

Научно-теоретический журнал
ВЕСТНИК

БГТУ им. В.Г. Шухова

ISSN 2071-7318

8

2024

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**

№ 8, 2024 год

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

Vol. 8. 2024

Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова

научно-теоретический журнал

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

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

- 2.1.1. – Строительные конструкции, здания и сооружения (технические науки)
- 2.1.3. – Теплоснабжение, вентиляция, кондиционирование воздуха, газоснабжение и освещение (технические науки)
- 2.1.5. – Строительные материалы и изделия (технические науки)
- 2.1.11. – Теория и история архитектуры, реставрация и реконструкция историко-архитектурного наследия (архитектура)
- 2.1.12. – Архитектура зданий и сооружений. Творческие концепции архитектурной деятельности (архитектура)
- 2.1.13. – Градостроительство, планировка сельских населенных пунктов (технические науки)
- 2.1.13. – Градостроительство, планировка сельских населенных пунктов (архитектура)
- 2.1.14. – Управление жизненным циклом объектов строительства (технические науки)
- 2.6.14. – Технология силикатных и тугоплавких неметаллических материалов (технические науки)
- 2.5.4. – Роботы, мехатроника и робототехнические системы (технические науки)
- 2.5.5. – Технология и оборудование механической и физико-технической обработки (технические науки)
- 2.5.6. – Технология машиностроения (технические науки)
- 2.5.21. – Машины, агрегаты и технологические процессы (технические науки)

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

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

Наименование органа, зарегистрировавшего издание:	Журнал зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций Регистрационный номер и дата принятия решения о регистрации: ПИ № ФС77-80909 от 21 апреля 2021 г.
Учредитель/Издатель:	Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова» (БГТУ им. В.Г. Шухова) Россия, 308012, Белгородская обл., г. Белгород, ул. Костюкова, д. 46
Адрес редакции:	Россия, 308012, Белгородская обл., г. Белгород, ул. Костюкова, д. 46, БГТУ им. В.Г. Шухова, оф. 522 Гк
Адрес типографии:	Россия, 308012, Белгородская обл., г. Белгород, ул. Костюкова, д. 46, Издательский центр БГТУ им. В.Г. Шухова
Тел:	+7 (4722) 30-99-77
E-mail:	VESTNIK@intbel.ru
Официальный сайт журнала:	https://bulletinbstu.editorum.ru
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	12.08.2024
Выход в свет	28.08.2024

Формат 60×84/8. Усл. печ. л. 13,71. Уч.-изд. л. 14,75. Тираж 40 экз. Заказ № 114

© ФГБОУ ВО «Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова», 2024

Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov

scientific and theoretical journal

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

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

- 2.1.1. – Building structures, constructions and facilities (technical sciences)
- 2.1.3. – Heat supply, ventilation, air conditioning, gas supply and lighting (technical sciences)
- 2.1.5. – Building materials and products (technical sciences)
- 2.1.11. – Theory and history of architecture, restoration and reconstruction of historical and architectural heritage (architecture)
- 2.1.12. – Architecture of buildings and structures. Creative concepts of architectural activity (architecture)
- 2.1.13. – Urban planning, rural settlement planning (technical sciences)
- 2.1.13. – Urban planning, rural settlement planning (architecture)
- 2.1.14. – Life-cycle management of construction projects (technical sciences)
- 2.6.14. – Technology of silicate and refractory nonmetallic materials (technical sciences)
- 2.5.4. – Robots, mechatronics and robotic systems (technical sciences)
- 2.5.5. – Technology and equipment of mechanical and physical-technical processing (technical sciences)
- 2.5.6. – Engineering technology (technical sciences)
- 2.5.21. – Machines, aggregates and technological processes (technical sciences)

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

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

Founder / Publisher:	Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov” (BSTU named after V.G. Shukhov) 46 Kostyukova street, Belgorod, 308012, Russian Federation
Editorial office address:	46 Kostyukova street, Belgorod, 308012, Russian Federation BSTU named after V.G. Shukhov, of. 522
Printing house address:	46 Kostyukova street, Belgorod, 308012, Russian Federation Publishing Center, BSTU named after V.G. Shukhov
Tel:	+7 (4722) 30-99-77
E-mail:	VESTNIK@intbel.ru
Official website of the journal	https://bulletinbstu.editorum.ru
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:	12.08.2024

Главный редактор

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

Заместитель главного редактора

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

Члены редакционной коллегии

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

Богданов Василий Степанович, д-р техн. наук, проф., заведующий кафедрой механического оборудования Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова (РФ, г. Белгород).

