внешней среды. Косвенное управление направлено на формирование экологического сознания.

Результатом управления территорией экотуризма является система пространственно-организованных и взаимосвязанных материальных элементов, которые совместно с природными компонентами формируют устойчивую туристическую среду, адекватно реагирующую на рекреационные воздействия.

Методика. Концепция экотуризма предполагает, что управление его развитием на территории должно привести к созданию модели устойчивого и экологически ответственного туризма. Для достижения результата управления: сохранение природного и культурного наследия при рекреационном развитии территории – в исследовании применен системный подход, позволяющий рассмотреть территорию экологического туризма как управляемую систему. Использование системного подхода в градостроительстве позволяет выявить, проанализировать и учесть факторы, влияющие на пространственное развитие туризма в целом.

Системный подход - направление методологии научного познания, в основе которого лежит рассмотрение объекта как системы: целостного комплекса взаимосвязанных элементов (И.В. Блауберг, В.Н. Садовский, Э.Г. Юдин); совокупности взаимодействующих объектов (Л. фон Бергаланфи); совокупности сущностей и отношений

(Холл А.Д., Фейджин Р.И., поздний Л. фон Бергаланфи).

Модель системы должна быть сформирована по определенным правилам преобразования. Эта процедура, помогающая применить эти правила к модели, называется методом. В исследовании был применен структурно-функциональный подход. Структурно-функциональный подход базируется на взаимосвязи функции и структуры в процессе развития системы при определяющей роли функции системы по отношению к структуре, позволяет выделить функции и структуру системы и, описать структурную, функциональную модели территории экотуризма.

Функциональная модель территории – система функциональных взаимосвязей компонентов планировочной структуры, и в частности, функционального зонирования, которые определяют характер использования территории [18-21].

Структурная модель территории – система взаимосвязанных планировочных центров и осей (планировочный каркас территории), определение и изменение их состава, рангов в иерархии, границ и характеристик [17].

Задачи структурно-функционального подхода:

1. формирование дерева функций градостроительной системы (функциональная декомпозиция системы);
2. определение состава участвующих в моделировании подсистем;
3. структуризация подсистем – территориальных систем (каркасный подход);
4. определение влияния производных элементов территориальных подсистем на функциональное зонирование градостроительной системы (функциональная модель);
5. моделирование структуры планировочного каркаса территории (структурная модель).

Функциональное моделирование. Описание системы в виде функций и их отношений называется функциональной моделью.

Функциональная модель – самая существенная характеристика системы. Она отражает ее предназначение. Метод функционального моделирования распространен в научном познании и используется как инструмент для анализа взаимосвязей, взаимоотношений между системой и средой. Вся совокупность воздействий делится на 2 класса по признаку направленности действия:

- 1 класс – воздействия со стороны среды – входные воздействия;

- 2 класс – воздействия, которые система оказывает на окружающую среду. Эти воздействия характеризуют результат функционирования системы и называют выходными.

Цель функционального моделирования – исследовать объект моделирования и выявить характер зависимости выходных характеристик системы от входных воздействий. Данный тип моделирования ориентируется на особенности среды (внешние воздействия). Результатом функционального моделирования территории экотуризма является схема функционального зонирования, которая приводит к положительному взаимодействию объекта и внешней среды. Функциональное зонирование – наиболее целесообразное мероприятие по регулированию рекреационной нагрузки путем регламентации использования функциональных зон.

Структурно-функциональный подход дает возможность рассмотреть внешнюю среду территории экотуризма как целостное образование – территориальную систему, всесторонне ее оценить и представить в качестве элемента образования более высокого порядка – градостроительной системы; определить воздействие элементов территориальной системы на структуру и функционирование градостроительной системы. Преобразование воздействий внешней среды осуществляется на основе концепции развития градостроительной системы.

Формирование дерева функций. Дерево функций системы представляет собой декомпозицию ее функций и служит основой формирования системы. Все функции сложной системы могут быть условно разделены на три группы: главная, основная и дополнительная.

Формирование дерева функций системы включает определение главной функции и подчиненных ей множества основных и дополнительных функций.

Функциональная декомпозиция градостроительной системы состоит в иерархическом разделении функций на главную (сохранение природного и культурного наследия) и подчиненные ей основную (рекреационное использование территории) и дополнительную (обслуживание территории).

Определение состава участвующих в моделировании подсистем. На основании функциональной декомпозиции системы в составе внешней среды выделяются взаимосвязанные между собой подсистемы, элементы которых влияют на выполнение функций сохранения (экологическая, эко-культурная) и рекреационного использования (природно-рекреационная) и подсистема, выполняющая обслуживающую функцию (транспортная).

Каркасный подход. Моделирование территориальных подсистем связано с созданием многофакторных структур, которые учитывают пространственную неоднородность объектов территории, вес и значимость каждого элемента, пространственные взаимосвязи между ними.

Одним из методологических подходов в моделировании пространственных территориальных систем является каркасный подход.

Территориальные каркасы имеют сложную пространственную структуру, основными структурными элементами которой являются ареалы (зоны), линии (оси) и локусы. Основные структурные элементы, проявляясь и взаимодействуя на определенной территории, образуют производные пространственные структурные элементы – ядра и узлы территориального каркаса.

Определение влияния производных элементов территориальных подсистем на функциональное зонирование градостроительной системы (функциональная модель). Структурно-функциональный анализ существующих систем позволил выявить, что конфигурация зональных элементов планировочной структуры территории детерминируется производными элементами территориальных каркасов. Ядра и узлы экологического, эко-культурного и природно-рекреационного каркасов являются основой формирования заповедной, особо охраняемой, рекреационной зон и зон обслуживания посетителей и охраны историко-культурных объектов территории экотуризма. Формирование зон должно проходить в последовательности, согласно иерархии функций территории экотуризма.

Структурное моделирование (моделирование структуры планировочного каркаса территории). Охраняемые территории создаются для обеспечения экологического баланса в системах расселения. Планировочная организация охраняемой территории должна обеспечить способность ландшафта устойчиво развиваться, саморегулироваться, самоуправляться, самосовершенствоваться, максимально используя внутренние ресурсы. Ландшафт рассматривается как территориальная система, состоящая из взаимодействующих природных и антропогенных элементов, которые являются важнейшими составляющими планировочной структуры. Устойчивость структуры планировочного каркаса зависит от сохранения и восстановления целостности экологического и эко-культурного каркасов территории.

В результате проведенных исследований, для сохранения целостности экологического и эко-культурного каркасов территории, при моделировании планировочного каркаса должны быть соблюдены следующие требования:

1. Уменьшение размеров планировочных узлов и деконцентрация туристических потоков, по мере приближения к ядру экологического каркаса.

2. Обеспечение экологической проницаемости туристической инфраструктуры для сохранения экологических коридоров миграции животного мира и их местообитаний. Для чего применяются следующие **планировочные мероприятия**:

- строительство транспортной линейной инфраструктуры параллельно или в разных уровнях, относительно экологических коридоров миграции животного и растительного мира;

- проектирование схемы туристических маршрутов, способствующей перераспределению туристического потока на альтернативные входы и дублирующие маршруты, в случае изъятия участков маршрута из туристического использования на период миграции животных, уязвимых периодов их жизнедеятельности и экологической реставрации нарушенных природных территорий.

3. Адаптация ядер и исторических путей коммуникации культурного ландшафта в качестве планировочных центров и осей планировочного каркаса.

4. Восстановление традиционной культурной среды. Для этого применяются следующие **планировочные мероприятия**:

- организация на территории нежилых поселков планировочных узлов туристического каркаса – особого типа поселений, сочетающего традиционную архитектуру и систему природопользования с приемом и обслуживанием туристов;

- проектирование схемы туристических маршрутов, способствующих перераспределению туристического потока, с учетом традиций или верований местного и коренного населения и возможностью закрытия туристических объектов и маршрутов для осуществления ритуальной деятельности.

В результате, для создания условий сохранения экологического равновесия, модель планировочного каркаса территории должна учитывать динамику природных и антропогенных изменений, происходящих под влиянием рекреационной нагрузки, культурных и природных циклов.

Выводы. Методологической основой моделирования функциональной и структурной модели определен структурно-функциональный подход, который позволил выявить пространственные закономерности моделирования устойчивой планировочной структуры территории экотуризма:

1. формирование схемы функциональных зон территории экотуризма зависит от производных элементов территориальных каркасов;

2. формирование планировочного каркаса территории должно быть направлено на сохранение и восстановление структуры экологического и эко-культурного каркасов.

Структурное моделирование должно быть направлено на сохранение связанности туристического пространства при структурном управлении рекреационным воздействием, приводящим к динамическим трансформациям туристического каркаса.

Системный подход состоит из процессов исследования и синтеза. Процедура исследования заключается в выделении объекта моделирования, направленного на получение определенной информации о свойствах объекта. Процедура исследования применяется в том случае, когда объект существует и, задача моделирования сводится к его изучению, то есть описанию его свойств, поведения, структуры, параметров. Исследование существующих систем позволяет сформулировать требования к создаваемой системе. Он включает уточнение состава и законов функционирования элементов, алгоритмов функционирования и взаимовлияния подсистем.

Задачи синтеза состоят в создании описаний проектируемой системы. Для решения задачи синтеза с позиции системного подхода необходимо определить функции системы, разработать структуру и определить параметры системы.

С помощью процедуры синтеза, при моделировании проектируемой градостроительной системы решаются задачи ее целостности и устойчивости, интенсивности градостроительного освоения территории [11–12], установления наилучших версий развития градостроительного образования, центров обслуживания, связующих их элементов. При этом градостроительное моделирование должно базироваться на естественном развитии территориальной системы и стремиться к достижению соответствия социальным условиям и национальному законодательству.

Метод моделирования обеспечивает необходимый синтез знаний о среде обитания человека, поскольку дает возможность привлекать модели из различных наук. Набор соподчиненных моделей позволяет отобразить сложную иерархическую структуру исследуемых объектов. Поэтому, доминирующей тенденцией сегодня является взаимопроникновение различных видов моделирования. Градостроительное моделирование сопряжено с созданием экологических, географических и социальных моделей.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Флейшман Б.С. Элементы теории потенциальной эффективности сложных систем. Смоленск: Ойкумена, 2008. 225 с.
2. Флейшман Б.С. Основы системологии. М: Радио и связь, 1982. 368 с.
3. Блауберг И.В., Юдин Э.Г. Становление и сущность системного подхода. М. Наука, 1973. 270 с.
4. Неуймин Я.Г. Модели в науке и технике. История, теория, и практика. Л., 1984. 189 с.
5. Штофф В.А. О роли модели в познании. Л., 1963. 126 с.
6. Скоринкин А.И. Математическое моделирование биологических процессов. Казань: Казан. ун-т, 2015. 86 с.
7. Глинский Б.А. Моделирование как метод научного исследования. М., 1965. 248 с.
8. Кодрянц И.Г. Философские вопросы математического моделирования. Кишинев, 1978. 97 с.
9. Месарович М, Такахара Я. Общая теория систем: математические основы. М: Мир, 1978. 311 с.
10. Родин А.В. Математика Евклида в свете философии Платона и Аристотеля. М: Наука, 2003. 211 с.
11. Акимкин Е.М. Модели социального участия при принятии градостроительных решений // В сборнике: Социология и общество: глобальные вызовы и региональное развитие. Материалы IV Очередного Всероссийского социологического конгресса: Электронный ресурс. 2012. С. 5273–5289.
12. Юсупова О.В., Мелик-Пашаева И.Б. Эколого-экономическая модель одной градостроительной задачи // В сборнике: Традиции и инновации в строительстве и архитектуре. Материалы 70-й юбилейной Всероссийской научно-технической конференции по итогам НИР 2012 года. Самарский государственный архитектурно-строительный университет. 2013. С. 1
13. Борисенков А.С., Минкина Т.В. Эволюция развития теории систем // В сборнике: Студенческая наука для развития информационного общества. Сборник материалов V Всероссийской научно-технической конференции. 2016. С. 192–194.
14. Овчинникова Н.В., Артёмов О.Ю. Взгляд на управление с позиции системного подхода: история и современное состояние // Вестник РГГУ. Серия: Экономика. Управление. Право. 2013. № 6 (107). С. 9–21.
15. Уразаева Л.Ю., Манюкова Н.В., Мамедли Р.Э. Математическое моделирование миграционных процессов // Математические структуры и моделирование. 2019. № 4 (52). С. 83–92.
16. Галимов И.А., Уразаева Л.Ю. Использование математического моделирования в управлении возобновляемыми источниками энергии // Спутник+, – Москва. 2011. 15 с.
17. Астанин Д.М. Реновация первого соболинского заповедника Российской империи в проектируемый Саянский биосферный резерват как иллюстрация возрождения природно-экономического потенциала российских регионов // ЦИТИСЭ. 2019. № 4 (21). С. 487–499.
18. Астанин Д.М. Влияние транспортного каркаса центральной части Восточного Саяна на формирование охранной и хозяйственной зон планируемого Саянского национального парка (биосферного резервата) // Архитектон: известия вузов. 2019. № 1 (65). С. 13.
19. Астанин Д.М. Влияние природно-рекреационного каркаса центральной части Восточного Саяна на формирование зоны обслуживания туристов и рекреационной зоны проектируемого Саянского национального парка (биосферного резервата) // Архитектон: известия вузов. 2019. № 3 (67). С. 13.
20. Астанин Д.М. Влияние экологического каркаса центральной части Восточного Саяна на формирование особо охраняемой зоны и зоны экологического познавательного туризма проектируемого Саянского национального парка (биосферного резервата) // Архитектон: известия вузов. 2019. № 4 (68). С. 12.
21. Астанин Д.М. Влияние эко-культурного каркаса центральной части Восточного Саяна на формирование зон охраны историко-культурных объектов и традиционного природопользования планируемого Саянского национального парка (биосферного резервата) // Архитектон: известия вузов. 2018. № 4 (64). С. 19.
22. Астанин Д.М. Использование каркасного метода в планировании и функциональном зонировании территорий, благоприятных для организации экотуризма (на примере центральной части Восточного Саяна) // Вестник Московского университета. Серия 5: География. 2017. № 3. С. 51–60.
23. von Bertalanffy K.L. General System Theory: Foundations, Development, Applications, New York: George Braziller, revised edition 1976.
24. von Bertalanffy K.L. The Organismic Psychology and Systems Theory, Heinz Werner lectures, Worcester: Clark University Press. 1968.
25. von Bertalanffy K.L. Perspectives on General Systems Theory. Scientific-Philosophical Studies, E. Taschdjian (eds.), New York: George Braziller, 1975.

26. Lászlo E. The Relevance of General Systems Theory: Papers Presented to Ludwig Von Bertalanffy on His Seventieth Birthday, New York: George Braziller, 1972

27. Weckowicz T.E. Ludwig von Bertalanffy (1901-1972): A Pioneer of General Systems Theory, Center for Systems Research Working Paper No. 89-2. Edmonton AB: University of Alberta, February 1989.

Информация об авторах

Астанин Дмитрий Михайлович, доцент, старший преподаватель. E-mail: montenegro.astanin@mail.ru. Вологодский государственный университет. Россия. 160000, г. Вологда, ул. Ленина, 15. Российский государственный аграрный университет – МСХА им. К. А. Тимирязева». Россия, 127550, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49.

Поступила 20.02.2021 г.

© Астанин Д.М., 2021

Astanin D.M.

Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy

Vologda state University

E-mail: montenegro.astanin@mail.ru

STRUCTURAL AND FUNCTIONAL APPROACH AS A METHODOLOGICAL BASIS FOR MODELING URBAN PLANNING SYSTEM OF ECOTOURISM TERRITORIES

Abstract. *Ecotourism territory is a specially protected natural area, whose function is the development of ecological tourism. The purpose of the development of the ecotourism territory is to preserve the natural and cultural heritage, with the recreational use of the territory. The contradictions that arise between the recreational use of the territory and the preservation of natural and cultural heritage lead to the need to manage the processes of recreational impact on the territory. The tool for solving the problem is a modeling method that provides the necessary synthesis of knowledge about the human environment. The complexity of the urban planning system of the ecotourism territory does not allow making urban planning decisions based on one comprehensive model. The system representation of the modeling object consists of an interconnected consideration of it from functional and morphological (structural) positions. Therefore, the structural and functional approach has become the methodological basis for modeling. It allows determining the main spatial patterns of the formation of a stable planning structure of the ecotourism territory. The structural-functional approach provides consideration of external environment of the ecotourism territory as a holistic formation - a territorial system. It makes possible to comprehensively evaluate and present it as the urban planning system. The functional decomposition of the urban planning system consists in a hierarchical division of functions into the main (preservation of natural and cultural heritage), subordinate main (recreational use of the territory) and additional (servicing visitors and territories). As a result, the sustainability of the planning framework structure depends on the preservation and restoration of the integrity of the ecological and eco-cultural frameworks of the ecotourism territory.*

Keywords: *modeling, urban planning system, structural and functional approach, functional model of the territory, structural model of the territory.*

REFERENCES

1. Fleishman B.S. Elements of the theory of potential efficiency of complex systems [Elementy teorii potencial'noj effektivnosti slozhnyh sistem]. Smolensk: oikumena, 2008. 225 p. (rus)
2. Fleishman B.S. Fundamentals of systemology [Osnovy sistemologii]. Moscow: Radio and communications, 1982, 368 p. (rus)
3. Blaubergh I.V., Yudin E.G. Formation and essence of the system approach [Stanovlenie i sushchnost' sistemnogo podhoda]. Moscow: Science, 1973. 270 p. (rus)
4. Neu'min Ya. Models in science and technology [Modeli v nauke i tekhnike]. L.: History, theory, and practice, 1984. 189 p. (rus)
5. Shtoff V.A. On the role of the model in cognition [O roli modeli v poznanii] L., 1963. 126 p. (rus)
6. Skorinkin A.I. Mathematical modeling of biological processes [Matematicheskoe modelirovanie biologicheskikh processov]. Kazan: Kazan. UN-t, 2015. 86 p. (rus)
7. Glinsky B.A. Modeling as a method of scientific research [Modelirovanie kak metod nauchnogo issledovaniya]. M., 1965. 248 p. (rus)
8. Quadrant I.G. Philosophical issues of mathematical modeling [Filosofskie voprosy matematicheskogo modelirovaniya]. Kishinev, 1978. 97 p. (rus)
9. Mesarovich M., Takahara Ya. General theory of systems: mathematical foundations [Obshchaya

teoriya sistem: matematicheskie osnovy]. M.: World, 1978. 311 p. (rus)

10. Rodin A.V. Mathematics of Euclid in the light of the philosophy of Plato and Aristotle [Matematika Evklida v svete filosofii Platona i Aristotelya]. Moscow: Science, 2003. 211 p. (rus)

11. Akimkin E.M. Models of social participation in urban planning decisions [Modeli social'nogo uchastiya pri prinyatii gradostroitel'nyh reshenij]. In the collection: Sociology and society: global challenges and regional development. Materials of the IV regular all-Russian sociological Congress: electronic resource. 2012. Pp. 5273–5289. (rus)

12. Yusupova O.V., Melik-Pashayeva I.B. Ecological and economic model of one urban development task [Ekologo-ekonomicheskaya model' odnoj gradostroitel'noj zadachi]. In the collection: Traditions and innovations in construction and architecture. Materials of the 70th anniversary all-Russian scientific and technical conference on the results of research in 2012. Samara state University of architecture and civil engineering. 2013. P. 1 (rus)

13. Borisenkov A.S., Minkina T.V. Evolution of system theory development [Evolyuciya razvitiya teorii sistem]. In the collection: Student science for the development of the information society. Collection of materials of the V all-Russian scientific and technical conference. 2016. Pp. 192-194. (rus)

14. Ovchinnikova N.V., Artemov O. Yu. View on management from the perspective of a systematic approach: history and current state. [Vzglyad na upravlenie s pozicii sistemnogo podhoda: istoriya i sovremennoe sostoyanie]. Bulletin of RSUH. Series: Economics. Management. Right, 2013. No. 6 (107). Pp. 9–21. (rus)

15. Urazaeva L.Yu., Manyukova N.V., Mamedli R.E. Mathematical modeling of migration processes [Matematicheskoe modelirovanie migracionnyh processov]. Mathematical structures and modeling, 2019. No. 4 (52). Pp. 83–92. (rus)

16. Galimov I.A., Urazaeva L. Yu. Using mathematical modeling in the management of renewable energy sources [Ispol'zovanie matematicheskogo modelirovaniya v upravlenii vozobnovlyаемymi istochnikami energii]. Moscow. Sputnik+, 2011. 15 p. (rus)

17. Astanin D.M. Renovation the first Sable reserve russian empire in the planned Sayan biosphere reserve as an illustration of the renaissance natural and economic potential russian regions [Renovaciya pervogo sobolinogo zapovednika Rossijskoj imperii v proektiruemyj Sayanskij biosfernyj rezervat kak illyustraciya vozrozhdeniya prirodno-ekonomicheskogo potenciala rossijskih regionov]. CITIZE, 2019. No. 4 (21). Pp. 487–499. (rus)

18. Astanin D.M. The effect of the transport framework in the central part of Eastern Sayans on

the development of protected activity zones in the proposed Sayans national park [Vliyanie transportnogo karkasa central'noj chasti Vostochnogo Sayana na formirovanie ohrannoj i hozhajstvennoj zon planiruемого Sayanskogo nacional'nogo parka (biosfernogo rezervata)] (Biospheric reserve). Architecton: Proceedings of Higher Education, 2019. No. 1 (65). (rus)

19. Astanin D.M. The influence of the natural recreation framework of the Eastern Sayans central park on the formation of the tourist service and recreation zones in the Sayans national park (Biospheric reserve) [Vliyanie prirodno-rekreacionnogo karkasa central'noj chasti Vostochnogo Sayana na formirovanie zony obsluzhivaniya turistov i rekreacionnoj zony proektiruемого Sayanskogo nacional'nogo parka (biosfernogo rezervata)]. Architecton: Proceedings of Higher Education, 2019. No. 3 (67). (rus)

20. Astanin D.M. The influence of the ecological framework of the Eastern sayans central part on the development of a special protection area and educational ecotourism zone in the Sayan national park (Biospheric reserve) being designed [Vliyanie ekologicheskogo karkasa central'noj chasti Vostochnogo Sayana na formirovanie osobo ohranyae-moj zony i zony ekologicheskogo poznavatel'nogo turizma proektiruемого Sayanskogo nacional'nogo parka (biosfernogo rezervata)] [Online] //Architecton: Proceedings of Higher Education, 2019. No 4 (68). (rus)

21. Astanin D.M. The effect of the eco-cultural framework of the Eastern Sayans central part on historical and cultural heritage and land use zoning in the projected Sayan national park (Biospheric reserve) [Vliyanie eko-kul'turnogo karkasa central'noj chasti Vostochnogo Sayana na formirovanie zon ohrany istoriko-kul'turnyh ob'ektov i tradicionnogo prirodopol'zovaniya planiruемого Sayanskogo nacional'nogo parka (biosfernogo rezervata)]. Architecton: Proceedings of Higher Education, 2018. No. 4 (64). (rus)

22. Astanin D.M. Application of the network method in the planning and functional zoning of territories favorable for the organization of ecotourism (case study of the central part of the Eastern Sayan and mountains) [Ispol'zovanie karkasnogo metoda v planirovanii i funkcional'nom zonirovanii territorij, blagopriyatnyh dlya organizacii ekoturizma]. Moscow University Bulletin. Series 5. Geography. Series 5: Geography, 2017. No. 3. Pp. 51–57. (rus)

23. von Bertalanffy K.L. General System Theory: Foundations, Development, Applications, New York: George Braziller, revised edition, 1976.