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

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

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

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

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

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

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

Давидок Алексей Николаевич, д-р техн. наук, научный руководитель АО «КТБ Железобетон» (РФ, г. Москва).

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

Ерофеев Владимир Трофимович, академик РААСН, д-р техн. наук, проф., НИУ Московского государственного строительного университета (РФ, г. Москва).

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

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

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

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

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

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

Лесовик Руслан Валерьевич, д-р техн. наук, проректор по международной деятельности, проф. кафедры строительного материаловедения изделий и конструкций Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова (РФ, г. Белгород).

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

Мешерин Виктор Сергеевич, PhD, проф., директор института строительных материалов и заведующий кафедрой строительных

материалов Дрезденского Технического Университета (Германия, г. Дрезден).

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

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

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

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

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

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

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

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

Семенов Сергей Владимирович, д-р арх., проф. кафедры градостроительства Санкт-Петербургского государственного архитектурно-строительного университета (РФ, г. Санкт-Петербург).

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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, Academician of the Russian Academy of Architecture and Construction Sciences, Doctor of Architecture, Professor, Samara State Technical University, Academy of Construction and Architecture (Russian Federation, Samara).

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Aleksey N. Davidyuk, Doctor of Technical Science, KTB Beton Group (Russian Federation, Moscow).

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

Vladimir T. Erofeev, Academician of Russian Academy of Architecture and Construction Sciences, Doctor of Technical Sciences, Professor, Moscow State University of civil engineering (National research university) (Russian Federation, Moscow).

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

- Ядыкина В.В., Лебедев М.С., Выродова К.С.**
ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОЛИМЕРНО-БИТУМНЫХ
ВЯЖУЩИХ, МОДИФИЦИРОВАННЫХ ШУНГИТОМ РАЗЛИЧНЫХ
МЕСТОРОЖДЕНИЙ КАРЕЛИИ 8
- Кайс Х.А., Богданов Р.Р., Морозова Н.Н., Мавлюбердинов А.Р., Сулейманова Л.А.**
ВЛИЯНИЕ СУПЕРПЛАСТИФИЦИРУЮЩИХ ДОБАВОК НА ОСНОВЕ ЭФИРА
ПОЛИКАРБОКСИЛАТА НА СВОЙСТВА ГИПСОЦЕМЕНТНО-ПУЦЦОЛАНОВОГО
ВЯЖУЩЕГО 20
- Лукутцова Н.П., Пыкин А.А., Головин С.Н., Дудник А.В., Золотухина Н.В.**
ЭФФЕКТИВНОСТЬ СУПЕРПЛАСТИФИКАТОРОВ В МЕЛКОЗЕРНИСТОМ БЕТОНЕ
С ЗОЛОШЛАКОВОЙ СМЕСЬЮ 29
- Шипулин С.А., Беляева З.В., Миронова Л.И.**
ОЦЕНКА МЕТОДИК РАСЧЕТА ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ
ПО ПРОЧНОСТИ ПРИ ДВУХОСЕВОМ ДЕЙСТВИИ ПОПЕРЕЧНЫХ СИЛ 39
- Чесноков В.Г., Чесноков Г.А.**
УПРАВЛЕНИЕ АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНЫМИ ПРОЦЕССАМИ
В ВОРОНЕЖСКОЙ ГУБЕРНИИ В КОНЦЕ XVIII – 60-х гг. XIX в. 54
- Вовженяк П.Ю., Ярмош Т.С.**
ИНТЕРПРЕТАЦИЯ КАК МЕТОД ИССЛЕДОВАНИЯ В АРХИТЕКТУРНОМ
ПРОЕКТИРОВАНИИ 66
- Касимова А.Р., Копылова Э.Р.**
ВЛИЯНИЕ ПРИРОДНЫХ ФАКТОРОВ НА АРХИТЕКТУРНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ
ОБЪЕКТОВ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО ТУРИЗМА НА ОСОБО ОХРАНЯЕМЫХ
ПРИРОДНЫХ ТЕРРИТОРИЯХ КАМЧАТСКОГО КРАЯ 76
- Орехов А.Н.**
КИРПИЧНЫЙ «СТИЛЬ» В АРХИТЕКТУРЕ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ
РОСТОВА-НА-ДОНУ КОНЦА XIX – НАЧАЛА XX ВЕКОВ 85

МАШИНОСТРОЕНИЕ И МАШИНОВЕДЕНИЕ

- Качаев А.Е.**
ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИЧИН ПРЕЖДЕВРЕМЕННОЙ ПОЛОМКИ КОРОНКИ
СТОЙКИ РЫХЛИТЕЛЯ, ПРОИЗВЕДЕННОЙ С ПОМОЩЬЮ ТЕХНОЛОГИЙ
ПРЯМОГО РЕИНЖИНИРИНГА 98
- Мамонтов А.Н., Шпиганович А.Н., Шпиганович А.А.**
ТЕПЛОВИЗИОННЫЙ КОНТРОЛЬ ТОКОПРОВОДОВ ПРОМЫШЛЕННЫХ
АГРЕГАТОВ 111

CONSTRUCTION AND ARCHITECTURE

- Yadykina V.V., Lebedev M.S., Vyrodova K.S.**
PHYSICO-CHEMICAL PROPERTIES OF POLYMER-BITUMEN BINDERS
MODIFIED WITH SHUNGITE FROM VARIOUS DEPOSITS OF KARELIA 8
- Qais H.A., Bogdanov R.R., Morozova N.N., Mavlyuberdinov A.R., Suleymanova L.A.**
INFLUENCE OF SUPERPLASTIFYING ADDITIVES BASED
ON POLYCARBOXYLATE ETHER ON THE PROPERTIES
OF GYPSOCETMENT-POZZOLANIC BINDER 20
- Lukuttsova N.P., Pykin A.A., Golovin S.N., Dudnik A.V., Zolotukhina N.V.**
EFFICIENCY OF SUPERPLASTICIZERS IN FINE-GRAINED CONCRETE
WITH ASH AND SLAG MIXTURE 29
- Shipulin S.A., Beliaeva Z.V., Mironova L.I.**
EVALUATION OF CALCULATION METHODS OF REINFORCED CONCRETE
ELEMENTS SUBJECTED TO BIAXIAL ACTION OF SHEAR FORCES 39
- Chesnokov V.G., Chesnokov G.A.**
MANAGEMENT OF ARCHITECTURAL AND CONSTRUCTION PROCESSES
IN THE VORONEZH PROVINCE AT THE END OF THE XVIII – 60'S. XIX CENTURY 54
- Vovzhenyak P.Yu., Yarmosh T.S.**
INTERPRETATION AS A RESEARCH METHOD IN ARCHITECTURAL DESIGN 66
- Kasimova A.R., Kopylova E.R.**
THE INFLUENCE OF NATURAL FACTORS ON THE ARCHITECTURAL DESIGN
OF ECOTOURISM FACILITIES IN SPECIALLY PROTECTED NATURAL
TERRITORIES OF THE KAMCHATKA TERRITORY 76
- Orekhov A.N.**
BRICK “STYLE” IN THE ARCHITECTURE OF EDUCATIONAL INSTITUTIONS
IN ROSTOV-ON-DON IN THE END OF THE 19TH – EARLY 20TH CENTURIES 85

MACHINE BUILDING AND ENGINEERING SCIENCE

- Kachaev A.E.**
INVESTIGATION OF THE CAUSES OF PREMATURE FAILURE OF THE CROWN
OF THE RIPPER STRUCTURE PRODUCED USING DIRECT
RE-ENGINEERING TECHNOLOGIES 98
- Mamontov A.N., Shpiganovich A.N., Shpiganovich A.A.**
THERMAL CONTROL OF INDUSTRIAL UNIT CONDUCTORS 111

СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

DOI: 10.34031/2071-7318-2024-9-8-8-19

¹Ядыкина В.В., ^{1,2}Лебедев М.С., ^{1,*}Выродова К.С.¹Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова²Национальный исследовательский Томский государственный университет

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

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОЛИМЕРНО-БИТУМНЫХ ВЯЖУЩИХ, МОДИФИЦИРОВАННЫХ ШУНГИТОМ РАЗЛИЧНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ КАРЕЛИИ