24. von Bertalanffy K.L. The Organismic Psychology and Systems Theory, Heinz Werner lectures, Worcester: Clark University Press, 1968.

25. von Bertalanffy K.L. Perspectives on General Systems Theory. Scientific-Philosophical Studies, E. Taschdjian (eds.), New York: George Braziller, 1975.

26. László E. The Relevance of General Systems Theory: Papers Presented to Ludwig Von Bertalanffy on His Seventieth Birthday, New York: George Braziller, 1972

27. Weckowicz T.E. Ludwig von Bertalanffy (1901-1972): A Pioneer of General Systems Theory, Center for Systems Research Working Paper No. 89-2. Edmonton AB: University of Alberta, February 1989.

Information about the authors

Astanin, Dmitry M. Associate Professor, Department of Architecture and Urban Planning. E-mail: montenegro.astanin@mail.ru. Vologda State University. Russia. 160000, Vologda, 15 Lenin street. Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy. Russia, Moscow, 127550, Timiryazevskaya st., 49.

Received 20.02.2021

Для цитирования:

Астанин Д.М. Структурно-функциональный подход как методологическая основа моделирования градостроительной системы территории экологического туризма // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2021. № 9. С. 64–73. DOI: 10.34031/2071-7318-2021-6-9-64-73

For citation:

Astanin D.M. Structural and functional approach as a methodological basis for modeling urban planning system of ecotourism territories. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2021. No. 9. Pp. 64–73. DOI: 10.34031/2071-7318-2021-6-9-64-73

DOI: 10.34031/2071-7318-2021-6-9-74-86

***Ставцев Е.А., Колесникова Т.Н.**

Орловский государственный университет им. И.С. Тургенева

*E-mail: evgeniystavtsev@mail.ru

КУЛЬТУРНО-КОММУНИКАЦИОННЫЕ ЦЕНТРЫ НА ТЕРРИТОРИИ БЫВШИХ ПРОМЫШЛЕННЫХ ОБЪЕКТОВ КАК ДРАЙВЕР РАЗВИТИЯ ГОРОДСКОЙ СРЕДЫ

Аннотация. В статье раскрыта значимость культурно-коммуникационных центров в развитии современной городской среды, очерчена их связь с существующими моделями городского развития. Рассмотрены предпосылки и причины возникновения творческих кластеров на территории промышленных объектов, утративших свою первоначальную функцию. Автором дано определение понятию «культурно-коммуникационный центр». Описаны несколько успешных отечественных примеров создания подобных центров на месте бывших или нерационально используемых производственных объектов. Также выделены наиболее важные, по мнению автора, зарубежные проекты креативных пространств. Основываясь, в том числе на отечественном и мировом опыте, выявлены характерные для культурно-коммуникационных центров черты реновации. Описан экспериментальный проект культурно-коммуникационного центра в г. Орле на территории бывшей производственной зоны «ОРЛ-ЭКС», разработанный автором. Представлен предпроектный анализ этой территории, учитывающий наиболее существенные для процесса реновации характеристики. Сделаны выводы о том, что реновация промышленных территорий путем приспособления их под культурно-коммуникационные центры не только повышает эффективность использования городской территории, улучшает ее архитектурный облик, способствует развитию малого и среднего бизнеса, стимулирует активность творческих сообществ, но и играет важную роль в формировании культурной идентичности города.

Ключевые слова: культурно-коммуникационный центр, креативный кластер, модель городского развития, реновация промышленных территорий, культура, городская среда.

Введение. На сегодняшний день научным сообществом выработано множество разнообразных современных моделей городского развития (модели сервисного, комфортного (ориентированного на удобства), компактного, «зеленого», обучающегося, креативного, «умного», социального города и др. [1]). При этом ведущими городами мира накоплен большой опыт в апробации этих моделей. Так, на основе этого опыта можно выделить две наиболее приоритетные и перспективные модели развития: модель креативного города и модель компактного города.

Создатель концепции креативного города Ч. Лоудри пишет, что его модель устойчивого городского развития фокусируется на потенциале креативности и культурных индустрий [2]. С его точки зрения, стратегия развития, направленная на поддержку креативного класса и их проектов в сфере науки, бизнеса и культуры, повышает привлекательность и конкурентоспособность города, что в свою очередь приводит к притоку средств и инвесторов. Это на собственном опыте доказывают многие европейские города. Например, креативные индустрии Лондона уже опережают финансовый сектор: архитектура, IT, реклама и издательское дело составляют 16,3 % от общего числа рабочих мест. В Осло последние несколько лет государство активно спонсирует развитие культурных кластеров, динамичными темпами идет строительство новых музеев как

важных общественных центров и драйверов развития региона [3]. Таким образом, креативные пространства формируют целостную экосистему, где все формы креативности – художественное творчество и культура, технология и экономика – могут взаимовыгодно развиваться.

Модель креативного города выделяет отсутствие универсального подхода к его развитию. В этой концепции важно само стремление в сторону стимулирования креативного класса, активизации и раскрытия творческого потенциала. Например, за счет предоставления ему новых территорий, поскольку для полноценного развития творческим людям и проектам необходимы собственные современные площадки и пространства. Именно эта потребность и ведет к преобразованию архитектурного облика города, как правило, благодаря освоению нерационально используемых промышленных объектов и возникновению на их месте культурно-коммуникационных центров.

Данная тенденция определила цель исследования, заключающуюся в выявлении архитектурно-градостроительного потенциала культурно-коммуникационных центров, созданных на территории бывших промышленных объектов.

В соответствии с целью исследования поставлены следующие задачи:

1. Рассмотреть предпосылки и причины возникновения культурных центров на территории промышленных объектов.

2. Раскрыть понятие термина «культурно-коммуникационный центр».

3. На основе анализа отечественного и зарубежного опыта выявить характерные для культурно-коммуникационных центров черты реновации.

4. Посредством экспериментального проектирования продемонстрировать архитектурно-градостроительный потенциал культурно-коммуникационных центров и выделить ключевые для развития городской среды подходы к реновации бывших промышленных объектов.

Методы. Исследование базируется на комплексном изучении процесса редевелопмента промышленных объектов и включает анализ отечественного и зарубежного опыта редевелопмента, связанного с приспособлением производственных объектов под нужды креативных индустрий. Редевелопмент – это наиболее эффективный способ оживления утративших свое значение объектов, предусматривающий комплекс действий в различных сферах: финансовой, экономической, градостроительной, социальной, производственной и др. В рамках исследования проведены натурные обследования промышленной территории, производственных зданий и сооружений в г. Орле. На основе обследований, а также изучения научной литературы по теме исследования проведен предпроектный анализ потенциальной для развития территории. Синтез полученных данных представлен в экспериментальном проекте реновации производственной зоны в г. Орле.

Основная часть. Культурно-коммуникационный центр – это многофункциональный комплекс, объединенный одним общественным пространством или их сетью, развивающий и реализующий потенциал самых разных социальных групп; это новая градостроительная единица с единой инфраструктурой, которая обеспечивает возможность проведения образовательных и культурных мероприятий, презентаций деятельности городских сообществ; создает площадки для обсуждения и решения совместно с жителями городских проблем, площадки для налаживания отношения между предпринимателями, деятелями культуры и представителями власти. Деятельность резидентов культурно-коммуникационного центра должна способствовать созданию новых связей, формированию общих ценностей горожанина, культурных кодов и проявлению местной идентичности, изменению репутации города и места.

Неразрывная связь промышленных объектов с современными культурными центрами обусловлена тем, что в настоящее время в городах отсутствуют свободные незастроенные территории, поэтому наиболее перспективными для освоения являются бывшие производственные зоны – один из последних территориальных ресурсов города. Также такой связи способствуют прочность и долговечность несущих конструкций промышленных зданий, благоприятные для размещения новой функции объемно-пространственные характеристики бывших заводов и фабрик: свободная планировка и хорошая освещенность. Кроме того, как показывают исследования [3], капитальные вложения в реконструкцию промышленных объектов при смене их функционального назначения ниже инвестиций в строительство новых объектов на 15–29 %.

Наряду с этими факторами привлекательность заброшенных промышленных объектов для деятелей культуры объясняется тем, что здания старых цехов, складов, административных корпусов заводов и фабрик, которые сами по себе могут не иметь архитектурной ценности или особых выделяющихся черт, в ансамбле формируют уникальное в своем роде пространство. Именно это пространство сегодня важно для сохранения современным городом своей идентичности. Историческая промышленная застройка не всегда визуально привлекательна, но часто ценна для местного сообщества.

Современный город, сохраняющий черты своей культурной идентичности, имеет наибольшие шансы стать привлекательным местом для жизни человека. Присутствие плотного исторического физического каркаса становится фундаментом здорового общества, которое способно создавать новые идеи и культуру. На фоне проблем, связанных с глобализацией, поиск идентичности для многих народов стал национальной идеей, а ее проявление – ключевой задачей архитектора.

На сегодняшний день большинство окончательно сформировавшихся еще в прошлом веке производственных зон оказались в «срединной» части городов – между центром и периферией. Лишившись первоначальных функций, предприятия утратили былое значение в жизни города. Их территории все чаще становятся зонами отчуждения, оказавшись исключенными из современных экономических и культурных процессов. Тем самым нерационально используемые объекты создают препятствия и затруднения в структуре транзитных связей, нарушая городской транспортно-коммуникационный каркас; формируют источники социальной напряженности, как

на самих территориях, так и в прилегающих районах; ограничивают визуальное восприятие территории; портят архитектурно-художественный облик города; отрицательно воздействуют на экологию. В силу этих причин данные объекты и прилегающие к ним области не получают нового развития. Но опыт показывает, что реновация промышленных территорий под культурные центры в будущем позволяет создать благоприятную социально-экономическую атмосферу как внутри, так и вокруг объекта.

Поскольку функциональная насыщенность центра зависит от уровня комфорта городской среды и функциональных дефицитов окружающих районов, то в зависимости от запросов культурно-коммуникационный центр может объединять в себе широкий спектр функций: лекционные и выставочные залы, кафе, рестораны, офисы креативных индустрий, концертные площадки, театры, мастерские, различные студии, коворкинги, шоу-румы и т.д. При этом с точки зрения объемно-пространственной организации культурно-коммуникационный центр может быть сформирован не только на территории комплекса производственных объектов, но и в единичном производственном здании или сооружении. Можно выделить два сценария развития: многофункциональный, где есть базовая функция (чаще всего образовательная и музейно-выставочная) и несколько сопутствующих, и многофункциональный с несколькими основными видами использования, ни один из которых не является ярко выраженным. Из этого следует, что культурно-коммуникационный центр – сложная архитектурная типология, на сегодняшний день до конца не сформированная, но постоянно реагирующая на меняющиеся потребности общества. Главной типологической особенностью данного вида комплексов является наличие единого коммуникативного пространства – места пересечения и объединения разных городских сообществ – как основы его функционально-планировочной структуры.

Подобная многофункциональная концепция развития промышленных территорий находит отражение в модели компактного города, в основе которой лежит идея локального удовлетворения большинства потребностей жителей (в рамках района своего проживания) и принцип «шаговой доступности». Использование данной модели позволяет замедлить необоснованное разрастание городов, уменьшить расходы на обслуживание транспортной системы и всей общегородской инфраструктуры. Способствуя снижению количества внутригородских поездок, модель компактного города обеспечивает его устойчивое

развитие и улучшение экологической обстановки [4–11].

Таким образом, создание сети культурно-коммуникационных центров способствует запуску процесса полицентричного развития, необходимого городу для начала формирования локальных городских центров, конкурентоспособных по отношению к исторически сложившемуся ядру, и предотвращения деградации периферийных районов, геттоизации жилой застройки и маятниковой миграции.

Такая сеть культурных центров уже на протяжении 20 лет формируется в Москве. ARTPLAY, «Винзавод» и «Флакон» – наиболее известные и успешные проекты реновации.

ARTPLAY – центр дизайна в здании завода «Манометр», один из первопроходцев и жителей среди креативных кластеров Москвы. Первый ARTPLAY на Миусской площади был шоу-румом дизайнерской мебели и площадкой для модных событий: выставки, лекции. Но этого пространства вскоре стало не хватать и в 2004 г. владельцы арендовали и начали осваивать заброшенный склад и фабричный корпус текстильной фабрики «Красная Роза». Фактически ARTPLAY стал кооперативом единомышленников, возрождавших фабрику своими руками. Первые субарендаторы – архитектурные бюро, галереи и дизайн-студии – получили льготную аренду на условиях ремонта своих помещений. Следующая волна платила больше, но приходила в обжитое и модное пространство. В 2007 г. ARTPLAY лишился своего места на «Красной Розе», но спустя год открылся на бывшем заводе «Манометр» по той же схеме: минимальные вложения в переустройство и приглашение ярких якорных арендаторов на льготных условиях. К архитектуре, дизайну, искусству добавилось образование – Британская высшая школа дизайна, архитектурная школа МАРШ, Киношкола. Их студенты наполняют жизнью кафе, рестораны и бесконечные маркеты.

Дизайн-завод «Флакон» возник на территории бывшего хрустально-стеклянного завода, выстроенного за пределами исторической границы Москвы – Камер-Коллежского вала. История завода началась в 1841 г. и была связана с парфюмерным производством небольшой косметической фабрики «А. Ралле и Ко». Изначальная функция хрустально-стеклянного завода – производство парфюмерной посуды – впоследствии дополнилась выпуском лампад, аптекарского, строительного, промышленного стекла. Приспособление под «дизайн-завод» началось в 2009 г. и осуществлялось минимальными средствами, нередко с участием арендаторов. Благодаря грамотной концепции функционального зонирования и

эффективной реконструкции значительно увеличилась полезная площадь зданий и общественных пространств. Территория завода сегодня доступна и связана с окружающими улицами. Многие здания имеют входы как с внешней, так и с внутренней стороны. «Флакон» стал местом концентрации небольших «креативных» магазинов, кафе, офисов, мастерских и студий; платформой для развития молодых проектов, самовыражения творческих личностей и реализации социокультурных инициатив. Повседневная жизнь резидентов завода сочетается с насыщенной событийной программой, привлекающей постоянный поток посетителей.

Центр современного искусства «Винзавод» – одно из первых частных арт-пространств, зародившееся на месте старейшего московского комбината виноградных и десертных вин. Основные арендаторы площадки – галереи. Помимо них, бывшие цеха винодельческого комбината объединяют в себе художественные студии и мастерские, шоу-румы, культурно-образовательные центры, лекционные залы, кафе, бары и магазины. Устроенный по принципу креативного кластера, центр современного искусства "Винзавод" стремится развивать и поддерживать талантливых художников, накапливая на своей территории лучшие творческие ресурсы города и создавая принципиально новую, привлекательную не только для креативного класса среду. При реконструкции цехов основатели арт-пространства пошли по пути минимального приспособления, не прибегая к большим архитектурным вмешательствам и сохранив все уцелевшие детали и постройки разных периодов жизни комбината.

Таким образом, «Винзавод», безусловно, стал показательным примером реновации, положившим начало созданию новых частных арт-площадок по всей стране: музея стрит-арта и «Новой Голландии» в Санкт-Петербурге, «Текстиля» в Ярославле, «Зари» во Владивостоке, «Смены» в Казани, «Октавы» в Туле, «Макаронки» в Ростове-на-Дону и многих других [3].

Исследование индустриального наследия, как и использование современных моделей городского развития, началось в Европе и Америке гораздо раньше, чем в России. В связи с этим на Западе был накоплен большой опыт в создании креативных кластеров, из которого можно выделить несколько самых значимых проектов реновации: Культурный центр Kulturbrauerei в Берлине, Культурный центр 77 C&C PARK в Пекине, CABLE FACTORY в Хельсинки, MELKWEG и DE Hallen в Амстердаме, LX FACTORY в Лиссабоне, TEA FACTORY и «Старая пивоварня Трумана» в Лондоне, ZOLLVEREIN в Эссене, SUPERSTUDIO в Милане. Все эти зарубежные и

отечественные примеры реновации объединяет одно – они смогли стать центром притяжения и аккумулировать творческие сообщества в своих городах, обеспечив, таким образом, социально-экономический рост и прилегающим территориям [4-6, 12-14].

Анализируя вышеуказанные примеры, можно выявить некоторые характеристики, свойственные процессу реновации под культурно-коммуникационный центр:

1. все типы промышленных объектов [5] участвуют в проектах реновации;

2. самое популярное используемое направление реновации – приспособление (наиболее деликатный подход к объектам промышленного наследия, не предполагающий больших инвестиций и активных архитектурных вмешательств);

3. рациональные архитектурные решения, которые с помощью различных композиционных и архитектурно-художественных приёмов лишь подчеркивают и акцентируют внимание на исторической промышленной застройке в новом сложившемся ансамбле. В результате чего объекты получают запоминающийся и легко идентифицируемый образ. Такой подход основан на осознании ценности промышленной архитектуры и сохранении ее аутентичности.

Экспериментальный проект. Концепция реновации производственной зоны «ОРЛЭКС» в г. Орле. Концепция реновации производственной зоны «ОРЛЭКС» заключается в создании на территории бывшего завода по производству приборов кондиционирования воздуха и газового анализа культурно-коммуникационного центра с целью интеграции ранее изолированного участка в существующий городской каркас.

Концепция преобразования завода ОРЛЭКС основана на архитектурно-планировочном принципе открытости и коммуникативности пространства с формированием на базе промышленного образования – культурно-коммуникационного центра с множеством рекреационных зон, включающего спортивно-оздоровительный, выставочный, офисный и другие виды объектов. По результатам предпроектного анализа (табл. 1) производственной зоны можно сделать выводы о высокой транспортной и пешеходной доступности территории. Реновируемый участок находится на границе срединной и центральной части города и имеет средний уровень тяготения к зонам социальной активности. Относительная близость территории к центральным рекреационным пространствам – парку культуры и отдыха, бульвару «Победы» – в перспективе позволит ей легко встроиться в городскую сеть и стать частью «зеленого» каркаса города. Участок проектирования окружен преимущественно многоэтажной

жилой застройкой, за исключением сквера «Орлята», расположившегося неподалеку и неспособного, ввиду отсутствия внутри него активностей и каких-либо точек притяжения, удовлетворить потребность местных жителей в рекреационных пространствах.

В настоящее время часть реконструируемой территории заброшена, другая бесконтрольно сдается в аренду различным организациям.

Таблица 1

Предпроектный анализ территории производственной зоны «ОРЛЭКС»

Местоположение	Советский район, срединная зона	
Размер территории	11,8 га	
Функциональное назначение в соответствии с ген. планом	Зона производственно-деловых объектов; Зона делового, общественного и коммерческого назначения	
Существующее использование	Склады, бизнес-центры, офисы, торговля, предприятия общественного питания, лечебное учреждение	
Историко-культурное значение и знаковые объекты	Историческую и архитектурно-художественную ценность имеют здание корпуса №6 и площадь с фонтаном и часами перед проходной; Памятник в честь воинов и тружеников тыла (А.П.Усоченко, 1968 г.)	
Проницаемость территории	Низкая	
Пешеходная доступность	Высокая	
Доступность общественного транспорта	В непосредственной близости находятся остановки общественного транспорта; Развитая сеть общественного транспорта	
Тяготение к зонам активности	Средний уровень социальной активности	
Тип производственной зоны	С относительно высоким потенциалом интеграции в городскую среду	
Уровень комфорта окружающей городской среды	Функциональная насыщенность	Жилая и общественно-деловая застройка, дворец спорта, сквер
	Дефицитные функции	Досуговая, культурно-развлекательная

Концепция развития производственной зоны «ОРЛЭКС» по проекту предполагает большой перечень преобразований:

- Реставрация и реконструкция корпуса №4 и инженерного корпуса с сохранением прежней офисной функции.

- Реставрация здания музея завода «ОРЛЭКС» и восстановление его экспозиции.

- Реставрация и реконструкция здания бывшего цеха, прилегающего к бизнес-центру «Модус», под офисы со стрит-ритейлом на первом этаже.

- Реставрация и реконструкция здания СКБ с сохранением прежней офисной функции и размещением ресторана на полуподвальном этаже.

- Реставрация двух соседних корпусов №1, №2 и размещение в них офисов креативных индустрий.

- Реставрация и реконструкция здания мастерской под административный пункт управления территорией культурно-коммуникационного центра.

- Приспособление бывших ангаров под предприятия общественного питания, экосупермаркет, теплицы и спортивно-игровой комплекс.

- Реставрация и реконструкция корпуса №6 с примыкающим к нему зданием бывшей проходной (ныне ТЦ «Утес») под многофункциональный выставочный комплекс и кафе с информационным центром соответственно.

- Создание на территории центра рекреационных пространств, детской и спортивной площадки, общественных огородов, центральной площади для проведения мероприятий с амфитеатром.

- Возведение на центральной площади двух павильонов: павильон для проведения мероприятий со встроенной сценой, обращенной к амфитеатру; павильон-читальня с кафетерием.

Таким образом, реновация территории завода под культурно-коммуникационный центр строится на архитектурно-планировочных принципах многофункциональности пространства.

Основываясь на принципе доступности и проницаемости, ранее закрытая за кирпичными оградами территория завода становится открытой для пешеходов и велосипедистов. Прежде разорванные участки района теперь связаны сетью внутренних улиц и дорожек. Таким образом,

со всех прилегающих улиц на территорию культурно-коммуникационного центра обеспечен

легкий доступ как для работников, так и для его посетителей (рис. 1).

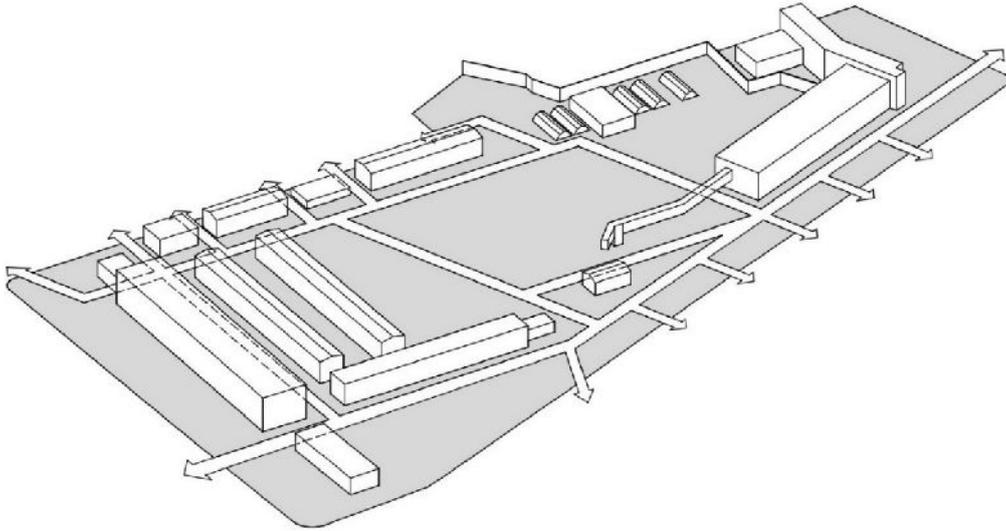


Рис. 1. Прокладка улично-дорожной сети культурно-коммуникационного центра

Главный вход на территорию по-прежнему организован через здание проходной, первый этаж которой прорезается проходом насквозь, открывая вид на центральную улицу бывшего предприятия. На сквозной проход сориентированы входы в кафе и информационный центр.