Аннотация. Повысить качество дорожных покрытий позволяет применение в составе асфальтобетонной смеси полимерно-битумных вяжущих. Наиболее часто используемым полимером является сополимер стирола и бутадиена, однако он не обеспечивает достаточной долговечности асфальтобетона и имеет высокую стоимость. Существует положительный опыт решения этих проблем за счет применения полимерных композитов, наполненных тонкодисперсными порошками. Одним из перспективных наполнителей полимеров является шунгит. Целью настоящей работы явилось исследование влияния шунгита различных месторождений Карелии на структуру и свойства полимерно-битумного вяжущего. Установлено, что введение шунгита в количестве 5 мас. % изменяет физико-химические характеристики полимерно-битумного вяжущего: заметно повышается вязкость и температура размягчения, в меньшей степени изменяются показатели температуры хрупкости, а также растяжимости и эластичности. Изменения указанных свойств свидетельствуют о структурировании вяжущего тонкодисперсным шунгитом. Это явление может быть связано с переводом битума из объемного в структурированное состояние за счет его взаимодействия с поверхностью шунгитового порошка, а также за счет диффузии низкомолекулярных компонентов вяжущего в поры наполнителя. Причем образцы шунгита разных месторождений влияют на исследуемые характеристики не одинаково. Объяснение этого может заключаться в различном содержании активных адсорбционных центров на поверхности шунгита, которое находится в установленной линейной зависимости с основными характеристиками полимерно-битумного вяжущего, модифицированного шунгитом.

Ключевые слова: полимерно-битумное вяжущее, полимер, шунгит, физико-химические свойства модифицированного вяжущего..

Введение. В последние годы происходит значительное увеличение интенсивности дорожного движения и рост нагрузок на дорожное покрытие, поэтому возрастают требования к материалам для строительства и ремонта дорожного покрытия. Современные нефтяные дорожные битумы не всегда в полной мере удовлетворяют этим требованиям, так как являются термопластичными материалами и при повышенных температурах размягчаются. При низких же температурах они становятся хрупкими, что способствует образованию трещин на дорогах. Одним из методов повышения долговечности и качества дорожных покрытий является использование полимерно-битумных вяжущих в составе асфальтобетонных смесей [1–5].

Модификация битумов полимерами позволяет увеличить температурный интервал работоспособности вяжущего, его эластичность, тепло-, морозо-, атмосферостойкость и стойкость к агрессивным средам. Анализ исследований по модификации битумов полимерами показывает, что наиболее эффективными модификаторами

являются термоэластопласты (ТЭП) типа стирол-бутадиен-стирол (СБС) [4–6].

Механизм действия полимера заключается в создании в битумном вяжущем равномерной эластичной пространственной структурной сетки, которая способна при изменении температуры к обратимой пластификации и отвечает за деформационные характеристики [6]. Для лучшего распределения полимера в битуме и улучшения работы полимерно-битумных вяжущих при низких температурах, применяются пластификаторы [6, 7].

Однако наличие двойных связей в основной цепи сополимера [8] не обеспечивает высокой долговечности полимерно-битумного вяжущего, поэтому значительный интерес представляют исследования по совершенствованию существующих модификаторов или поиску новых, не уступающих по свойствам термоэластопластам.

Компаундирование полимера, например, с активными наполнителями, позволяет не только сократить содержание полимера, уменьшив его

высокую стоимость, но и обеспечить оптимальный баланс эксплуатационных свойств композита.

В других отраслях промышленности существует положительный опыт применения полимерных композитов, наполненных тонкодисперсными порошками [9–13].

Среди дисперсных наполнителей полимерных композитов достаточно широко используются углеродсодержащие порошки [14–16], одним из которых является шунгит [10, 11, 17–20].

Интерес к использованию шунгитового наполнителя по мнению исследователей [19] вызван следующими обстоятельствами: разведанные запасы шунгитовых пород оцениваются в сотни миллионов тонн; они неглубоко залегают и отличаются высоким содержанием углерода. Поскольку шунгитовый углерод обладает метастабильной структурой, а в составе шунгита присутствуют компоненты с гидрофобными и гидрофильными свойствами, он способен вводиться практически во все полярные и неполярные полимеры [9–11]. Научный и практический интерес к шунгитам усилился после обнаружения в них фуллеренов [21, 22] и наноразмерных фуллереноподобных структур [23].

Шунгит может рассматриваться как усиливающий наполнитель, при этом наличие в его составе фуллеренов позволяет использовать его в меньшем количестве по сравнению с техническим углеродом. Введение наполнителя из шунгита меняет морфологию полимера, в частности, степень кристалличности [11].