Территорию культурно-коммуникационного центра можно разделить на несколько основных зон: входная зона, внутренние дворы, мемориальный сквер, офисные зоны отдыха, зона тихого отдыха с бассейном, фестивальная площадь, поляна, детская площадка, зона общественных огородов, прогулочная зона, зона активного отдыха, паркинг (рис. 2).



Рис. 2. Генеральный план территории культурно-коммуникационного центра ОРЛЭКС

В благоустройстве центра используется доминирующая на большей части территории белая палитра. Все корпуса завода изначально были белого цвета. На фоне белых фасадов выделялись

черные оконные блоки, а большая часть озеленения территории была представлена березами. На основании этого белый и черный цвета стали базовыми в концепции, а береза выбрана символом

места. Таким образом, благоустройство должно стать одним из главных элементов, формирующих идентичность пространства и способствующих качественному развитию территории.

Одним из главных составляющих концепции развития является обновление фасадов зданий бывшего завода. Все реконструируемые и реставрируемые в процессе реновации объекты, как уже было сказано, объединяет белый цвет фаса-

дов и черные оконные блоки. Такими корпуса завода изначально задумывались архитекторами. И только недавно – после закрытия производства и передачи строений невежественным арендаторам – фасады претерпели изменения и потеряли исторический облик. Поэтому всем корпусам согласно концепции реновации, планируется вернуть прежний вид, но с незначительными изменениями (рис. 3).



Рис. 3. Вид на один из обновленных корпусов бывшего завода

Визитной карточкой культурно-коммуникационного центра должна стать площадь перед центральной проходной бывшего завода с выходящей на нее аллеей. В прошлом они являлись знаковыми точками района, были местом прогулок и отдыха горожан. Но в настоящее время бассейн с фонтаном был осушен, а на площади организована автомобильная парковка. Поэтому проектом реновации предусматривается восстановление прежнего облика площади, в том числе: реставрация уникальных часов, замена покрытий и устройство дополнительных мест отдыха. По проекту бассейн с фонтаном станет неким «оазисом» в центре площади (рис. 4).

Также в основе концепции развития бывшего завода лежит, построенная на принципах ресурсосбережения, идея ресайклинга – переработки того, что осталось от промышленного прошлого территории: ненужные строения разбираются, оставшиеся от них материалы идут на отделку и другие строительные нужды, а любые найденные деревянные или металлические конструкции превращаются в уличную мебель и эле-

менты декора. Поэтому характерная черта концепции – максимальное использование ресурсов территории.

Одной из главных задач проекта является сохранение и восстановление народного музея завода «ОРЛЭКС», который в настоящее время подвергся безобразной, непрофессиональной реконструкции и был перепрофилирован в торговый центр. В первоначальном виде архитектура музея хорошо вписывается в принятую концепцию развития территории. До недавнего времени народный музей ЗАО «ОРЛЭКС» оставался единственным сохранившимся и официально действующим производственным музеем в городе. Ранее, в советские годы, подобные музеи функционировали практически на каждом предприятии, именуясь музеями «Боевой и трудовой славы». Но сегодня они стали никому не нужны. Небольшие заводские музеи часто лишены посетителей и заработка. В связи с таким положением сокращается выставочная площадь и экспозиция музеев, в конечном итоге утрачиваются целые пласты информации и ценные экспонаты. Исходя из этого, проектом принято восстановить не только здание, но и экспозицию музея, наполнить

ее экспонатами с других предприятий и создать на его базе музей промышленности города Орла,

где можно будет наглядно проследить весь исторический процесс развития техники и научно-технического знания в регионе [6, 15, 16].



Рис. 4. Площадь перед бывшей центральной проходной завода

На стадии натурного обследования территории завода было выявлено несколько знаковых объектов, представляющих историко-культурную ценность (табл. 1). Один из них – здание корпуса №6 – образец архитектуры советского модернизма, неплохо сохранившийся до наших дней. В связи с этим в проекте ему было уделено особое внимание.

Основные особенности здания:

- железобетонный каркас и наружные стены из ж/б панелей;
- ленточное остекление основной плоскости фасада и сплошное остекление лестнично-лифтовых блоков, окна в торцевых стенах выполнены из стеклоблоков;
- ясные очертания и компактная форма здания;
- белый цвет фасада основного объема здания;
- спокойный ритм вертикалей и горизонталей, соразмерность масштабов;
- членение объема здания выступающими блоками вертикальных связей.

В то же время внутренний фасад корпуса, не просматривающийся с прилегающих улиц, находится в намного более плачевном состоянии и на сегодняшний день не представляет какой-либо ценности. По проекту реновации он подвержен реконструкции. Все характерные черты и особен-

ности прежнего архитектурного решения сохраняются, так как при работе с фасадом корпуса используется композиционный прием локального включения новых архитектурных элементов (рис. 5):

- пристройка к четырем лестнично-лифтовым блокам полукруглого объема с открытыми площадками, являющимися частью новых встраиваемых лестничных клеток;
- установка балконов на каждом этаже здания;
- организация новых входных групп.

Новые детали и элементы здания его лишь деликатно «омолаживают» и создают еще большую визуальную привлекательность.

Прежде чем подобрать для здания оптимальную новую функцию была детально изучена его планировочная структура и конструктивные характеристики. В нашем случае объект состоит из трех частей. Визуальным разделителем между ними выступают и задают композиционный ритм блоки вертикальных связей, в которых сосредоточены эвакуационные лестницы для каждой части здания. Подобная структура организации пространства соотносится с идеей создания в бывшем корпусе завода многофункционального выставочного комплекса. Такая рефункционализация видится наиболее перспективной и соответствует принципам сохранения исторического производственного наследия.



Рис. 5. Фрагмент внутреннего фасада многофункционального выставочного комплекса

Комплекс можно разделить на три блока с разными функциональными программами (рис. 6):

- образовательный;
- экспозиционно-фестивальный;
- музейное хранилище.

Музейное хранилище располагается на первом этаже в отдаленной от центральной проходной части комплекса. Здесь организован отдельный вход для сотрудников и располагаются комната экскурсоводов, комната отдыха персонала, реставрационная мастерская, декоративно-оформительская мастерская, кладовая материалов и оборудования, санузел, помещение для приема и обработки экспонатов, обслуживающее выставочный зал с постоянной экспозицией и оснащенное лифтом грузоподъемностью 5 т. Такой лифт необходим для доставки экспонатов на верхние этажи выставочного комплекса. Административные помещения располагаются над служебными помещениями первого этажа и связаны с ними посредством лифта и лестничной клетки.

Первые этажи образовательного и экспозиционно-фестивального блоков имеют одинаковую конфигурацию и включают в себя служебную зону и зону для посетителей с гардеробом и санузлами.

Зона для посетителей начинается с большого вестибюля. В экспозиционно-фестивальном блоке он напрямую связан с выставочным залом для постоянной экспозиции, посвященной истории развития орловской промышленности.

В образовательном блоке благодаря высоте этажей и конструктивным особенностям здания

создано сложное многоуровневое пространство. Посетителям будет также интересно его изучать, как и всю выставочную экспозицию.

В состав помещений образовательного блока входят кинолекционные залы, санузлы, помещение хранения уборочного инвентаря, комната персонала по обслуживанию и ремонту, служебное помещение, мастерские/лаборатории, кафе, книжный магазин, читательский зал, детская образовательная мастерская, игровая зона, коворкинги, выставочные залы/студии.

Важной частью образовательного кластера является пространство в виде амфитеатра, организованное между лестницами, ведущими на третий этаж. На противоположной к нему стене планируется устраивать кинопоказы. В образовательном блоке создан максимум разнообразных активностей.

Второй антресольный этаж комплекса связывает образовательный и экспозиционно-фестивальный блоки. На нем располагаются два небольших кафе и книжный магазин с местами отдыха для посетителей.

Выставочное пространство сосредоточено на втором и третьем этажах комплекса и имеют свободную планировку с выделенной зоной для постоянной экспозиции.

Из образовательного и экспозиционно-фестивального блока организован подъем на кровлю. Крыша может стать медийной площадкой и необычной точкой восприятия, с которой можно созерцать жизнь города.

Представленная концепция создания на территории бывшего промышленного объекта куль-

турно-коммуникационного центра демонстрирует насколько функционально гибким может быть сценарий развития производственной территории, и какой огромный потенциал скрыт

даже в самых неприглядных с точки зрения архитектуры и удаленных от зон социальной активности объектах.

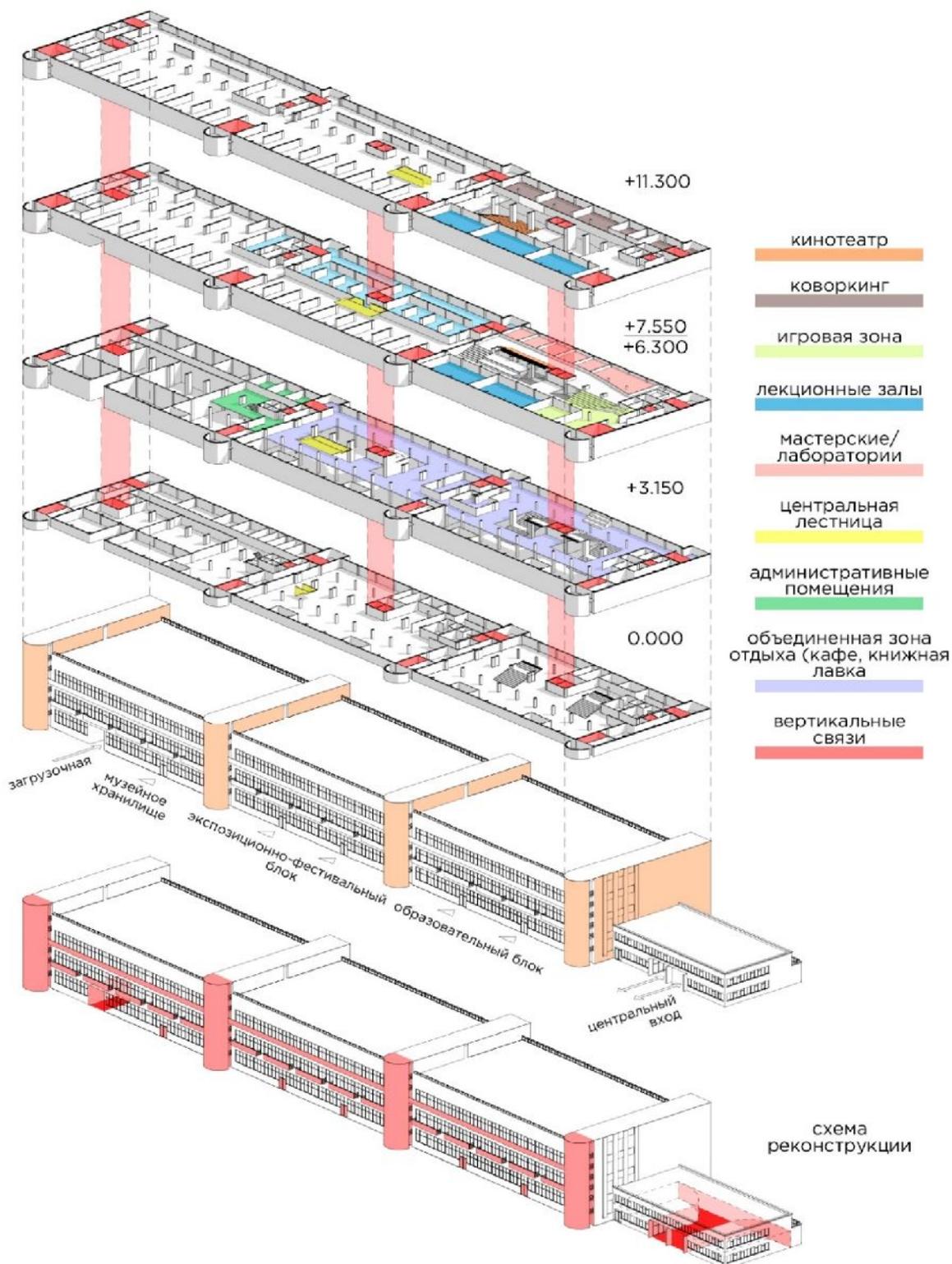


Рис. 6. Схема реконструкции корпуса № 6 под многофункциональный выставочный комплекс

Выводы.

1. Создание культурно-коммуникационных центров на территории бывших промышленных объектов – в настоящий момент наиболее яркий

пример перехода от индустриальной эры к интеллектуально-цифровой. Это пример переосмысления промышленного наследия, в том числе его

архитектурной составляющей. В результате реализации подобных проектов реновации растёт культурная активность жителей города, развивается сеть социальных взаимодействий, усиливаются позиции сложившихся творческих центров и рождаются новые культурные явления.

2. Стимулирование креативной и культурной индустрий важно для устойчивого городского развития. Таким образом, процесс репрофилирования бывших промышленных объектов в культурно-коммуникационные центры встраивается в самые перспективные современные модели городского развития.

3. Экспериментальный проект реновации промышленной территории «ОРЛЭКС» даёт представление о том, каким сегодня существенным ресурсом, востребованным и необходимым для формирования новых многофункциональных, общественных пространств и размещения социально значимых объектов, является производственная территория.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Фролов Д.П., Соловьева И.А. Современные модели городского развития: от противопоставления – к комбинированию // *Пространственная экономика*. 2016. № 3. С. 151–171.
2. Флорида Р. Креативный класс: люди, которые меняют будущее. М.: Изд. дом «Классика-XXI», 2007. 421 с.
3. Исследование «Москва RE: промышленная. Типология производственных территорий и лучшие практики редевелопмента» [Электронный ресурс]. URL: <https://www.center-agency.org/ru/projects/63> (дата обращения: 8.01.2021).
4. Compact City Policies: A Comparative Assessment. OECD Green Growth Studies. OECD, 2012. 284 p.
5. Чайко Д.С. Современные направления интеграции исторических производственных объектов в городскую среду: диссертация ... кандидата архитектуры: 18.00.02/ Д.С. Чайко. М.: МАРХИ, 2007.
6. Кривич Н.А., коллектив авторов. Культурологическая экспертиза: теоретические модели и практический опыт. Санкт-Петербург: Астерион, 2011. 115 с.
7. Лисина Т.С., Гнутова И.И. Реновация как способ адаптации объектов индустриального наследия в структуре современного города // *Научное обозрение. Педагогические науки*. 2019. № 2-4. С. 59–62. URL: <https://science-pedagogy.ru/ru/article/view?id=2037> (дата обращения: 12.01.2021)
8. Труханов С. Универсальная методика оценки объектов редевелопмента // *Проект Россия*. 2017. № 86. 334 с.
9. Яковлев А.А. Архитектурная адаптация индустриального наследия к новой функции: диссертация ... кандидата архитектуры: 05.23.21/ А.А. Яковлев. Н.Новгород: Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет, 2014.
10. Евстигнеева А. Промнаследие: хранители и создатели [Электронный ресурс]. URL: <http://redeveloper.ru/articles/promnasledie-khraniteli-i-sozdateli.htm> (дата обращения: 8.01.2021).
11. Чадович А.А. Сохранение или снос? Компромисс! // *Московский архитектурный институт (государственная академия)*. 2013. № 1(22). С. 13.
12. Шишалова Ю. Тест на пригодность. Оценка архитектурно-градостроительного потенциала сохранения объекта // *Проект Россия*. 2017. № 86. С. 98–110.
13. Цепилова О.П. Анализ опыта повторной адаптации промышленной архитектуры // *Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова*. 2020. № 12. С. 74–90.
14. Попов А.В., Демидова Е.В. Архитектурно-пространственная адаптация промышленной территории ЦХП ВИЗа в Екатеринбурге // *Академический вестник УралНИИпроект РААСН*. 2014. №1. С. 49–54.
15. Запарий В.В. «Индустриальное наследие» и его современное толкование // *Академический вестник УралНИИпроект РААСН*. 2009. № 1. С. 34–37.
16. Развитие комьюнити-центров – шанс на новую жизнь для забытых памятников архитектуры [Электронный ресурс]. URL: <http://www.re-developer.ru/articles/razvitie-komyuniti-tsentrov-shans-na-novuyu-zhizn-dlya-zabytykh-pamyatnikov-arkhitektury.htm>. (дата обращения: 10.01.2021).

Информация об авторах

Ставцев Евгений Александрович, аспирант кафедры архитектуры. E-mail: evgeniystavtsev@mail.ru. Орловский государственный университет им. И.С. Тургенева. Россия, 302026, Орёл, ул. Комсомольская, д. 95.

Колесникова Татьяна Николаевна, доктор архитектуры, доцент, заведующий кафедрой архитектуры. E-mail: kolenskikovo@yandex.ru. Орловский государственный университет им. И.С. Тургенева. Россия, 302026, Орёл, ул. Комсомольская, д. 95.

Поступила 16.02.2021 г.

© Ставцев Е.А., Колесникова Т.Н., 2021

***Stavtsev E.A., Kolesnikova T.N.**
Orel State University named after I.S. Turgenev
**E-mail: evgeniystavtsev@mail.ru*

CULTURE AND COMMUNICATION CENTRES AT THE FORMER PRODUCTION FACILITIES AS A DRIVER OF THE URBAN DEVELOPMENT

Abstract. *The article reveals the importance of cultural and communication centers in the development of the modern urban environment, outlines their relationship with the existing models of urban development. The prerequisites and reasons for the emergence of creative clusters on the territory of industrial facilities that have lost their original function are considered. The author defines the concept of "cultural and communication center". Several successful domestic examples of the creation of such centers on the site of former or irrationally used production facilities are described. The most important, in the author's opinion, foreign projects of creative spaces are highlighted. Based on domestic and world experience, the features of renovation characteristic of cultural and communication centers have been identified. Developed by the author an experimental project of a cultural and communication center in the city of Oryol on the territory of the former industrial zone "ORLEKS" is described. A pre-design analysis of this territory is presented, taking into account the characteristics that are most essential for the renovation process. It is concluded that the renovation of industrial territories by adapting them to cultural and communication centers increases the efficiency of using the urban area and improves its architectural appearance, promotes the development of small and medium-sized businesses, stimulates the activity of creative communities. In addition, it plays an important role in the formation of cultural identity of the city.*

Keywords: *cultural and communication center, creative cluster, urban development model, renovation of industrial territories, culture, urban environment.*

REFERENCES

1. Frolov D.P., Solov'eva I.A. Modern models of urban development: from opposition to combination [Sovremennye modeli gorodskogo razvitiya: ot protivopostavleniya – k kombinirovaniyu]. Spatial economics. 2016. No. 3. Pp. 151–171. (rus)
2. Florida R. The Rise of The Creative Class and How It's Transforming Work, Leisure, Community and Everyday Life [Kreativnyj klass: lyudi, kotorye menyayut budushchee]. M.: Publishing House «Klassika -XXI», 2007. 421 p. (rus)
3. Research «Moscow RE: industrial. Typology of production areas and the best practices of redevelopment» [«Moskva RE: promyshlennaya. Tipologiya proizvodstvennyh territorij i luchshie praktiki redevelopment»]. Available at URL: <https://www.centeragency.org/ru/projects/63> (date of treatment: 8.01.2021). (rus)
4. Compact City Policies: A Comparative Assessment. OECD Green Growth Studies. OECD, 2012. 284 p.
5. Chaiko D.S. PhD dissertation (Architecture). Moscow Institute of Architecture, Moscow, 2005. (rus)
6. Krivich N.A. Cultural expertise: theoretical models and practical experience [Kul'turologicheskaya ekspertiza: teoreticheskie modeli i prakticheskij opyt]. Saint Petersburg: Asterion, 2011. 115 p. (rus)
7. Lisina T.S., Gnutova I.I. Renovation as a way of adaptation of objects of industrial heritage in the structure of a modern city [Renovaciya kak sposob adaptacii ob'ektov industrial'nogo naslediya v strukture sovremennogo goroda]. Nauchnoe obozrenie. Pedagogical sciences. 2019. No. 2–4. Pp. 59–62. URL: <https://science-pedagogy.ru/ru/article/view?id=2037> (date of treatment: 12.01.2021) (rus)
8. Truhanov S. Universal method for evaluating redevelopment objects [Universal'naya metodika ocenki ob'ektov redevelopment]. Project Russia. 2017. No. 86. 334 p. (rus)
9. Yakovlev A.A. PhD dissertation (Architecture). Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering, Nizhny Novgorod, 2014. (rus)
10. Evstigneeva A. Industrial legacy: keepers and creators [Promnasledie: hraniteli i sozdateli]. Available at URL: <http://redeveloper.ru/articles/promnasledie-khraniteli-i-sozdateli.htm> (date of treatment: 8.12.2021).
11. Chadovich A.A. Preservation or Demolition? Compromise! [Sokhraneniye ili snos? Kompromiss!]. Moscow Institute of Architecture (State Academy). 2013. No. 1(22). P. 13. (rus)
12. Shihalova Yu. Suitability test. Assessment of the architectural and urban planning potential of the object conservation [Test na prigodnost'. Ocenka arhitekturno-gradostroitel'nogo potenciala

sohraneniya ob"ekta]. Project Russia. 2017. No. 86. Pp. 98–110. (rus)

13. Tsepilova O.P. Analysis of the experience of re-adaptation of industrial architecture. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2020. No. 12. Pp. 74–90. (rus)

14. Popov A.V., Demidova E.V. Architectural and spatial adaptation of the complex industrial workshop of the Verh-Isetsy plant in the city Yekaterinburg [Arhitekturno-prostranstvennaya adaptatsiya promyshlennoj territorii CKHP VIZa v Ekaterinburge]. Academic Bulletin UralNIiproekt RAASN. 2014. No.1. Pp. 49–54. (rus)

15. Zapary V.V. «Industrial heritage» and its modern interpretation [«Industrial'noe nasledie» i ego sovremennoe tolkovanie]. Academic Bulletin UralNIiproekt RAASN. 2009. No. 1. Pp. 34–37. (rus)

16. Development of community centers - a chance for a new life for forgotten architectural monuments [Razvitie kom'yuniti-centrov – shans na novuyu zhizn' dlya zabytykh pamyatnikov arhitektury]. Available at URL: <http://www.redeveloper.ru/articles/razvitie-komyuniti-tsentrov-shans-na-novuyu-zhizn-dlya-zabytykh-pamyatnikov-arkhitektury.htm>. (date of treatment: 10.01.2021). (rus)

Information about the authors

Stavtsev, Evgeny A. Postgraduate student. E-mail: evgeniystavtsev@mail.ru. Orel State University named after I.S. Turgenev. Russia, 302026, Orel, st. Komsomolskaya, 95.

Kolesnikova, Tatiana N. DSc, Assistant professor. E-mail: kolesnikovoj@yandex.ru. Orel State University named after I.S. Turgenev. Russia, 302026, Orel, st. Komsomolskaya, 95.

Received 16.02.2021

Для цитирования:

Ставцев Е.А., Колесникова Т.Н. Культурно-коммуникационные центры на территории бывших промышленных объектов как драйвер развития городской среды // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2021. № 9. С. 74–86. DOI: 10.34031/2071-7318-2021-6-9-74-86

For citation:

Stavtsev E.A., Kolesnikova T.N. Culture and communication centres at the former production facilities as a driver of the urban development. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2021. No. 9. Pp. 74–86. DOI: 10.34031/2071-7318-2021-6-9-74-86

ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ

DOI: 10.34031/2071-7318-2021-6-9-87-96

Онищук В.И., Агеева С.В., Дороганов Е.А.Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова***E-mail: sorokinasvetlanka@yandex.ru*

ЛЕГКОПЛАВКАЯ НЕФРИТТОВАННАЯ ГЛАЗУРЬ В СИСТЕМЕ МАТЕРИАЛОВ «КВАРЦЕВЫЙ ПЕСОК – УЛЕКСИТ – СОДА – ПОЛЕВОШПАТОВЫЙ КОНЦЕНТРАТ»

Аннотация. В статье приведены результаты исследований, направленные на установление возможности получения легкоплавких нефриттованных глазурей для майолики с температурой стеклования не более 1000 °С в системе материалов «кварцевый песок – улексит – сода – полевошпатовый концентрат». Рациональный выбор сырьевых материалов обеспечит получение шликеров, способных сохранять их проектный химический состав в процессе нанесения на черепок майолики, следовательно, обеспечивать заданный химический состав глазури и способствовать получению требуемых физико-механических и химических свойств глазурного слоя. Проектирование вещественных составов шихт и химических составов глазурных покрытий произведено при помощи математического планирования эксперимента, что существенно снизило временные и материальные затраты на проведение исследований. Установлены параметры, определяющие качество шликеров и глазурных покрытий, выявлены наиболее оптимальные их значения, обеспечивающие получение приемлемых глазурных покрытий, определены пути оптимизации работ в исследуемом направлении. В результате доказана принципиальная возможность получения легкоплавких нефриттованных глазурей в системе материалов «кварцевый песок – улексит – сода – полевошпатовый концентрат», способных переходить в стеклообразное состояние при температурах не более 1000 °С.

Ключевые слова: нефриттованные глазури, рациональный выбор сырьевых материалов, моделирование составов, расчет свойств, получение шликеров глазурей, стеклование шликеров, качество глазурных покрытий.

Введение. В современной практике создания защитных покрытий для различных материалов трудно переоценить значение стекловидных покрытий, особенно, если разговор ведется об изделиях из керамики. Производители давно применяют стекловидные фриттованные и нефриттованные глазури, получаемые в первом случае путем варки фритты, а во втором – помола смеси сырьевых материалов в жидкой фазе [1].

Основным сырьем для производства фриттованных глазурей являются шихты, но такие глазури получают путем предварительной варки в стекловаренных печах при температуре 1250 °С и выше [2–7], что требует значительных энергозатрат. Поэтому разработка составов и технологии получения нефриттованных глазурей, способных формировать качественное покрытие на керамических изделиях, обеспечивает снижение расхода энергии и ресурсов за счет отказа от процесса высокотемпературной варки фритты [8].

При исследовании возможности получения легкоплавкой нефриттованной глазури в системах «стекло НС-3 – улексит» и «стекло НС-3 – колеманит» [8] было установлено, что покрытия, полученные методом механохимической активации экспериментальных шихт этих систем, могут

формироваться уже при 1000 °С, что обусловлено наличием в системе стекла НС-3, которое способствовало облегчению получения стеклофазы и взаимодействия ее с колеманитом. Учитывая тот факт, что исследованная система является двухкомпонентной, а химический состав стекла НС-3 и улексита стабилен, малая вариативность значений такого определяющего свойства глазурей, как тепловой коэффициент линейного расширения (ТКЛР), не обеспечивала высокой его схожести с ТКЛР керамического черепка, и качество глазурного покрытия зачастую оставляло желать лучшего. Но результаты этих исследований [8] позволили определить направление развития исследований и определить новый подход к выбору материалов, на основе которых можно получать легкоплавкие нефриттованные глазури для майолики.

Методы, оборудование, материалы. Для оценки возможности получения нефриттованной глазури из сырьевых материалов использовались расчетные и экспериментальные методы.

Расчетными методами определялись физико-химические свойства составов по аддитивному методу А.А. Аппена [9, 10].

Для минимализации объема экспериментальных исследований, направленных на достижение оптимального состава нефриттованной

глазури, обладающей заданным значением ТКЛР, использовали метод математического планирования и обработки результатов эксперимента.

Для приготовления экспериментальных шихт использовались традиционные сырьевые материалы (табл. 1); исключение составлял улексит, предоставленный для проведения исследований турецкой компанией ООО «ЭТИПРО-ДАКТС» [11].

Улексит является природным боронатро-кальцитом ($\text{Na}_2\text{O} \cdot 2\text{CaO} \cdot 5\text{B}_2\text{O}_3 \cdot 16\text{H}_2\text{O}$), содержащем в своем составе не только оксид бора, но и оксид натрия, которые являются «плавнями» и снижают температуру варки стекла; в рассматриваемом случае – температуру стеклования шликера нефриттованной глазури.

Рациональность выбора улексита можно обосновать и другим, не менее важным его свой-

ством, так при комнатной температуре его растворимость в воде не превышает 6 %, в то время с повышением температуры до 80...90 °С его растворимость увеличивается на порядок. Это явление должно обеспечить большую эффективность процесса получения нефриттованной глазури с повышенной химической однородностью, поскольку получение шликера проводится в условиях интенсивной механоактивации, сопровождающейся повышением температуры системы до 80 °С [12].

На стадии нанесения на черепок, температура шликера не превышает 20 °С, поэтому растворимость улексита резко снижается, что также определяет его большую успешность применения для получения нефриттованных глазурей в сравнении с бурой или борной кислотой, если говорить о миграции раствора в черепок.

Таблица 1

Химический состав сырьевых компонентов

Материал	Содержание оксидов, мас. %								
	SiO ₂	B ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	Fe ₂ O ₃	MgO	SrO
Песок	98,5	-	0,6	-	-	-	0,05	-	-
Сода	-	-	-	-	57,9	-	-	-	-
Улексит	4,51	58,2	0,08	27,8	5,70	-	0,03	2,39	1,1
Полевошпатовый концентрат	69,6	-	17,9	0,6	6,1	5,67	0,14	-	-

Определение химического и минералогического составов сырьевых материалов производилось методом рентгеновской флуоресценции и дифракции на ARL9900, позволяющим определить элементный и фазовый состав проб [13].

Помол нефриттованных глазурей производили в планетарной шаровой мельнице «САНД-1» в агатовых барабанах вместимостью 370 мл. Измельчающие тела – шарики из агата диаметром 10...12 мм, скорость вращения барабанов – 7 об/с. Исследование кинетики процесса измельчения производилось при помощи лазерного анализатора ANALYSETTE 22 NanoTecplus [13], термическая обработка при температуре 1000 °С в муфельной лабораторной печи, тепловой коэффициент линейного расширения определяли с помощью дилатометра кварцевого ДКВ-5А.

Основная часть. Поскольку майолика является низкообжиговой керамикой, то и нефриттованные глазури для нее должны остекловываться при низких (~ 950...1000 °С) температурах. В обычной практике стекловарения снижение температуры варки (тугоплавкости) стекол достигается путем введения в состав плавней – щелочесодержащего или борсодержащего сырья, большинство которых являются водорастворимыми.

Нефриттованные глазури получают жидкофазной механоактивацией шихты, получаемой из различных сырьевых материалов. В случае использования материалов, имеющих высокую растворимость в широком диапазоне температур, на стадии нанесения шликера на черепок значительная часть их будет мигрировать в его стенки из-за достаточно большой пористости, обуславливающей высокое водопоглощение. В результате этого химический состав шликера будет «обедняться» щелочными и борсодержащими легкоплавкими компонентами, что приводит в итоге к повышению температуры стеклования нефриттованной глазури. Поэтому в практике получения нефриттованных глазурей используют нерастворимые в воде боросиликаты – датолит ($\text{Ca}_2\text{B}_2[\text{SiO}_4]_2(\text{OH})_2$) и данбурит $\text{CaB}_2[\text{Si}_2\text{O}_7]\text{O}$ [5].

Следует отметить, что эффективность использования традиционных сырьевых материалов с технологической точки зрения достигается возможностью оперативного изменения вещественного состава шихт для шликеров нефриттованной глазури при изменении химического состава глин, используемых для производства майолики. Эта возможность, в итоге, обеспечивает проектирование такого состава глазури, который

будет иметь сходные с майоликой значения теплового коэффициента линейного расширения (ТКЛР).

В практике получения фриттованных глазурей их ТКЛР может отличаться от ТКЛР керамического черепка, поскольку корректировка его значений производится на этапе приготовления шликеров, когда для обеспечения его определенной седиментационной устойчивости при помеле фритты вводят глинистые или другие добавки-стабилизаторы [14, 15].

В случае получения нефриттованных глазурей требуется проектировать состав сырьевых

смесей таким образом, чтобы ТКЛР остеклованной нефриттованной глазури согласовывался с ТКЛР черепка [16], поэтому на этапе проектирования химического состава нефриттованной глазури и вещественного состава шихты для ее получения в последние годы весьма эффективно используют метод математического планирования эксперимента [16, 17].

При исследовании ТКЛР черепка ($\alpha_{100-300}$), предварительно обожженного при 900 °С и 1000 °С, было установлено различие его значений (рис. 1) в указанном диапазоне температур.

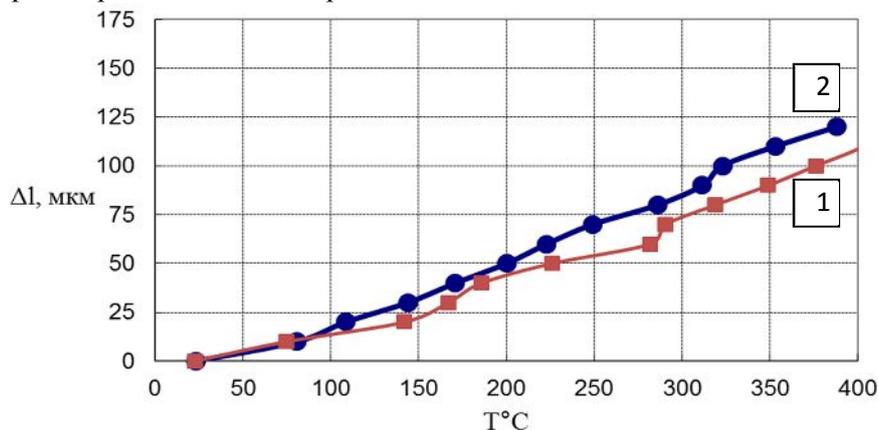


Рис. 1. Дилатометрические кривые образцов майолики после обжига при T, °C : 1 – 900, 2 – 1000

Рассчитав ТКЛР керамического черепка в обозначенном интервале температур, когда при охлаждении могут возникнуть посечки в слое

остеклованного глазурного покрытия («цек»), установили численное значение ТКЛР, град⁻¹:
- температура обжига 900 °C:

$$\alpha_{100-300} = \frac{\Delta l}{l_0 \cdot \Delta t} + \alpha_{100-300}^{кг} = \frac{(70 - 10)10^{-3}}{52,6 \cdot 200} + 6,2 \cdot 10^{-7} = 63,2 \cdot 10^{-7} \quad (1)$$

-температура обжига 1000 °C:

$$\alpha_{100-300} = \frac{\Delta l}{l_0 \cdot \Delta t} + \alpha_{100-300}^{кг} = \frac{(84 - 12)10^{-3}}{49,6 \cdot 200} + 6,2 \cdot 10^{-7} = 78,8 \cdot 10^{-7} \quad (2)$$

Таким образом, ТКЛР черепка майолики, при увеличении температуры обжига на 100 °C (с 900 °C до 1000 °C) увеличивается на 25 %, что свидетельствует о неполном спекании майолики и достижении полной усадки и уменьшению пористости. Исходя из этого, и располагая данными о температуре спекания использованных при выполнении исследований промышленных образцов майолики, составляющей 1000 °C, за базовое значение ТКЛР, использованное при реализации метода математического планирования эксперимента, было принято значение $78,8 \cdot 10^{-7}$ град⁻¹. Учитывая тот факт, что значения ТКЛР черепка и подложки могут различаться не более чем на 5 % [5, 6], диапазон для экспериментальных составов экспериментальных нефриттованных глазурей не должен выходить за значения $(78,8 \dots 82,7) \cdot 10^{-7}$ град⁻¹.

Важным критерием при определении вещественного состава шихты является относительная легкоплавкость нефриттованной глазури, которая должна обеспечить интенсивное стеклование шликера сырой глазури при температуре на 20...30 °C ниже, чем начало температуры деформации керамического изделия (черепка) [2, 3, 18]. Однако, учитывая эти условия, необходимо не забывать и о химической устойчивости глазури по отношению к воде и другим пищевым жидкостям. В этом случае необходимо руководствоваться такими показателями, как структурные параметры глазури – степень связности кремний-кислородного каркаса f_{Si} , а поскольку в состав глазури входит и оксид бора, то и такие показатели как φ_b и $KЧ_b$ [9, 19].

Для построения матрицы планирования эксперимента были выбраны приведенные диапа-

зоны колебаний содержания в шихте нефритто-ванной глазури следующих сырьевых материалов, мас. %: 40...80 кварцевый песок; 10...40 улексит; 5...15 сода; 5...30 полевошпатовый концентрат (ПШК).

Приведенный диапазон колебаний содержания оксидов выбран с учетом возможности нахождения их оптимума, обеспечивающего требуемые значения ТКЛР, приемлемую водостойкость покрытия и заданный температурный интервал стеклования, не превышающий температуру обжига майолики.

Моделирование состава шихт было выполнено путем полного четырехфакторного эксперимента [20, 21]. При построении матрицы факторного эксперимента учитывались четыре фактора

$$Y = 31,5 \cdot X_1 + 4938 \cdot X_2 - 17,5 \cdot X_3 - 448 \cdot X_4 - 5859 \cdot X_1 X_2 + 321 \cdot X_1 X_3 + 859 \cdot X_1 X_4 - 5715 \cdot X_2 X_3 - 4998 \cdot X_2 X_4 + 1006 \cdot X_3 X_4 \quad (4)$$

Используя уравнение (4) с помощью программы MiniTab были построены четырехкомпонентные

– вещественное содержание компонентов шихты, таких как кварцевый песок (X1), сода (X2), ПШК (X3) и улексит (X4), оказывающие влияние на интересующую нас функцию отклика – значение ТКЛР (Y) [20, 21].

В соответствии с планом эксперимента были рассчитаны рецепты шихтовых композиций, химические составы исследуемых глазурей, для каждого состава которых значение ТКЛР рассчитывалось по следующему уравнению [9, 22]:

$$\alpha \cdot 10^7 SiO_2 = 38 - (M_{SiO_2} - 67) \quad (3)$$

Расчет коэффициентов уравнения регрессии полного факторного эксперимента осуществляли в программе DOE++, в результате чего было получено следующее уравнение регрессии:

диаграммы (рис. 2–5), причем в каждой диаграмме содержание одного из компонентов системы было постоянным.

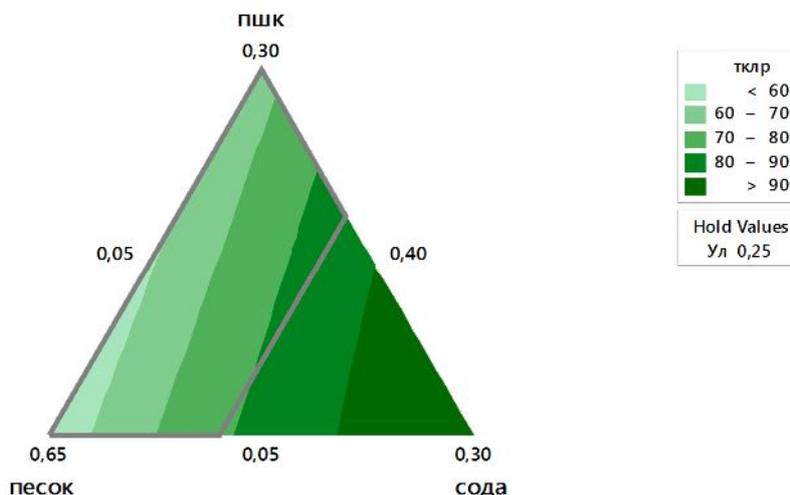


Рис. 2. Диаграмма зависимости ТКЛР от содержания в шихте компонентов системы «кварцевый песок – ПШК – сода – улексит» (содержание улексита const = 25 мас. %)

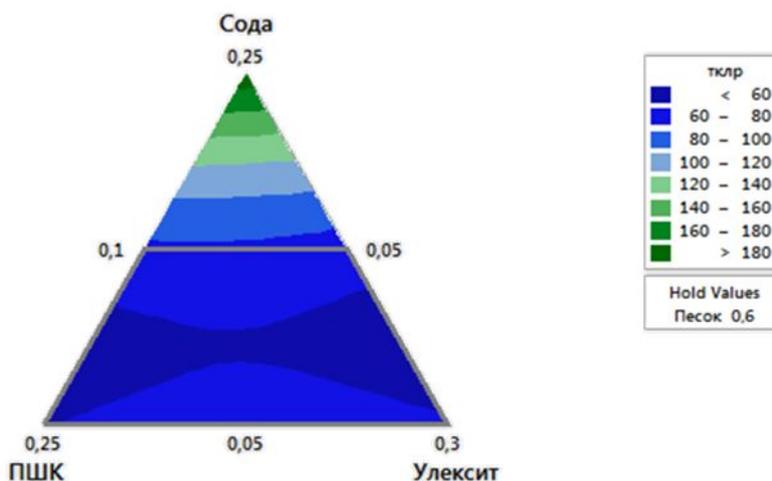


Рис. 3. Диаграмма зависимости ТКЛР от содержания в шихте компонентов системы «кварцевый песок – ПШК – сода – улексит» (содержание кварцевого песка const = 60 мас. %)

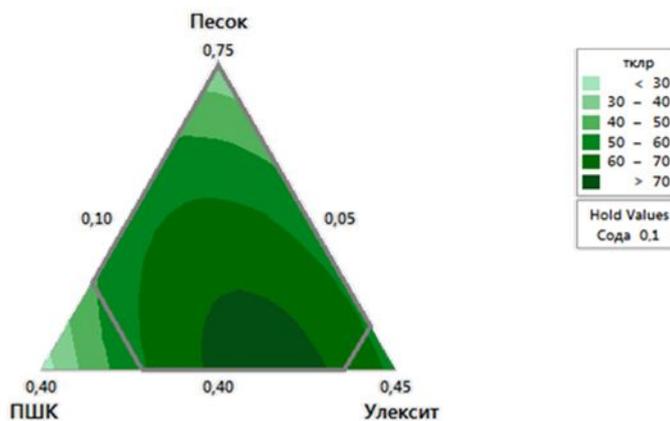


Рис. 4. Диаграмма зависимости ТКЛР от содержания в шихте компонентов системы «кварцевый песок – ПШК – сода – улексит» (содержание соды const = 10 мас. %)

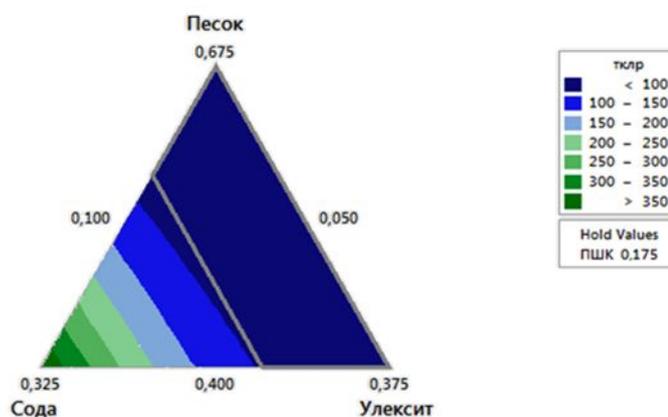


Рис. 5. Диаграмма зависимости ТКЛР от содержания в шихте компонентов системы «кварцевый песок – ПШК – сода – улексит» (содержание ПШК const = 17,5 мас. %)

На рис. 2–5 цветом выделены области определенных значений ТКЛР, из которых выбирались составы, обладающие значением ТКЛР, как отмечалось ранее в диапазоне от $75 \cdot 10^{-7} \cdot C^{-1}$ и до $85 \cdot 10^{-7} \cdot C^{-1}$, после чего были определены вещественные составы экспериментальных шихт (табл.2).

Химические составы глазурей, которые должны получаться из экспериментальных составов шихт, а также ТКЛР и параметры структурной сетки стекла, характеризующие склонность к устойчивому стеклообразованию, приведены в табл. 3.

Физико-химические свойства экспериментальных составов рассчитаны по аддитивному методу А.А. Аппена [9].

Таблица 2

Рецепты шихт

Состав, №	Содержание компонентов, мас. %			
	Песок	Сода	Улексит	ПШК
1	60	10	25	25
2	50	12,5	20	17,5
3	40	10	20	30
4	60	15	20	5

Химические составы стекловидных покрытий, которые были получены на основе разработанных рецептов шихт, приведены в табл. 3.

Синтез нефритованных глазурей производили в планетарной шаровой мельнице «САНД-1», причем все материалы, согласно рецептам шихт, при этом загрузка материалов в барабан

мельниц осуществлялось по специально разработанному режиму. Загрузка барабанов мельниц «шихта – измельчающие тела – свободный объем в барабане» составляла 1:1:1, что обеспечивало влажность получаемого шликера 60...65 %.

Как известно, твердость кварцевого песка по относительной шкале Мооса имеет значение 7,

полевого шпата – 6, а улексита всего 1,5–2,5 [23]. Исходя из этого, можно предположить, что различные составы шихт, включающих различное содержание (табл. 2) сырьевых материалов будут измельчаться по-разному.

Таблица 3

Химический состав и расчетные параметры экспериментальных глазурей

Состав, №	Содержание оксидов, мас. %								ТКЛР $\alpha \cdot 10^7, K^{-1}$	$f_{Si, B, Al}$
	SiO ₂	B ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	MgO	SrO		
1	60,4	15,2	4,9	7,4	9,1	1,9	0,62	0,28	78,8	0,4
2	65,9	12,3	3,6	6,0	10,0	1,4	0,51	0,22	78,8	0,42
3	63,9	12,2	5,9	6,0	9,1	2,1	0,5	0,22	78,9	0,42
4	67,9	12,4	1,4	6,0	10,8	0,67	0,5	0,23	79,1	0,42

Исследование кинетики механоактивации (помола) проводилось для шихты состава № 2, характеризующегося средними значениями содержания компонентов исследуемой системы.

Шихту состава № 2 загружали в мельницу и подвергали механоактивации в интервале времени от 40 до 150 мин. Через каждые 30 минут производился отбор проб, которые использовались для установления дифференциального распределения размеров частиц при помощи лазерного анализатора ANALYSETTE 22 NanoTecplus; при этом время с момента отбора пробы до проведения анализа не превышало 15 минут, что исключало агрегацию частиц и получение недостоверных результатов. Изменение размеров частиц компонентов шихты может свидетельствовать о достаточно интенсивном уменьшении размеров частиц таких материалов в шихте, как кварцевый песок, имеющих максимальный изначальный размер ~ 500 мкм. Средний размер частиц ПШК составляет около 100 мкм, улексита – 75 мкм.

Следовательно, если в качестве «индикатора» использовать изменение размера частиц кварцевого песка, то за 40 минут активной жидкофазной механоактивации размер его зерен уменьшается с 500 до 35 мкм, т. е. в 14 раз.

Увеличение времени механоактивации сопровождается изменением характера кривой дифференциального распределения частиц шихты, но отмечается ярко выраженная тенденция прироста содержания частиц с размерами в диапазоне 0,7...10,5 мкм максимальным содержанием фракции 5 % частиц размером 3 мкм. Следует отметить, что в шликере нефритованной глазури есть частицы с размером менее 0,5 мкм (500 нм), которых в нем содержится порядка 1 %.

В целом же, шликера, полученные механоактивацией шихты в течение 100 мин и более, обладали достаточной вязкостью и седиментационной устойчивостью и не расслаивались в течение 24 часов.

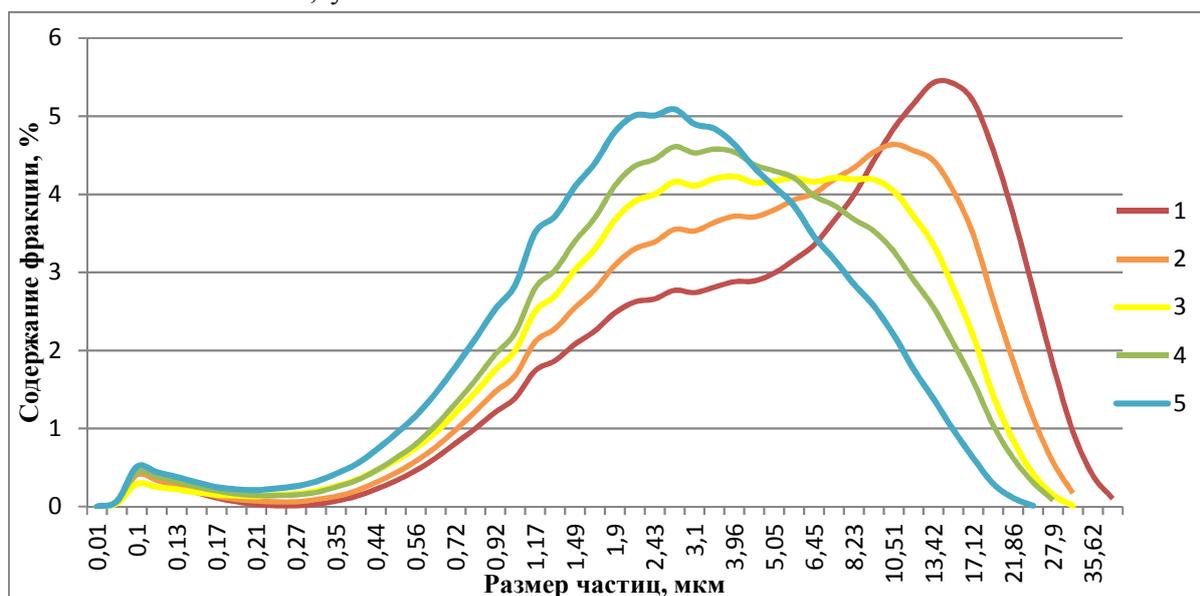


Рис. 6. Изменение дисперсионного состава экспериментальных шликеров нефритованных глазурей при разном времени механоактивации, мин: 1 – 40; 2 – 70; 3 – 100; 4 – 120; 5 – 150

Получение экспериментальных шликеров нефритованных глазурей спроектированных составов 1, 2, 3 и 4 производили в течение 100 минут.

Проверку качества экспериментальных шликеров и глазури осуществляли традиционным способом. Вначале на поверхность черепка методом полива наносили шликер определенного состава, формируя толщину покрытия не более 2 мм. Далее производилась сушка при комнатной температуре в течение 24 часов. Стеклование нефритованной глазури осуществляли обжигом в муфельной печи при температуре 1000 °С с выдержкой при максимальной температуре в течение 0,5 часа.

Качество покрытий оценивали визуально, отмечая такие характеристики как сплошность, равномерность, наличие трещин или сколов, блеск, прозрачность, гладкость и др.

Визуальный осмотр полученных образцов позволил установить, что в покрытиях составов 1 и 2 есть следы незавершившейся дегазации продуктов диссоциации и удаление физически вовлеченного в шликера воздуха, с проявлением дефекта «апельсиновая корка», поверхность глазурного слоя образца 3 имела незначительный «цек», наилучшее качество имела глазурованная поверхность образца 4.

Выводы. Установлена принципиальная возможность получения легкоплавкой нефритованной глазури для майолики в системе материалов «кварцевый песок – сода – улексит – ПШК», обеспечиваемая жидкофазной механической активации шихты.

Совершенствование полученных результатов возможно путем оптимизации химических составов шихт, параметров активации, более детальным изучением механизма формирования структуры нефритованных легкоплавких глазурей, стеклования, кинетики стеклования и массообменных процессов в контактно-метаморфической зоне.

Получение нефритованных глазурей для майолики позволит обеспечить снижение энергозатрат на условную единицу продукции за счет исключения варки фритты, уменьшит вредное воздействие продуктов сгорания топлива на окружающую среду.

Поскольку исследованная система и способ получения обеспечивают получение легкоплавкой глазури без введения в состав оксидов свинца, то предлагаемое решение обеспечивает гигиеническую чистоту получаемых покрытий, что весьма важно для сохранения здоровья людей.

В случае самостоятельного производства нефритованной глазури на предприятии-производителе майолики, решается ряд таких проблем, как зависимость от ценовой политики производителей фритт, равномерности поставок, расходов на транспортировку и т. п.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Штейнберг Ю.Г., Торн Э.Г. Стекловидные покрытия для керамики. 2-е изд. перераб. и доп. Л.: Стройиздат, 1989. 192 с.
2. Салахов А.М., Спирина О.В., Ремизникова В.И., Хозин В.Г. Легкоплавкая глазурь для строительной керамики // Стекло и керамика. 2001. №5. С. 19–20.
3. Герасимов В.В. Спирина О.В. Современные легкоплавкие боросиликатные стекла и глазури для майолики и гончарных изделий // Стекло и керамика. 2004. №6. С. 26–29.
4. Павлушкина Т.К., Морозова И.В. Разработка легкоплавких стекол для декорирования облицовочных материалов // Стекло и керамика. 2010. №3. С. 26–28
5. Лисачук Г.В., Рыщенко М.И., Белостоцкая Л.А. Стеклокристаллические покрытия по керамике. Харьков: НТУ «ХПИ», 2008. 480 с.
6. Рудковская Н.В., Михайленко Н.Ю. Декоративные цинксодержащие кристаллические глазури для художественной керамики // Стекло и керамика. 2001. №11. С. 20–23
7. Клевакин В.А., Дерябин В.А., Клевакина Е.В. Глазурь для строительной керамики // Стекло и керамика. 2009. №4. С. 26–27.
8. Онищук В.И., Агеева С.В., Евтушенко Е.И., Скурятина Е.Ю., Беседин П.В. Исследование возможности получения нефритованной глазури в системах «стекло НС-3 – улексит» и «стекло НС-3 – колеманит» // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2019. №12. С. 140–150. doi: 10.34031/2071-7318-2019-4-12-140-150
9. Аппен А.А. Химия стекла. Л.: Химия, 1974. 352 с.
10. Матвеев М.А., Матвеев Г.М., Френкель Б.Н. Расчеты по химии и технологии стекла: Справочное пособие. Москва, 1972. 233с.
11. ООО «Этипродактс» [электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.etimaden.ru/> (дата обращения 14.04.2021)
12. Улексит молотый. [электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.chempack.ru/chemical-raw-materials/uleksit-molotyuy.html> (дата обращения 20.04.2021)
13. Центр высоких технологий. [электронный ресурс]. Режим доступа: <http://cvtbstu.cy39738.tmweb.ru/> (дата обращения 22.04.2021)

14. Reis A.S., Della-Sagrillo V.P., Valenzuela-Diaz F.R. Analysis of dimension stone waste addition to the clayey mass used in roof tile production // *Materials Research*. 2015. Pp. 152–154.

15. Патент № RU2603683C2 Российская Федерация, МПК C03C8/16. Добавки для керамических глазурей / Кьяваччи Дарио, Канцьяни Маттиа, Креспи Стефано, Вигано Лаура, Флориди Джованни, Ли Басси Джузеппе. № RU2014107912 / 03А; заявл. 20.07.2012; опубл. 27.11.2016

16. Спирина О.В., Ремизникова В.И. Подбор глазурей для керамических масс с учетом согласования их коэффициентов термического расширения // *Известия Казанского государственного строительного университета*. 2006. №1(5). С. 45–49.

17. Яценко Н.Д., Спасибова В.С., Закарлюка С.Г., Гончаров И.А., Яценко И.А. Разработка составов фриттованных глазурей для керамической черепицы с применением метода математического планирования эксперимента // *Инженерный вестник Дона*. 2016. №4 (43). С. 162–168.

18. Ткачев А.Г., Ткачева О.Н., Соловьева И.С. Получение легкоплавких глазурей без варки

фритты // *Стекло и керамика*. 2002. №11. С. 16–17.

19. Шульц М.М., Мазурин О.В. Современные представления о строении стекол и их свойства. Л.: Наука. 1979. 197 с.

20. Блохин В.Г., Глудкин О.П., Гуров А.И., Ханин М.А. Современный эксперимент: подготовка, проведение, анализ результатов: Учебник для вузов. М.: Радио и связь, 1997. 232 с.

21. Свергузова С.В., Старостина И.В., Сапронова Ж.А., Солопов Ю.И., Четвериков А.В. Исследование влияния технологических факторов на маслосмеккость пигментов-наполнителей на основе ХОЖК с использованием методов математической статистики // *Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова*. 2016. №6. С. 197–201.

22. Жерновая Н.Ф., Павленко З.В. Свойства стекол и стеклокристаллических материалов: Учебно-методическое пособие. Белгород: Изд-во БГТУ, 2006. 138 с.

23. Твердость минералов. [электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.articles/Shkala-Moosa-Tverdost-mineralov> (дата обращения 20.04.2021)

Информация об авторах

Онищук Виктор Иванович, кандидат технических наук, профессор кафедры технологии стекла и керамики. E-mail: v.onishchuk@mail.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Агеева Светлана Витальевна, аспирант. E-mail: sorokinasvetlanka@yandex.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Дороганов Евгений Анатольевич, кандидат технических наук, профессор кафедры технологии стекла и керамики. E-mail: doroganov@intbel.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Поступила 21.05.2021 г.

© Онищук В.И., Агеева С.В., Дороганов Е.А., 2021

***Onishchuk V.I., Ageeva S.V., Doroganov E.A.**
Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov
*E-mail: sorokinasvetlanka@yandex.ru

LOW-MELTING UNFRITTED GLAZE IN THE MATERIALS SYSTEM OF “QUARTZ SAND – ULEXITE – SODA – FELDSPAR”

Abstract. The article presents the results of studies aimed at establishing the possibility of obtaining low-melting not fritted glazes for majolica with a glass transition temperature of not more than 1000 °C in the system of materials “quartz sand – ulexite – soda – feldspar concentrate”. A rational choice of raw materials will ensure the production of slips that are able to maintain their design chemical composition during the application of majolica to the shard. Therefore, it provides the specified chemical composition of the glaze and contribute to obtaining the required physical, mechanical and chemical properties of the glaze layer. The design of the material compositions of the charges and the chemical compositions of the glaze coatings is carried out using the mathematical planning of the experiment, which significantly reduces the time and material costs for research. The parameters that determine the quality of slips and glaze coatings have been established, their most optimal values have been identified. They ensure the production of acceptable glaze

coatings, and determines the ways to optimize work in the studied direction. As a result, the fundamental possibility of obtaining low-melting not fritted glazes in the system of materials "quartz sand – ulexite – soda – feldspar concentrate", capable of transforming into a glassy state at temperatures not exceeding 1000 °C, has been proved.

Keywords: not fritted glazes, rational choice of raw materials, composition modeling, calculation of properties, production of glaze slips, quality of glaze coatings.

REFERENCES

1. Steinberg J.G., Thorne E.G., Glassy coatings for ceramics [Steklovidnye pokrytiya dlya keramiki]. Stroyizdat, Leningrad 1989. 192 p.
2. Salakhov A.M., Spirin O.V., Remennikova V.I., Khozin V.G. Low-melted glaze for structural ceramics [Legkoplavkaya glazur' dlya stroitel'noj keramiki]. Glass and ceramics. 2001. No. 5. Pp. 19–20. (rus)
3. Gerasimov V.V., Spirina O.V. Modern low-melting borosilicate glass and glazes for majolica and figuline [Sovremennye legkoplavkie borosilikatnye stekla i glazuri dlya majoliki i goncharnyh izdelij]. Glass and ceramics. 2004. No. 6. Pp. 26–29. (rus)
4. Pavlushkina T. K., Morozova I. V. Development of low-melting glass for decoration of facing materials [Razrabotka legkoplavkih stekol dlya dekorirovaniya oblicovocznyh materialov]. Glass and ceramics. 2010. No. 3. Pp. 26–28. (rus)
5. Lisachuk G.V., Rudenko M.I., Belostotskaya L.A. Glass-Ceramic coatings on ceramics [Steklokristallicheskie pokrytiya po keramike]. Kharkiv: NTU "KHPI". 2008. 480 p. (rus)
6. Rudkovskaya N.V., Mikhaylenko N.Yu. Decorative Zn-containing crystalline glazes for studio pottery [Dekorativnye cinksoderzhashchie kristallicheskie glazuri dlya hudozhestvennoj keramiki]. Glass and ceramics. 2001. No. 11. Pp. 20–23. (rus)
7. Klevakin V.A., Deryabin V.A., Klevakina E. V. Glaze for construction ceramics [Glazur' dlya stroitel'noj keramiki]. Glass and ceramics. 2009. No. 4. Pp. 26–27. (rus)
8. Onishchuk V.I., Ageeva S.V., Yevtushenko E. I., Skuryatina E.Yu., Besedin P.V. Research of the possibility of getting unfritted glazes in the systems "glass NG-3 - ulexit" and "glass NG-3 - kolemanit" [Issledovanie vozmozhnosti polucheniya nefritovannoj glazuri v sistemah «steklo NS-3 – uleksit» i «steklo NS-3 – kolemanit»]. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2019. No. 12. Pp. 140–150. 10.34031/2071-7318-2019-4-12-140-150 (rus)
9. Appen A.A. Chemistry of glass [Himiya stekla]. Chemistry. 1974. 352 p. (rus)
10. Matveev M.A., Matveev G.M., Frenkel B.N. Calculations in chemistry and technology of glass: A reference manual [Raschety po himii i tekhnologii stekla: Spravochnoe posobie]. M. 1972. 233 p. (rus)
11. LLC "Ethiproducs". Access mode: <http://www.etimaden.ru/> (date of access 14.04.2021) (rus)
12. Ulexite ground. Access mode: <https://www.chempack.ru/ru/chemical-raw-materials/uleksit-molotyy.html> (accessed 20.04.2021) (rus)
13. Center for High Technologies. Access mode: <http://cvtbstu.cy39738.tmweb.ru/> (accessed 22.04.2021) (rus)
14. Reis A.S., Della-Sagrillo V.P., Valenzuela-Diaz F.R. Analysis of dimension stone waste addition to the clayey mass used in roof tile production. Materials Research. 2015. Pp. 152–154.
15. Patent No. RU2603683C2 Russian Federation, IPC C03C8 / 16. Additives for ceramic glazes [Dobavki dlya keramicheskikh glazurej]. Chiavacci Dario, Canziani Mattia, Crespi Stefano, Vigano Laura, Floridi Giovanni, Li Bassi Giuseppe. No. RU2014107912 / 03A; declared 07.20.2012; publ. 11.27.2016 (rus)
16. Spirina O.V., Remennikova V.I. Selection of glazes for ceramic bodies subject to the approval of their thermal expansion coefficients [Podbor glazurej dlya keramicheskikh mass s uchetom soglasovaniya ih koefficientov termicheskogo rasshireniya]. proceedings of Kazan state construction University. 2006. No. 1(5). Pp. 45–49. (rus)
17. Yatsenko N.D., Spasibova V.S., Zakarlyuka S.G., Goncharov I.A., Yatsenko I.A. Development of compositions of fritted glazes for ceramic tiles using the method of mathematical planning of an experiment [Razrabotka sostavov frittovannykh glazurej dlya keramicheskoy cherepicy s primeneniem metoda matematicheskogo planirovaniya eksperimenta]. Engineering Bulletin of Don, 2016. No. 4 (43). Pp. 162–168. (rus)
18. Tkachev A.G., Tkacheva O.N., Solovieva I.S. Frit-free production of low-melt glazes [Poluchenie legkoplavkih glazurej bez varki fritty]. Glass and ceramics. 2002. No. 11. Pp. 16–17. (rus)
19. Shultz M.M., Mazurin O. Modern ideas about the structure of cells and their properties [Sovremennye predstavleniya o stroenii stekol i ih svojstva]. Nauka. 1988. 198 Pp. (rus)
20. Blokhin V.G., Gludkin O.P., Gurov A.I., Khanin M.A. Modern experiment: preparation, conduct, analysis of results: Textbook for universities [Sovremennyj eksperiment: podgotovka, provedenie, analiz rezul'tatov: Uchebnik dlya vuzov]. Radio and communication. 1997. 232 p. (rus)

21. Sverguzova S.V., Starostina I.V., Sapronova Zh.A., Solopov Yu.I., Chetverikov A.V. Investigation of the influence of technological factors on the oil absorption of pigments-fillers based on HOZhK using methods of mathematical statistics [Issledovanie vliyaniya tekhnologicheskikh faktorov na masloemkost' pigmentov-napolnitelej na osnove HOZHК s ispol'zovaniem metodov matematicheskoy statistiki]. Bulletin of the Belgorod State Technological University named after I.I. V.G. Shukhov. 2016. No. 6. Pp. 197–201. (rus)

22. Zhernovaya N. F., Pavlenko Z. V. Properties of glasses and glass-crystal materials. Educational and methodical manual [Svoystva stekol i steklokristallicheskih materialov: Uchebno-metodicheskoe posobie]. Belgorod: Publishing house of BSTU. 2006. 138 p. (rus)

23. Mineral hardness. Access mode: <https://www.articles /Shkala-Moosa-Tverdost-mineralov> (accessed 20.04.2021). (rus)

Information about the authors

Onishchuk, Viktor I. PhD, Professor. E-mail: v.onishchuk@mail.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

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

Doroganov, Yevgeny A. PhD, Professor E-mail: dorogavov@intbel.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Received 21.05.2021

Для цитирования:

Онищук В.И., Агеева С.В., Дороганов Е.А. Легкоплавкая нефритованная глазурь в системе материалов «кварцевый песок – улексит – сода – полевошпатовый концентрат» // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2021. № 9. С. 87–96. DOI: 10.34031/2071-7318-2021-6-9-87-96

For citation:

Onishchuk V.I., Ageeva S.V., Doroganov E.A. Low-melting unfritted glaze in the materials system of “quartz sand-ulexite-soda-feldspar”. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2021. No. 9. Pp. 87–96. DOI: 10.34031/2071-7318-2021-6-9-87-96

МАШИНОСТРОЕНИЕ И МАШИНОВЕДЕНИЕ

DOI: 10.34031/2071-7318-2021-6-9-97-112

Марусич К.В., Дружинин В.И.Оренбургский государственный университет***E-mail: mkv82@mail.ru*

ОБЗОР КОНСТРУКЦИЙ МОБИЛЬНЫХ СТАНКОВ ДЛЯ ОБРАБОТКИ КРУПНОГАБАРИТНЫХ ИЗДЕЛИЙ

Аннотация. Ремонт крупногабаритных изделий вне специализированного ремонтного предприятия зачастую недостижим из-за невозможности обеспечить высокую точность при выполнении механической обработки. Но при этом следует учитывать, что демонтаж и перемещение крупногабаритных изделий до ремонтного предприятия существенно увеличивают простой восстанавливаемого оборудования или в принципе это технически невозможно выполнить. Специализированные станки, которые используются для ремонта крупногабаритных изделий на таких предприятиях, являются уникальными и дорогостоящими. Они имеют достаточно высокую степень загрузки на предприятии, что может привести к различным рискам, связанным со сроками проведения ремонта. Поэтому в первую очередь необходимо сокращать сроки операций демонтажа, перемещения и обработки крупногабаритных изделий. В связи с этим отказ от этих операций в пользу применения мобильных станков позволит существенно сократить сроки и стоимость ремонтов труднодоступного габаритного оборудования. В статье рассмотрены отечественные и иностранные достижения в области мобильных станков и систем, которые применяются для технического обслуживания и механической обработки крупногабаритных изделий на месте без демонтажа. Описан ряд конструкций специализированных мобильных станков для применения в различных отраслях промышленности.

Ключевые слова: станок, мобильный, приставной, переносной, механическая обработка.

Введение. Крупные технические сооружения, например, нефтегазовые установки, рассчитаны на длительный срок службы. За это время неизбежны техобслуживание и ремонт. В отношении всего срока службы добавленная стоимость, связанная с этими работами, часто превышает затраты на первоначальную установку. Чтобы гарантировать доступность, производительность и качество промышленных предприятий, современные компании нуждаются в новых подходах к техническому обслуживанию [1, 2].

В ремонтных работах часто используются крупногабаритные и функционально важные изделия сложной геометрии [3]. Поэтому работа должна выполняться с высокой точностью. Раньше для обработки крупногабаритных изделий их приходилось снимать и перевозить на ремонтные предприятия. Этот процесс включает в себя ряд различных недостатков:

- высокие транспортные расходы;
- высокий риск повреждения при транспортировке;
- возможные проблемы на таможенных границах;
- длительные простои оборудования во время ремонта и т. д.

Одним из направлений в машиностроении является ориентация на крупномасштабные технические системы. Если используется обычная обработка, большие заготовки должны размещаться внутри рабочего пространства станка, что

может привести к крайним диспропорциям между теоретически подходящим и действительно необходимым размером системы. Следовательно, во многих случаях происходит неэффективное использование ресурсов. Практический подход к решению проблемы - использование небольших мобильных установок для выполнения таких операций механической обработки [4–7]. Эта концепция преследуется по двум аспектам. Во-первых, локальная мобильность, которая означает размещение небольших обрабатывающих агрегатов локально на обрабатываемой области заготовки. Во-вторых, глобальная мобильность, которая проявляется в транспортабельности обрабатывающих агрегатов между разными участками работы.

Основная часть. В связи с постоянно растущим разнообразием потребностей в производстве и техническом обслуживании современной продукции сфера проектирования станков значительно расширилась. В последнее время всё чаще стали применяться мобильные станки для обработки изделий без их демонтажа. В работе [8] представлена конструкция и принцип работы мобильного устройства, позволяющего производить без демонтажа шлифовку продольных направляющих суппорта токарных, расточных станков, в том числе больших габаритов. Основные принципиальные особенности устройства: направляющие качения расположены на жесткой

регулируемой рамной конструкции, стойки которой расположены вокруг ремонтируемого станка, конструкция траверсы позволяет осуществлять поворот рабочего органа, настройка всей системы осуществляется лазерным интерферометром, имеется возможность установки нескольких инструментальных головок. Рамная конструкция устройства при малой материалоемкости обладает высокой жесткостью. Конструкция разработанного устройства имеет возможность установки неограниченного количества опор и нескольких шпинделей, что позволяет производить обработку нескольких направляющих любой длины и ширины без переналадки. Наличие опции поворота шпинделя позволяет обрабатывать призматические направляющие.

Мобильный фрезерный станок для обработки поверхностей станин клетей прокатных станов [9] имеет конструкцию, позволяющую в короткие сроки выставить станок в проектное положение и выполнить обработку опорной горизонтальной поверхности за одну установку с высокой точностью и при этом увеличить производительность выполняемых работ. Вариантность настройки положения редуктора и мотора привода вращения шпинделя (возможность вертикально-продольного перемещения) улучшает маневренность фрезерной головки в стесненных условиях (ограниченном пространстве) и дает возможность использовать станок для фрезерования агрегатов разных размеров. Конструкция станка позволяет выполнять работы по фрезерованию горизонтальных поверхностей, расположенных как в нижнем, так и в потолочном положении. Предлагаемая конструкция фрезерного

станка снижает финансовые затраты при фрезеровании станин различных типоразмеров за счет уменьшения трудозатрат по причине осуществления фрезерования за одну установку.

Существует ряд мобильных (переносных) станков, предназначенных для выполнения определенных задач. В работе [10] станок предназначен для срезки сварного шва наружной защитной герметизирующей крышки, удаления отрезанной круглой части крышки, а также позволяет восстановить привалочный профиль основания корпуса металлобетонных контейнеров для приварки новой наружной защитной герметизирующей крышки.

Переносной станок [11] для обработки, преимущественно, крупногабаритных деталей предназначен для обработки массивных деталей в виде тел вращения и/или обладающих радиальной (аксиальной) симметрией. В предложенном решении отсутствует несущая станина. Для обработки детали станок (рис. 1) крепится непосредственно на деталь 13 (заготовки направляющих баз экскаватора). Траверса соединена с центральной опорой 1. Диаметрально к опоре 1 установлена платформа противовеса со съемными грузами. На траверсе 3 расположены горизонтальные и вертикальные салазки, которые выполнены подвижными. Их перемещение осуществляется за счет передач «трапецеидальный винт-гайка». В качестве двигателей подачи используются синхронные шаговые двигатели. В работе [12] представлена другая конструкция мобильного станка для восстановления отверстия.

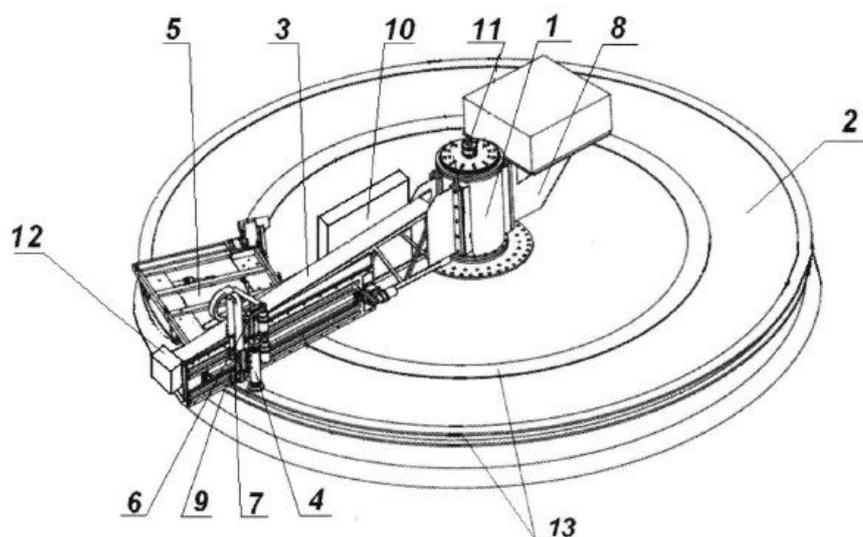


Рис. 1. Переносной станок для обработки, преимущественно, крупногабаритных деталей [11]:
 1 – центральная опора; 2 – обрабатываемая деталь; 3 – траверса; 4 – шпиндельный блок; 5 – блок радиального перемещения; 6 – вертикальные салазки; 7 – горизонтальные салазки; 8 – противовес; 9 – механизм поджима траверсы к детали; 10 – электрический шкаф; 11 – кольцевой токосъемник; 12 – пульт управления;
 13 – обрабатываемые направляющие

Далее представлена группа приставных станков для обработки зубьев крупногабаритных зубчатых колес [13–15]. Приставной зубофрезерный станок (рис. 2) для обработки зубьев крупногабаритных зубчатых колес прямозубого зацепления направлен на обеспечение точности обработки профиля зуба прямозубого зацепления не зависимо от размерности модуля, диаметра зубчатого колеса, без демонтажа на месте эксплуата-

ции, что позволяет значительно сократить трудоемкость и сроки простоя оборудования в ремонте. Станок содержит корпус 1 с механизмами продольного перемещения 2 и вращения 3 фрезы 4. В корпусе станка имеются четыре регулируемые опоры 5, при помощи которых станок выставляется и крепится на корпусе зубчатого колеса 6 относительно поверхности обрабатываемого зуба.

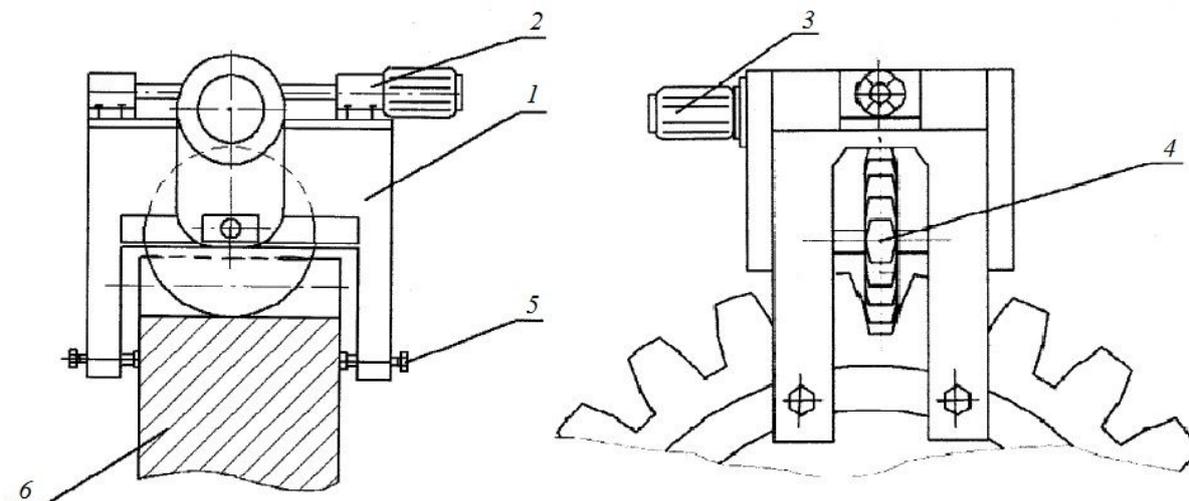


Рис. 2. Приставной зубофрезерный станок (Пат. 103505) [13]

В промышленности часто возникает необходимость обработки загрузочных цапф помольных мельниц [16–18]. В процессе загрузки материала происходит износ внутренней поверхности цапфы. Обработать такую поверхность можно специальным приставным станочным модулем (рис. 3). Для этой цели был сконструирован и изготовлен ряд станков для обработки деталей цементных печей: приставной станок для обработки бандажей и опорных роликов [19], встраиваемый станок для обработки цапф шаровых мельниц [20], станок для обработки внутренних поверхностей тел вращения большого диаметра без их демонтажа [21], мобильный станок для обработки крупногабаритных изделий [22]. Одним из наиболее широко используемых является станок УВС-01 (универсальный встраиваемый станок), обрабатывающий с одной установки бандаж и опорный ролик (рис. 4). Он получил сертификат качества Госстандарта РФ и внесен в каталог металлорежущих станков РФ (инв. № 12.06.01) [23].

Для обслуживания судовых двигателей и энергетических систем на месте был разработан ряд специализированных машин, поскольку их разборка и снятие с корабля для ремонта непрактично, а в некоторых случаях почти невозможно. В работе [24, 25] предлагается использовать с целью ремонта валов крупнотоннажных морских судов переносной малогабаритный станок, который используют для токарных обработок рабочих поверхностей качения цементных мельниц.

В следующей работе [26] представлена установка для восстановления на месте коленчатых валов и пальцев. Конструкция включает систему кронштейнов, которая временно прикрепляется к пластинам кривошипа и поддерживает пару орбитальных колес с установленным между ними станком. Эта система позволяет станку вращаться вокруг заготовки по орбите во время обработки. Другая установка [27] разработана для операций по техническому обслуживанию паротурбинных двигателей морских судов. Она позволяет удалять заедающие шпильки (рис. 5). Станок также может быть оснащен резьбонарезными инструментами для восстановления резьбы или, в случаях, когда окружающий материал был поврежден, подготовить отверстие для резьбовой вставки.

Существуют разнообразные конструкции мобильных станков, используемые при восстановлении колёсных пар железнодорожного транспорта [28–30]. В работах [31, 32] представлена разработка опытного образца мобильного токарного станка для обточки колёсных пар без выкатки из-под вагона электропоезда. В отличие от аналогов (станок WTL 8100-1 американской компании Delta Manufacturing [33] и мобильное устройство 1AK200-ZIP, разработанное эстонской компанией ENDORFIN Ltd.) мобильный станок не требует специально оборудованной площадки для обточки колёсных пар. Устранение

неисправностей бандажей (колес), появляющихся в процессе эксплуатации, производится без выкатки колеса из-под вагона электропоезда. Мобильный станок не требует стационарного источника питания, его можно использовать там, где имеется асфальтированная или бетонированная площадка на уровне головки рельса. Станок

схематично показан на рис. 6. При обточке колеса вагона имеется возможность регулировки глубины резания, после обточки за один проход диаметр бандажа (колеса) уменьшается на величину от 0,5 до 2 мм.

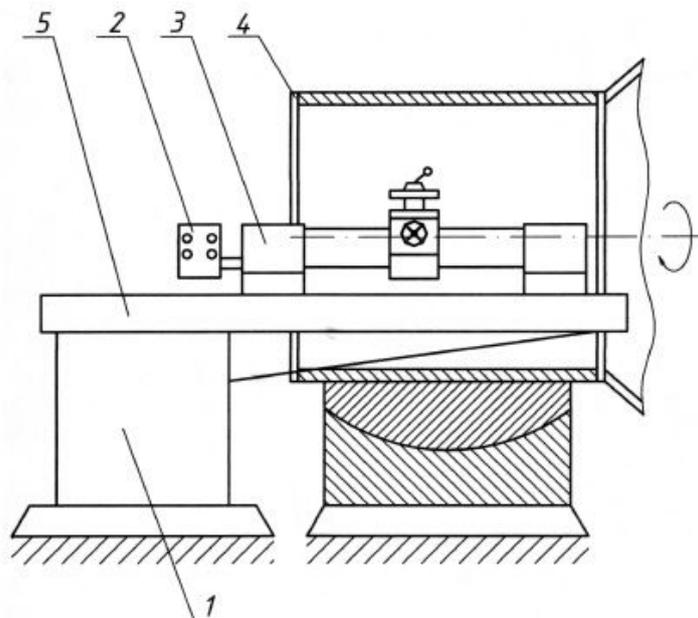


Рис. 3. Схема установки специального приставного станочного модуля для обработки внутренней поверхности цапфы [17]:

1 – силовой стол; 2 – пульт управления; 3 – станок; 4 – цапфа; 5 – плита



Рис. 4. Универсальный встраиваемый станок УВС-01 (А.С. №1306648) [23]

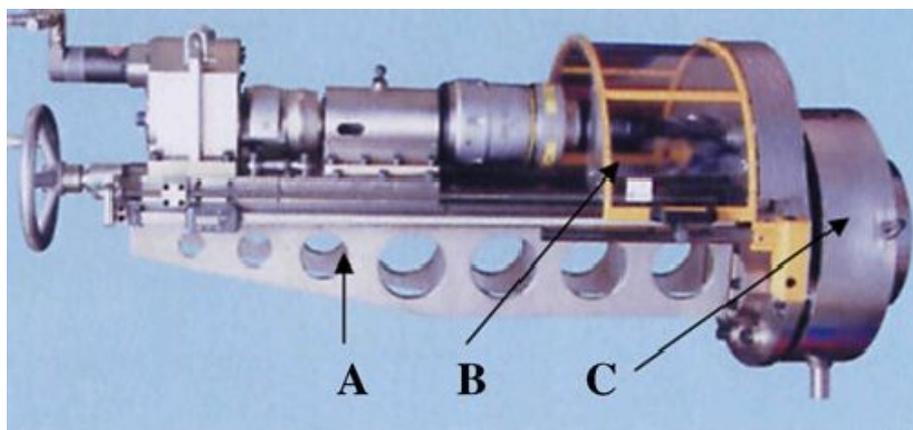


Рис. 5. Устройство для удаления заедающих шпилек и восстановления резьбы на месте [27]:

А – крепление к станку; В – режущий блок; С – обрабатываемая заготовка

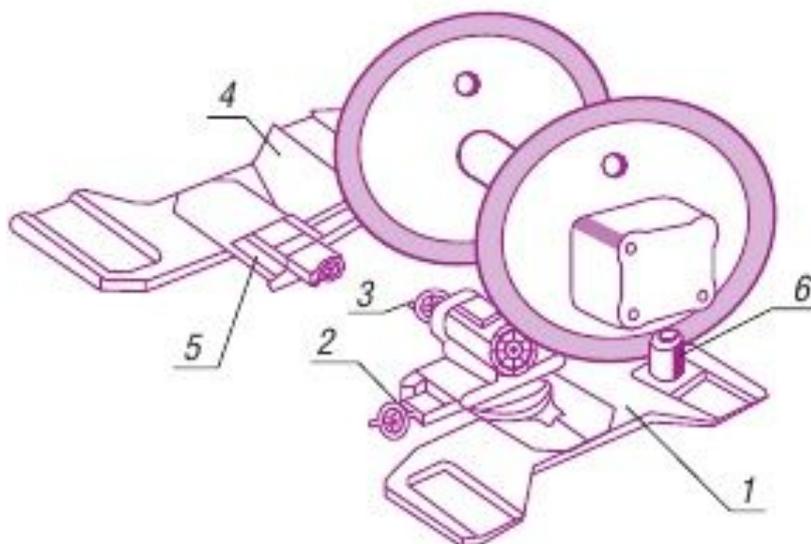


Рис. 6. Общий вид мобильного станка с колёсной парой [31]:
1 – переносная станина; 2 – суппорт; 3 – привод; 4 – реостат; 5 – мобильный источник питания;
6 – гидравлический домкрат

Мобильный станок (рис. 7) содержит два соединенных между собой основания. На каждом основании закреплены средства крепления к рельсу, опорная плита с поперечными направляющими и оборудованный режущим инструментом суппорт [34]. Каждый суппорт установлен на салазках, образованных нижней и верхней каретками. Нижняя каретка перемещается по продольным направляющим и снабжена поперечными направляющими, по которым перемещается верхняя каретка. Привод салазок образован нижней и верхней шарико-винтовыми парами (ШВП). Винты указанных пар, соответственно, расположены под нижней и верхней каретками между поперечными и продольными направляющими. Привод салазок

подключен к системе числового программного управления серводвигателями, один из которых закреплен на боковой поверхности опорной плиты и подключен к нижнему винту, а другой - на боковой поверхности нижней каретки и подключен к верхнему винту.

В работе [35] представлена специализированная ремонтная машина предназначенная для переточки на месте опорных поверхностей рельсов. Станок включает шлифовальный круг, приводимый в движение двигателем. Положение ходовых винтов определяется набором датчиков перемещения, которые следуют за направляющими, определяющими профиль подлежащий шлифованию.

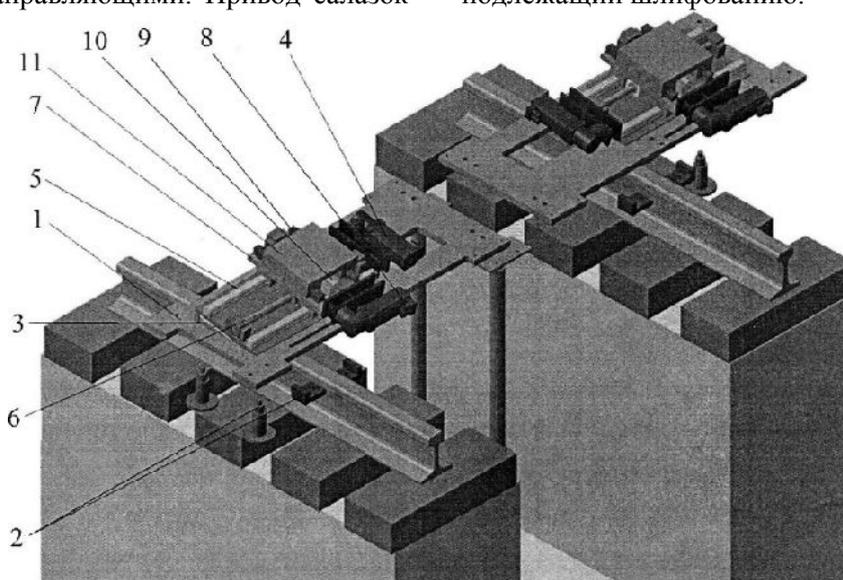


Рис. 7. Мобильный станок для обточки железнодорожных колёсных пар (Пат. 185997) [34]:
1 – основание; 2 – крепление (кронштейны и шпильки); 3 – наклонная опорная плита; 4 – серводвигатель;
5 – верхние продольные направляющие; 6 – винт нижней ШВП; 7 – нижняя каретка; 8 – серводвигатель;
9 – верхние поперечные направляющие; 10 – винт верхней ШВП; 11 – верхняя каретка

В СССР были разработаны переносные станки для обработки концов труб, используемых в нефтегазовой промышленности [36–39]. Станок [39] крепится в обрабатываемой трубе, включаются приводы осевой подачи и вращения инструментальной головки. Он расширяет технологические возможности путём обеспечения снятия как наружной, так и внутренней фасок разжимного профиля и исключения влияния формы трубы на качество обработки.

В работе [40] переносной станок предназначен для механической обработки уплотнительных поверхностей, преимущественно в затворах

корпусов и на напорных элементах (клиньях, дисках, золотниках) фланцевых задвижек и вентилей в период их ремонта. Станок (рис. 8) содержит привод, планшайбу с кареткой и резцом 3, полулю борштангу 2 со шпинделем в её внутренней полости. Шпиндель и борштанга соединены между собой кинематически: с одной стороны, через планшайбу и каретку, несущую резец, с другой стороны через привод, шестерни, разъемные муфты, дифференциальный механизм. Предложенная кинематическая схема с одним приводом для вращения борштанги с резцом и для радиального перемещения резца позволит создать компактную головку с минимальной массой.

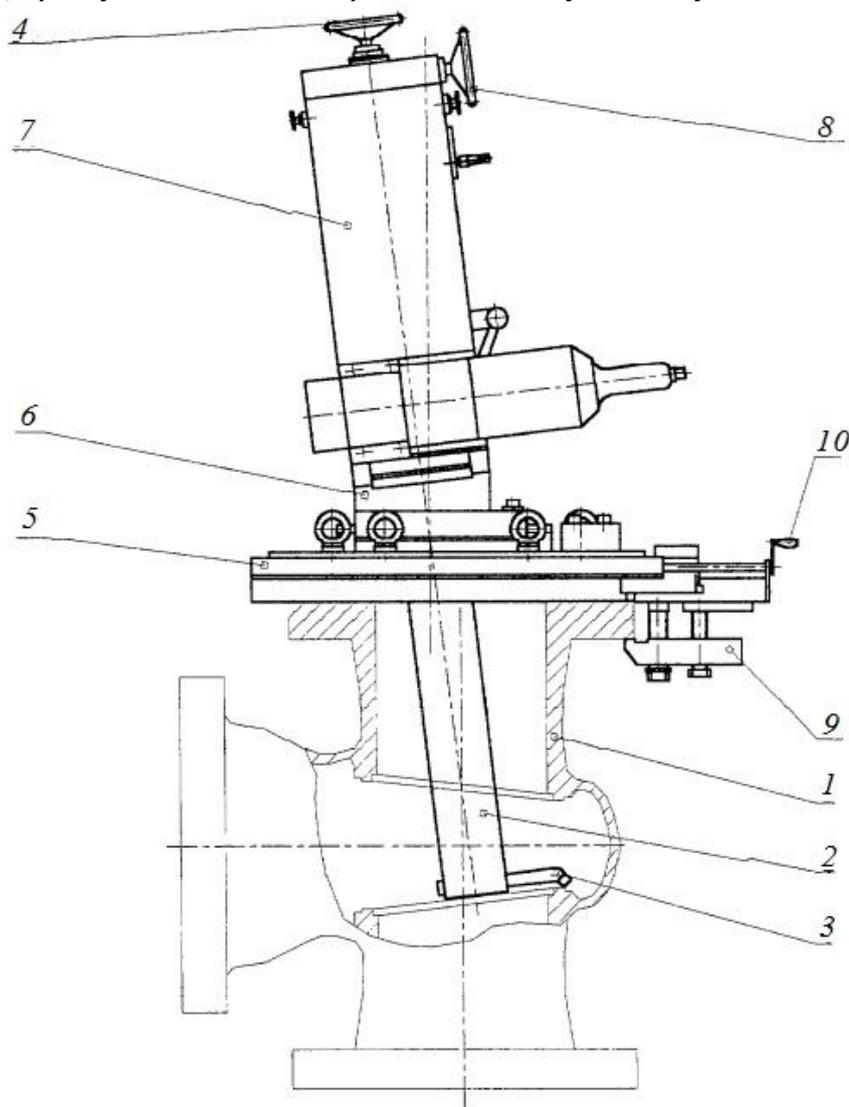


Рис. 8. Переносной станок для обработки уплотнительных поверхностей (Пат. 2144449) [40]:
 1 – корпус задвижки; 2 – борштанга; 3 – резец; 4 – маховик ручной подачи резца; 5 – стол; 6 – угловой шаблон;
 7 – головка с механизмом осевого перемещения; 8 – маховик осевого перемещения; 9 – прихват;
 10 – рукоятка зажима прихвата

Переносной станок (рис. 9) предназначен для механической обработки седел клиновых и шиберных задвижек без удаления их с трубопроводов [41]. Он состоит из устройства 1 крепления станка на задвижке, суппорта 2, направляющей 3, закрепленной в суппорте

станка с возможностью её перемещения параллельно и перпендикулярно обрабатываемой поверхности, редуктора с двигателем 4, установленным на направляющей, блока шестерен 5, зубчатого колеса 6 с радиальным пазом, имеющим форму

поперечного сечения «ласточкин хвост», зубчатого колеса 7 с выступом на торце, выполненного по архимедовой спирали, клиноремненной передачи 8, передающей вращение от валаредуктора на вал блока

шестерен 5, и резцедержателя 9 с резцом, установленного в радиальном пазу зубчатого колеса 6 и соединенного с выступом на торце зубчатого колеса 7.

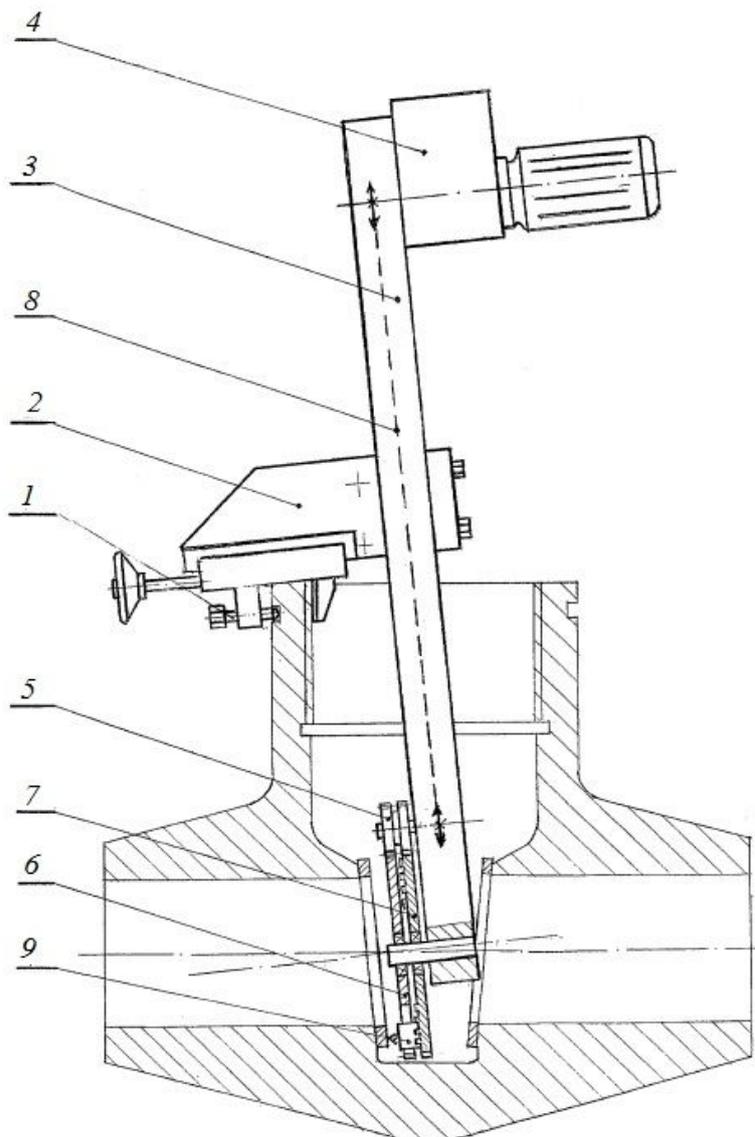


Рис. 9. Переносной станок (Пат. 46696) [41]

В работах [42, 43] приведены результаты опытно-конструкторской работы мобильного труборезного станка модели СТМ 1270-70 с электромеханическим приводом и системой управления резанием СУР-1200. Мобильный станок имеет токарный принцип обработки кромки трубы (рис. 10). Применение токарных резцов в качестве обрабатывающего инструмента обеспечивает высокую чистоту поверхности. Конструкция разъемной рамы корпуса позволяет быстро установить станок на любом прямолинейном участке трубы. Обработка (отрезка или формирование фаски на кромке трубы) производится двумя резцами. Специально спроектированный

профиль режущей кромки фасонных резцов позволяет получить ступенчатые кромки за один установ. Наличие двух резцов позволяет одновременно производить отрезку и формировать фаску на обрабатываемой трубе.

Анализ параметров существующего оборудования показал, что наиболее распространенными и применяемыми в нефтяной и газовой отрасли являются станки труборезные и кромкострогальные SUPERCUTTER [44], собираемые в России компанией СКТБ «Юнифос» [45] по лицензии G.B.C. Industrial Tools [46], и станки HD американской компании D.L.RICCI Corp., при помощи которых возможна обработка кромок труб, удовлетворяющих требованиям.

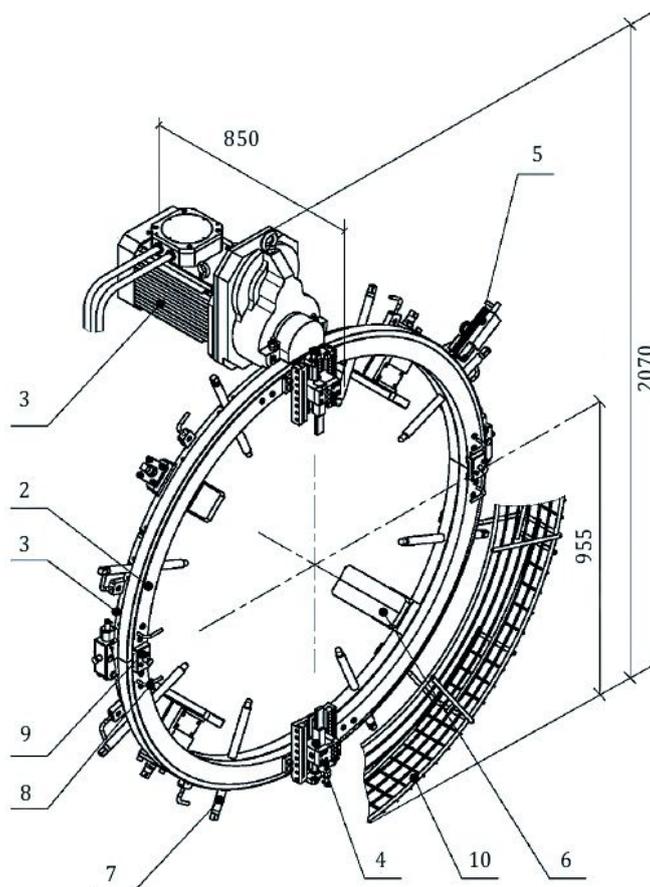


Рис. 10. Общий вид мобильного труборезного станка [42]:

- 1 – корпус (станина); 2 – подвижный разъемный корпус; 3 – взрывозащищенный электропривод; 4 – суппорт;
 5 – узел механизма подачи резца; 6 – опоры основные выдвижные; 7 – опоры вспомогательные;
 8 – штифт-фиксатор; 9 – планка фиксатор; 10 – защитное ограждение

Другим примером применения мобильных станков для решения сложных задач обработки является использование мобильных параллельных кинематических станков для 5-осевой обработки [47–49]. Их преимущество по сравнению с другими мобильными станками заключается в его полностью параллельной конструкции, которая обеспечивает малый вес и хорошую реализуемость на обрабатываемой детали в сочетании с

потенциалом 5-осевой обработки. Примером использования может служить ремонт ротора газовой турбины, вес которого составляет 15 тонн. Благодаря использованию 5-осевого мобильного станка METROM (рис. 11) удалось осуществить ремонт в 9 раз быстрее за счет отказа от транспортировки изделия вне помещения цеха, а также применения операций фрезерования вместо стандартного подхода (выполнение лазерной сварки с последующей термообработкой) [50].



Рис. 11. Использование мобильного 5-ти осевого станка METROM для ремонта газовой турбины [50]

Использование 5-осевых мобильных станков в качестве модулей дает возможность построения гибких обрабатывающих комплексов с последующей переконфигурацией под другие задачи при

необходимости. На рис. 12 и 13 приведены примеры концепции проекта по решению задачи обработки сверхгабаритных изделий.

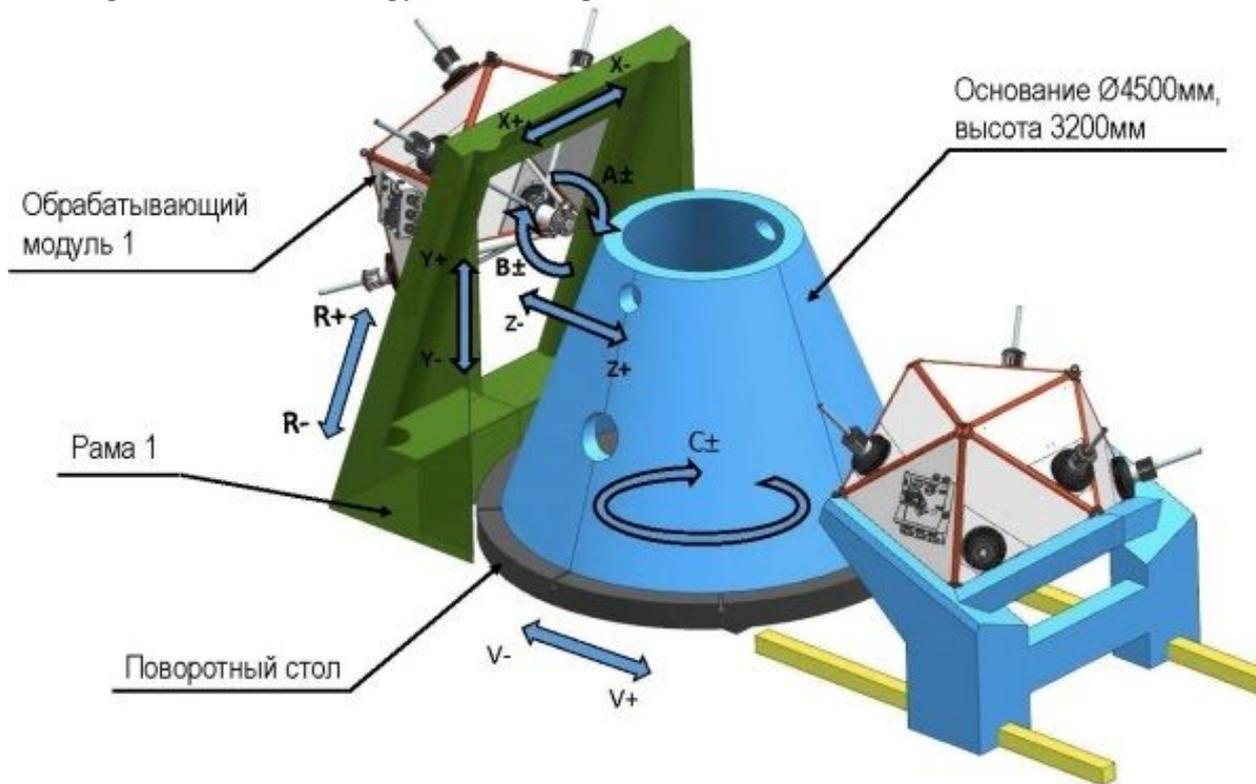


Рис.12. Обработка изделия типа «усечённый конус» [50]

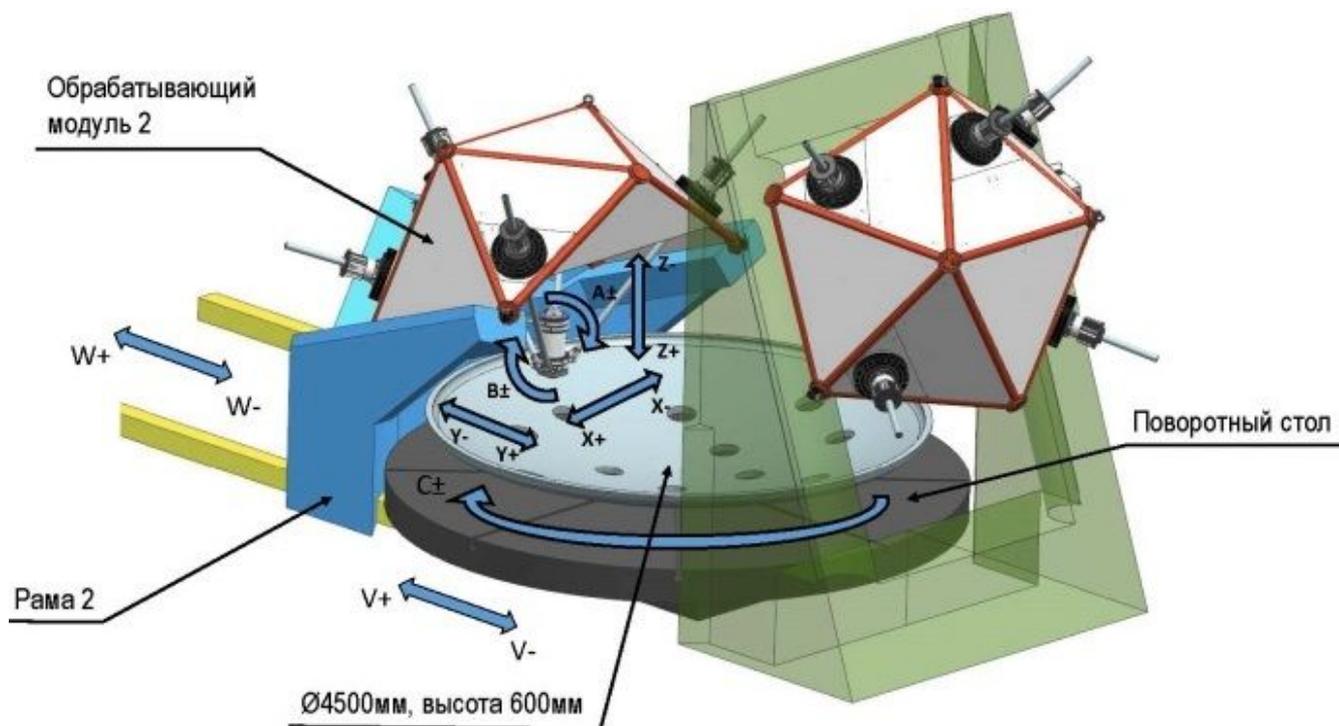


Рис. 13. Обработка изделия типа «усечённый эллипсоид вращения» [50]

Иногда использование высокотехнологичного 5-осевого оборудования нецелесообразно. В

случае выполнения относительно простых операций эффективным инструментом могут стать

станки с простой кинематикой. Среди менее технологичного, но не менее эффективного мобильного оборудования можно выделить решения от

компании MIRAGE MACHINES (рис. 14) – заслуженного лидера в производстве портативных станков для механической обработки [51, 52].



Рис. 14. Мобильные станки для обработки фланцев труб [51, 52]

Выводы: Использование больших традиционных станков для обработки крупногабаритных изделий приводит к большим абсолютным затратам. В большинстве случаев эту проблему можно решить с помощью мобильных станков. Во-первых, потому что станки можно транспортировать к месту обработки детали, а во-вторых, потому что размер их рабочей области не привязан к размерам компонента из-за принципа локального позиционирования обрабатывающего агрегата. Это означает, что небольшой мобильный станок может выполнять обработку деталей на месте, что позволяет избежать их транспортировки и использования больших энергоемких обрабатывающих центров.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Okazaki Y., Mishima N., Ashida K. Microfactory - concept, history and developments // *Journal of Manufacturing Science and Engineering, Transactions of the ASME*. 2004. № 126(4). Pp. 837–844. DOI: 10.1007/s00170-009-2411-2
2. Погонин А.А., Шрубченко И.В. Концепция проектирования встраиваемых станочных модулей для мобильной технологии восстановления // *Горные машины и автоматика*. 2004. № 7. С. 37–39.
3. Uriarte L., Zatarain M., Axinte D., Yague-Fabra J., Ihlenfeldt S., Eguia J., Olarra A. Machine tools for large parts // *CIRP Annals*. 2013. № 62. Pp. 731–750. DOI: 10.1016/j.cirp.2013.05.009
4. Neugebauer R., Priber U., Rentzsch H., Ihlenfeldt S., Hoffmann D. Mobile systems for machining large work pieces // *Enabling Manufacturing Competitiveness and Economic Sustainability*

- 4th International Conference on Changeable, Agile, Reconfigurable and Virtual Production (CARV2011). 2012. Pp. 135–140. DOI: 10.1007/978-3-642-23860-40_22

5. Koriath H.-J., Scheffler C., Kolesnikov A., Paetzold J., Lindner R. Energetische Bilanzierung und Bewertung von Werkzeugmaschinen // *eniPROD Energieeffiziente Produkt- und Prozessinnovationen in der Produktionstechnik*. Germany. 2010. Pp. 157–184.

6. Allen J., Axinte D., Roberts P., Anderson R. A review of recent developments in the design of special-purpose machine tools with a view to identification of solutions for portable in situ machining systems // *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. 2010. № 50. Pp. 843–857. DOI: 10.1007/s00170-010-2559-9

7. Tao B., Zhao X., Ding H. Mobile-robotic machining for large complex components: A review study // *Science China. Technological Sciences*. 2019. Vol. 62. № 8. Pp. 1388–1400. DOI: 10.1007/s11431-019-9510-1

8. Кольцов А.Г., Блохин Д.А., Серков А.С., Баранов В.В. Разработка мобильного устройства для восстановления направляющих крупных металлорежущих станков // *Омский научный вестник*. 2016. № 2 (146). С. 32–35.

9. Пат. 166322, Российская Федерация, МПК В 23 С 1/20. Переносной фрезерный станок для обработки поверхности станины клетей прокатных станков / Д.М. Луговской [и др.]; заявитель и патентообладатель Публичное акционерное общество "Северсталь". № 2015148681/02; заявл. 12.11.2015; опубл. 20.11.2016. 2 с.

10. Пат. 2316415, Российская Федерация, МПК В 23 В 5/00. Переносной станок для обработки преимущественно торцевых поверхностей круглых деталей / Г.А. Бородулько [и др.]; заявитель и патентообладатель Открытое акционерное общество "Конструкторское бюро специального машиностроения". № 2006118664/02; заявл. 29.05.2006; опубл. 10.02.2008, Бюл. №4. 2 с.
11. Пат. 142145, Российская Федерация, МПК В 23 В5/00. Переносной станок для обработки, преимущественно, крупногабаритных деталей / А.В. Косякин, С.А. Вдовин, А.С. Вдовин; заявитель и патентообладатель Общество с ограниченной ответственностью "Ивстанкопром". № 2013156795/02; заявл. 20.12.2013; опубл. 20.06.2014, Бюл. № 17. 2 с.
12. Boiko P.F., Timiryazev V.A., Khostikoev M.Z., Danilov I. K. Hole restoration in situ using a mobile machine tool, without disassembly // Russian Engineering Research. 2019. Vol. 39. No. 4. Pp. 345-348. DOI: 10.3103/S1068798X19040038
13. Пат. 103505, Российская Федерация, МПК В 23 F1/06. Приставной зубофрезерный станок / М.А. Федоренко, Ю.А. Бондаренко, Т.М. Санина; заявитель и патентообладатель БГТУ им. В.Г. Шухова. № 2010146620/02; заявл. 16.11.2010; опубл. 20.04.2011. 2 с.
14. Пат. 110320, Российская Федерация, МПК В 23 F1/06. Приставной вертикальный зубофрезерный станок / М.А. Федоренко, Ю.А. Бондаренко, Т.М. Санина, В.В. Дмитриев; заявитель и патентообладатель БГТУ им. В.Г. Шухова. № 2011125253/02; заявл. 20.06.2011; опубл. 20.11.2011, Бюл. № 32. 2 с.
15. Пат. 134096, Российская Федерация, МПК В 23 F1/06. Приставной вертикальный зубофрезерный станок для ремонтной обработки прямозубых зубчатых колёс / М.А. Федоренко, Ю.А. Бондаренко, Т.М. Санина, С.А. Смирных; заявитель и патентообладатель БГТУ им. В.Г. Шухова". № 2013127699/02; заявл. 18.06.2013; опубл. 10.11.2013, Бюл. № 31. 2 с.
16. Погонин А.А. Теоретическое обоснование возможности восстановления поверхностей катания крупногабаритных деталей с использованием приставных станочных модулей // Вестник БГТУ им. В. Г. Шухова. 2007. №1. С. 91–94.
17. Погонин А. А., Афанасьев А.А. Обеспечение точности механической обработки крупногабаритных деталей во время работы с использованием приставных станков. М.: ИНФРА-М, 2018. 184 с.
18. Shrubchenko I.V., Andrey V., Hurtasenko A.V., Sharapov R.R., Duyun T.A., Shchetinin N.A. Investigation of Characteristics of Contact Bandages and Support Rollers of Rotating Technological Drums // Modern Applied Science. 2015. Vol. 9. No. 1. Pp. 195–203. DOI: 10.5539/mas.v9n1p195
19. Авторское свидетельство № 1346340 СССР МКИ В23 В 5/32. Станок для обработки бандажей и опорных роликов / Н.А. Пелипенко, В.И. Рязанов, А.А. Погодин; заявитель и патентообладатель Белгородский технологический институт строительных материалов им. И.А. Гришманова. №4000133/31-08; заявл. 30.12.85; опубл. 23.10.87, Бюл. №39. 2 с.
20. Авторское свидетельство № 1738476 СССР МКИ В23 В 5/32. Станок для обработки бандажей / Ю.А. Бондаренко, М.А. Федоренко, А.А. Погодин; заявитель и патентообладатель Белгородский технологический институт строительных материалов им. И.А. Гришманова. №4820200/08; заявл. 27.04.90; опубл. 07.06.92, Бюл. №21. 2 с.
21. Пат. 38657 Российская Федерация, МПК В23 В 5/23. Станок для обработки внутренних поверхностей тел вращения большого диаметра без их демонтажа / Ю.А. Бондаренко, М.А. Федоренко; заявитель и патентообладатель БГТУ им. В.Г. Шухова. № 2003136526/20; заявл. 17.12.03; опубл. 10.07.04, Бюл. №19. 2 с.
22. Пат. 167126, Российская Федерация, МПК В 23 В 5/00. Мобильный станок для обработки крупногабаритных изделий / М.С. Чепчуrows [и др.]; заявитель и патентообладатель БГТУ им. В.Г.Шухова. № 2016125917/02; заявл. 28.06.2016; опубл. 20.12.2016. 2 с.
23. Авторское свидетельство № 1306648 СССР МКИ 4 В 23В 5/32. Станок для проточки бандажей и роликов / Н.А. Пелипенко, А.А. Погонин, И.В. Шрубченко; заявитель и патентообладатель Белгородский технологический институт строительных материалов. №3995076/31-08; заявл. 25.12.85; опубл. 30.04.87, Бюл. № 16. 2 с.
24. Сюсюка Е.Н., Пальчик К.Б., Худяков С.А. Обработка гребных валов крупнотоннажных морских судов мобильными станками // Эксплуатация морского транспорта. 2018. № 4. С. 76-79.
25. Сюсюка Е.Н. Физические основы восстановительной обработки поверхностей крупногабаритных вращающихся тел. Новороссийск: ГМУ им. Адмирала Ф.Ф. Ушакова, 2018. 147 с.
26. Svertlin A. Apparatus for in-situ crankshaft reconditioning. Patent US, No. 4.609.312. 1986.
27. Rolls-Royce. Portable special purpose cutting machine (Rolls Royce Fact Sheet). Rolls Royce Power Engineering PLC, Derby. 2007.
28. Пат. 2675329, Российская Федерация, МПК В 23 В5/32. Мобильный станок для обточки колёсных пар / Е.Е. Шпаков, А.А. Мохов; заявитель

тель и патентообладатель Е.Е. Шпаков, А.А. Мохов. № 2017141901; заявл. 30.11.2017; опубл. 18.12.2018, Бюл. №35. 2 с.

29. Пат. 180336, Российская Федерация, МПК В 23 В5/32. Мобильный станок с числовым программным управлением для токарной обработки колёсных пар подвижного состава железнодорожного транспорта / В.И. Макаев, Я.С. Власов; заявитель и патентообладатель Общество с ограниченной ответственностью "Адастра-М". № 2017124339; заявл. 10.07.2017; опубл. 08.06.2018, Бюл. № 16. 2 с.

30. Серийный подрельсовый колесотокарный станок типа А-41 мод. А41.01.000-КС (модернизированный) для обточки колесных пар без выкатки [Электронный ресурс]. URL: <https://slavers.ru/katalog/zheleznodorozhnoe-oborudovanie/kolesotokarnyie-stanki-kts/kolesotokarnyj-stanok-a-41-modernizaciya-slavers-2016-mod.-a41.01.000-ks-podrelsovyj.html> (дата обращения: 8.07.2021).

31. Буйносов А.П., Козаков Д.Ю. Разработка мобильного станка для обточки колёсных пар электропоезда // Научно-технический вестник Поволжья. 2015. № 3. С. 97-100.

32. Буйносов А.П., Умылин И.В. Мобильный станок для обточки бандажей колёсной пары моторного вагона электропоезда // Подвижной состав железных дорог, тяга поездов и электрификация. 2017. № 2. С. 46-50.

33. WTL8200 CNC PORTABLE WHEEL LATHE [Электронный ресурс]. URL: <http://www.deltawheeltruingolutions.net/locomotive-cnc-portable-wheel-lathe/> (дата обращения: 8.07.2021).

34. Пат. 185997, Российская Федерация, МПК В 23 В5/32. Мобильный станок для обточки железнодорожных колёсных пар без выкатки изпод подвижного состава / Ю.Е. Колпаков, О.Н. Зинкин, Р.В. Тюрин; заявитель и патентообладатель Ю.Е. Колпаков, О.Н. Зинкин, Р.В. Тюрин. № 2018127947; заявл. 30.07.2018; опубл. 26.12.2018, Бюл. № 36. 2 с.

35. Morrison WRB. Rail grinding apparatus. Patent US, No.4.864.776. 1989.

36. Авторское свидетельство № 688290 СССР МКИ В 23 В 5/16. Переносной станок для обработки фланцев / С.К. Корелин, С.В. Чемухин, А.А. Кошкин; Заявл. 10.05.78; Опубл. 30.09.79; Бюл. № 36. 2 с.

37. Авторское свидетельство № 689782 СССР МКИ В 23 В 5/16. Переносный станок для обработки концов труб / К.А. Ладейнов; Заявл. 07.12.77; Опубл. 05.10.79; Бюл. № 37. 2 с.

38. Авторское свидетельство № 1710193 СССР МКИ В 23 В 5/16. Переносной токарный

станок для обработки концов труб / Г.В. Блинов; Заявл. 15.02.89; Опубл. 07.02.92; Бюл. № 5. 2 с.

39. Авторское свидетельство № 1636129 СССР МКИ В 23 В 5/16. Переносной токарный станок для обработки концов труб / Г.В. Блинов, Ю.Н. Бочкарёв; Заявл. 25.11.88; Опубл. 23.03.91; Бюл. № 11. 2 с.

40. Пат. 2144449, Российская Федерация, МПК В 23 В41/00. Переносной станок для механической обработки / Д.А. Белашов, В.В. Худяков; заявитель и патентообладатель Д.А. Белашов, В.В. Худяков. № 98119058/02; заявл. 19.10.1998; опубл. 20.01.2000. 2 с.

41. Пат. 46696, Российская Федерация, МПК В 23 В41/00. Переносной станок для механической обработки уплотнительных поверхностей сёдел клиновых и шибберных задвижек без удаления их с трубопроводов / Б.Ю. Соколов; заявитель и патентообладатель ООО "Томскнефтехим". № 2005104988/22; заявл. 22.02.2005; опубл. 27.07.2005. 2 с.

42. Китов А.Г. Мобильный трубрезный станок для отрезки и обработки торцов труб диаметром 1020-1220 мм с толщиной стенки до 70 мм // Материалы и оборудование. 2013. № 1(9). С. 42-47.

43. Пат. 110016, Российская федерация, МПК В 23 D 21/04. Устройство для резки с регулируемой глубиной реза в неподвижной металлической трубе / А.Е. Брезгин; заявитель и патентообладатель Открытое акционерное общество "Акционерная компания по транспорту нефти "Транснефть" (ОАО "АК "Транснефть") (RU), Открытое акционерное общество "Верхневолжские магистральные нефтепроводы" (ОАО "Верхневолжскнефтепровод") (RU), Открытое акционерное общество "Магистральные нефтепроводы Центральной Сибири" (ОАО "Центрсибнефтепровод") (RU). № 2011120618/02; заявл. 20.05.2011; опубл. 10.11.2011, Бюл. №31. 2 с.

44. Инженерный и технологический сервис. Мобильный трубрезный станок SUPERCUTTER [Электронный ресурс]. URL: http://npfets.ru/catalog/g_b_c_/podgotovka_kromok/supercutter/ (дата обращения: 8.07.2021).

45. Специальное конструкторское и технологическое бюро. СКТБ «Юнифос» [Электронный ресурс]. URL: http://unifos.ru/index.php?module=static_page&id=1 (дата обращения: 8.07.2021).

46. G.V.C. Industrial Tools - pipe cutters, pipe bevelers, plate bevelers, grinders & flange facers [Электронный ресурс]. URL: <https://www.gbcspace.com/?lang=en> (дата обращения: 8.07.2021).

47. Tunc L.T., Shaw J. Experimental study on investigation of dynamics of hexapod robot for mobile machining // The International Journal of Advanced Manufacturing Technology. 2016. № 84. Pp.817-830. DOI: 10.1007/s00170-015-7600-6

48. Rehsteiner F., Neugebauer R., Spiewak S., Wieland F. Putting parallel kinematics machines (PKM) to productive work // CIRP Annals. 1999. № 48. Pp. 345–350. DOI: 10.1016/S0007-8506(07)63199-0

49. Axinte D.A., Allen J.M., Anderson R., Dane I., Uriarte L., Olarra A. Free-leg hexapod: a novel approach of using parallel kinematic platforms for developing miniature machine tools for special purpose operations // CIRP Annals. 2011. № 60(1). Pp. 395–398. DOI: 10.1016/j.cirp.2011.03.024

50. Интертулмаш. Официальный сайт. Мобильные станки - переносные портативные [Электронный ресурс]. URL: <https://www.it-mash.ru/> (дата обращения: 8.07.2021).

51. Joint Integrity Assurance. Hydratight [Электронный ресурс]. URL: <https://www.hydratight.com/en/products/machining/clamshells> (дата обращения: 8.07.2021).

52. Enerpac. POWERFUL SOLUTIONS. GLOBAL FORCE [Электронный ресурс]. URL: <https://www.enerpac.com/en-us/portable-machine-tools/USClamshellPipeCuttingandBeveling> (дата обращения: 8.07.2021).

Информация об авторах

Марусич Константин Викторович, кандидат технических наук, доцент кафедры технологии машиностроения, металлообрабатывающих станков и комплексов. E-mail: mkv82@mail.ru. Оренбургский государственный университет. Россия, 460018, Оренбург, пр. Победы, д. 13.

Дружинин Валерий Иванович, магистрант кафедры технологии машиностроения, металлообрабатывающих станков и комплексов. E-mail: www.kingsing1999.18@mail.ru. Оренбургский государственный университет. Россия, 460018, Оренбург, пр. Победы, д. 13.

Поступила 13.07.2021 г.

© Марусич К.В., Дружинин В.И., 2021

**Marusich K.V., Druzhinin V.I.*

Orenburg State University

**E-mail: mkv82@mail.ru*

OVERVIEW OF MOBILE MACHINE DESIGNS FOR LARGE-SIZED PRODUCTS

Abstract. *The repair of large-sized products without a specialized repair facility is usually not available due to the impossibility of ensuring high accuracy when performing mechanical processing. Nevertheless, dismantling and moving large-sized items to the repair facility significantly increase the downtime of the equipment being repaired, or it is technically impossible to perform. Specialized machines that are used to repair large-sized items in such facilities are unique and expensive. They are heavily loaded and this can lead to various risks associated with the timing of the repair. Therefore, it is necessary to reduce the time required for dismantling, moving and processing large-sized items. In this regard, the rejection of these operations in favor of the use of mobile machines will significantly reduce the time and cost of repairs of large equipment. The article discusses domestic and foreign achievements in the field of mobile machines and systems that are used for maintenance and machining of large-sized products on site without dismantling. A number of designs of specialized mobile machines for use in various industries are described.*

Keywords: *machine, mobile, attached, portable, machining.*

REFERENCES

1. Okazaki Y., Mishima N., Ashida K. Micro-factory - concept, history and developments. Journal of Manufacturing Science and Engineering, Transactions of the ASME. 2004. No. 126(4). Pp. 837–844. DOI: 10.1007/s00170-009-2411-2

2. Pogonin A.A., SHrubchenko I.V. Design concept for plug-in machine modules for mobile re-

furbishment technology. [Konceptsiya proektirovaniya vstraivaemyh stanochnyh modulej dlya mobil'noj tekhnologii vosstanovleniya]. Mining machines and automation. 2004. No. 7. Pp. 37–39. (rus)

3. Uriarte L., Zatarain M., Axinte D., Yague-Fabra J., Ihlenfeldt S., Eguia J., Olarra A. Machine tools for large parts. CIRP Annals. 2013. No. 62. Pp. 731–750. DOI: 10.1016/j.cirp.2013.05.009

4. Neugebauer R., Priber U., Rentzsch H., Ihlenfeldt S., Hoffmann D. Mobile systems for machining large work pieces. Enabling Manufacturing Competitiveness and Economic Sustainability - 4th International Conference on Changeable, Agile, Reconfigurable and Virtual Production (CARV2011). 2012. Pp. 135–140. DOI: 10.1007/978-3-642-23860-40_22
5. Koriath H.-J., Scheffler C., Kolesnikov A., Paetzold J., Lindner R. Energetische Bilanzierung und bewertung von werkzeugmaschinen. eniPROD Energieeffiziente Produkt- und Prozessinnovationen in der Produktionstechnik. Germany. 2010. Pp. 157–184.
6. Allen J., Axinte D., Roberts P., Anderson R. A review of recent developments in the design of special-purpose machine tools with a view to identification of solutions for portable in situ machining systems. International Journal of Advanced Manufacturing Technology. 2010. No. 50. Pp. 843–857. DOI: 10.1007/s00170-010-2559-9
7. Tao B., Zhao X., Ding H. Mobile-robotic machining for large complex components: A review study. Science China. Technological Sciences. 2019. Vol. 62. No. 8. Pp. 1388–1400. DOI: 10.1007/s11431-019-9510-1
8. Koltsov A.G., Blohin D.A., Serkov A.S., Baranov V.V. Development of a mobile device for restoration of guides of large metal-cutting machines. [Razrabotka mobil'nogo ustrojstva dlya vosstanovleniya napravlyayushchih krupnyh metallovezhushchih stankov]. Omsk Scientific Bulletin. 2016. No. 2 (146). Pp. 32–35. (rus)
9. Lugovskoj D.M. Portable milling machine for surface treatment of the bed of rolling mills. Patent RF, no. 166322, 2016.
10. Borodulko G.A. Portable machine tool for working, mainly end surfaces of round articles. Patent RF, no. 2316415, 2008.
11. Kosyakin A.V. Portable machine for machining mainly large parts. Patent RF, no. 142145, 2014.
12. Boiko P.F., Timiryazev V.A., Khostikoev M.Z., Danilov I. K. Hole restoration in situ using a mobile machine tool, without disassembly. Russian Engineering Research. 2019. Vol. 39. No. 4. Pp. 345–348. DOI: 10.3103/S1068798X19040038
13. Fedorenko M.A. Attached gear hobbing machine. Patent RF, no. 103505, 2011.
14. Fedorenko M.A. Attachable vertical gear hobbing machine. Patent RF, no. 110320, 2011.
15. Fedorenko M.A. Attachable vertical gear hobbing machine for repair machining of spur gears. Patent RF, no. 134096, 2013.
16. Pogonin A.A. Theoretical substantiation of the possibility of restoring the rolling surfaces of large-sized parts using attached machine modules. [Teoreticheskoe obosnovanie vozmozhnosti vosstanovleniya poverhnostej kataniya krupnogabaritnyh detalej s ispol'zovaniem pristavnyh stanochnyh modulej]. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2007. No. 1. Pp. 91–94. (rus)
17. Pogonin A.A., Afanasiev A.A. Ensuring the accuracy of machining large-sized parts during work using attachment machines. [Obespechenie tochnosti mekhanicheskoy obrabotki krupnogabaritnyh detalej vo vremya raboty s ispol'zovaniem pristavnyh stankov]. Moscow: INFRA-M, 2018. 184 p. (rus)
18. Shrubchenko I.V., Andrey V., Hurtasenko A.V., Sharapov R.R., Duyun T.A., Shchetinin N.A. Investigation of Characteristics of Contact Bandages and Support Rollers of Rotating Technological Drums. Modern Applied Science. 2015. Vol. 9. No. 1. Pp. 195–203. DOI: 10.5539/mas.v9n1p195
19. Pelipenko N.A. Machine for processing bandages and support rollers. Copyright certificate SU, no. 1346340, 1987.
20. Bondarenko Yu.A. Banding machine. Copyright certificate SU, no. 1738476, 1992.
21. Bondarenko Yu.A. Machine for processing internal surfaces of bodies of revolution of large diameter without dismantling them. Patent RF, no. 38657, 2004.
22. Chepchurov M.S. Mobile machine for processing large-sized products. Patent RF, no. 167126, 2016.
23. Pelipenko N.A. Machine for grooving tires and rollers. Copyright certificate SU, no. 1306648, 1987.
24. Shushuka E.N., Pal'chik K.B., Hudyakov S.A. Processing of propeller shafts of large-tonnage sea vessels with mobile machines. [Obrabotka grebnyh valov krupnotonnazhnyh morskikh sudov mobil'nymi stankami]. Operation of sea transport. 2018. No. 4. Pp. 76–79. (rus)
25. Shushuka E.N. Physical foundations of surface recovery treatment of large-sized rotating bodies. [Fizicheskie osnovy vosstanovitel'noj obrabotki poverhnostej krupnogabaritnyh vrashchayushchihysya tel]. Novorossiysk: GMU im. Admirala F.F. Ushakova, 2018. 147 p.
26. Svertlin A. Apparatus for in-situ crankshaft reconditioning. Patent US, no. 4.609.312. 1986.
27. Rolls-Royce. Portable special purpose cutting machine (Rolls Royce Fact Sheet). Rolls Royce Power Engineering PLC, Derby. 2007.
28. Shpakov E.E. Mobile machine for machining wheel pairs. Patent RF, no. 2675329, 2018.
29. Makaev V.I. Mobile machine with numerical control for turning wheel sets of rolling stock of railway transport. Patent RF, no. 180336, 2018.
30. Serial underfloor wheel lathe type A-41 mod. A41.01.000-KS (modernized) for turning

wheelsets without rolling out. [Serijnyj podrel'sovyj kolesotokarnyj stanok tipa A-41 mod. A41.01.000-KS (moderniziro-vannyj) dlya obtochki kolesnyh par bez vykatki]. URL: <https://slavers.ru/katalog/zheleznodorozhnoe-oborudovanie/kolesotokarnyye-stanki-kts/kolesotokarnyj-stanok-a-41-modernizaciya-slavers-2016-mod.-a41.01.000-ks-podrelsovyj.html> (date of treatment: 8.07.2021)

31. Buinosov A.P., Kozakov D.YU. Development of the mobile machine for turning of wheelpairs of the electric train. [Razrabotka mobil'nogo stanka dlya obtochki kolyosnyh par elektropoezda]. Scientific and Technical Bulletin of the Volga Region. 2015. No. 3. Pp. 97–100. (rus)

32. Buinosov A.P., Umylin I.V. Mobile machine for turning the tires of the mounted wheels of a motor wagon of an electric train. [Mobil'nyj stanok dlya obtochki bandazhej kolyosnoj pary motornogo vagona elektropoezda]. Railway rolling stock, train traction and electrification. 2017. No. 2. Pp. 46–50. (rus)

33. WTL8200 CNC PORTABLE WHEEL LATHE. URL: <http://www.deltawheeltruingsolutions.net/locomotive-cnc-portable-wheel-lathe/> (date of treatment: 8.07.2021)

34. Kolpakov Yu.E. Mobile machine for turning railway wheelsets without rolling out from under the rolling stock. Patent RF, no. 185997, 2018.

35. Morrison WRB. Rail grinding apparatus. Patent US, no.4.864.776. 1989.

36. Korelin S.K. Portable flange machining machine. Copyright certificate SU, no. 688290, 1979.

37. Ladejnov K.A. Portable machine for processing pipe ends. Copyright certificate SU, no. 689782, 1979.

38. Blinov G.V. Portable lathe for processing pipe ends. Copyright certificate SU, no. 1710193, 1992.

39. Blinov G.V. Portable lathe for processing pipe ends. Copyright certificate SU, no. 1636129, 1991.

40. Belashov D.A. Portable working machine tool. Patent RF, no. 2144449, 2000.

41. Sokolov B.Yu. Portable machine for machining the sealing surfaces of wedge and gate valve seats without removing them from pipelines. Patent RF, no. 46696, 2005.

42. Kitov A.G. Mobile pipe-cutting machine for cutting off and processing the ends of pipes with a diameter of 1020-1220 mm with a wall thickness of up to 70 mm. [Mobil'nyj truboreznyj stanok dlya otrezki i obrabotki torcov trub diametrom 1020-1220

mm s tolshchinoj stenki do 70 mm]. Materials and equipment. 2013. No. 1(9). Pp. 42–47. (rus)

43. Brezgin A.E. Cutting device with adjustable cutting depth in a fixed metal tube. Patent RF, no. 110016, 2011.

44. Engineering and technological service. Mobile pipe cutter SUPERCUTTER [Inzhenernyj i tekhnologicheskij servis. Mobil'nyj truboreznyj stanok SUPERCUTTER]. URL: http://npfets.ru/catalog/g_b_c_/podgotovka_kromok/supercutter/ (date of treatment: 8.07.2021). (rus)

45. Special design and technological bureau. SKTB "Unifos" [Special'noe konstruktorskoe i tekhnologicheskoe byuro. SKTB «YUnifos»]. URL: http://unifos.ru/index.php?module=static_page&id=1 (date of treatment: 8.07.2021). (rus)

46. G.B.C. Industrial Tools - pipe cutters, pipe bevelers, plate bevelers, grinders & flange facers URL: <https://www.gbcspace.com/?lang=en> (date of treatment: 8.07.2021)

47. Tunc L.T., Shaw J. Experimental study on investigation of dynamics of hexapod robot for mobile machining. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology. 2016. No. 84. Pp. 817–830. DOI: 10.1007/s00170-015-7600-6

48. Rehsteiner F., Neugebauer R., Spiewak S., Wieland F. Putting parallel kinematics machines (PKM) to productive work. CIRP Annals. 1999. No. 48. Pp. 345–350. DOI: 10.1016/S0007-8506(07)63199-0

49. Axinte D.A., Allen J.M., Anderson R., Dane I., Uriarte L., Olarra A. Free-leg hexapod: a novel approach of using parallel kinematic platforms for developing miniature machine tools for special purpose operations. CIRP Annals. 2011. No. 60(1). Pp. 395–398. DOI: 10.1016/j.cirp.2011.03.024

50. Intertulmash. Official site. Mobile machines - portable portable. [Intertulmash. Oficial'nyj sajt. Mobil'nye stanki - perenosnye portativnye]. URL: <https://www.itmash.ru/> (date of treatment: 8.07.2021). (rus)

51. Joint Integrity Assurance. Hydratight. URL: <https://www.hydratight.com/en/products/machining/clamshells> (date of treatment: 8.07.2021)

52. Enerpac. POWERFUL SOLUTIONS. GLOBAL FORCE. URL: <https://www.enerpac.com/en-us/portable-machine-tools/USClamshellPipeCuttingandBevelling> (date of treatment: 8.07.2021)

Information about the authors

Marusich, Konstantin V. PhD, Assistant professor. E-mail: mkv82@mail.ru. Orenburg State University. Russia, 460018, Orenburg, ave. Pobedy, 13.

Druzhinin, Valery I. Master student. E-mail: www.kingsing1999.18@mail.ru. Orenburg State University. Russia, 460018, Orenburg, ave. Pobedy, 13.

Received 13.07.2021

Для цитирования:

Марусич К.В., Дружинин В.И. Обзор конструкций мобильных станков для обработки крупногабаритных изделий // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2021. № 9. С. 97–112. DOI: 10.34031/2071-7318-2021-6-9-97-112

For citation:

Marusich K.V., Druzhinin V.I. Overview of mobile machine designs for large-sized products. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2021. No. 9. Pp. 97–112. DOI: 10.34031/2071-7318-2021-6-9-97-112