В работе [24] показано, что, интенсивность взаимодействия частиц наполнителя с макромолекулами полипропилена обусловлена химической структурой частиц. В частности, реакционная способность шунгита связывается с наличием в его составе экстрагируемых органических соединений: насыщенных алифатических кетон и сложных эфиров, имеющих разветвленное строение, с незначительной примесью ароматических соединений, которые обеспечивают высокое адгезионное взаимодействие с полимерной матрицей.

По мнению [25] сорбционные и гидрофильно-гидрофобные свойства шунгита обусловлены наличием в его составе аморфного углерода, а также металлов и их оксидов. Графитовые кольца шунгитового углерода подобны бензольным кольцам ароматических кислот, а на поверхности высокодисперсных частиц шунгита присутствуют брэнстедовские и льюисовские кислоты и основания. В адсорбционном взаимодействии также могут участвовать координационно-ненасыщенные ионы металлов, ОН-группы и π -связи ароматических колец углерода.

В работе [26] различная адгезия шунгитового порошка к полимерной матрице объясняется вероятным формированием в наполнителе агрегатов и агломератов, характеризующихся мозаичной структурой поверхности с чередующимися углеродными и минеральными частицами.

Исходя из изложенного можно предположить, что введение шунгитового порошка в полимерно-битумное вяжущее положительно отразится на его характеристиках за счет взаимодействия наполнителя с полимерной матрицей.

Известно использование шунгита для улучшения свойств битума и асфальтобетона [27–29]. Исследованиями свойств битумно-шунгитового вяжущего с использованием зондового микроскопа [28] установлено, что шунгит из-за высокой адсорбционной способности по отношению к органическому вяжущему способствует его структурированию. Кроме того, компоненты битума заполняют поры шунгита, что обеспечивает создание устойчивой структуры асфальтобетона с доминированием замкнутых пор.

Для объяснения активного взаимодействия наполнителя из шунгита с вяжущим в работе [29] использована теория кислотно-основных взаимодействий. При этом установлено, что шунгит превосходит известняк по суммарному количеству активных поверхностных центров. Опираясь на исследования [30], выявлено, что молекулы органических веществ, содержащиеся в вяжущем, могут активно взаимодействовать с поверхностью шунгита, следовательно, между битумом и шунгитом образуются прочные связи.

Количество исследований по влиянию шунгита на полимерно-битумное вяжущее невелико [31–33]. Например, результаты работы [31] показали, что введение шунгитового наполнителя в полимерно-битумное вяжущее приводит к повышению его температуры размягчения и теплоустойчивости, что связано с лучшим распределением тонкодисперсного шунгита в битуме и большей поверхностью его контакта с вяжущим.

Чтобы найти возможность применения подобных порошков в битумо-минеральных смесях без ухудшения их свойств, необходимо разобратся в механизме взаимодействия между минеральным порошком и органическим вяжущим, а также полимером. Поскольку контакт происходит по поверхности раздела фаз, для понимания структуры и механизма взаимодействия минерального порошка с органическим вяжущим, необходимо изучение свойств поверхности тонкодисперсного наполнителя. В области дорожного материаловедения анализ поверхности частиц минеральных компонентов не получил еще

должного развития, хотя здесь заключены огромные потенциальные возможности.

Целью настоящей работы явилось исследование влияния тонкодисперсного шунгита различных месторождений на структуру и свойства полимерно-битумного вяжущего.

Материалы и методы. Для получения полимерно-битумного вяжущего в работе использовался битум нефтяной дорожный марки БНД 70/100 производства Московского нефтехимического завода. Показатели битума: глубина проникания иглы при 25 °С – 83 мм; температура размягчения – 49 °С, растяжимость при 25 °С – 96 см.

В качестве полимерной добавки применялся бутадиен-стирольный термоэластопласт марки KTR-401, произведенный компанией Korea Kumho Petrochemical Co., Ltd.

Вместо традиционного индустриального масла использовался пластификатор Унипласт производства ООО «Селена» (г. Шебекино, Белгородская область), т.к. он содержит компоненты только растительного происхождения.

В качестве модифицирующей добавки служили тонкодисперсные образцы Карельского шунгита следующих месторождений:

- ✓ Образец № 1 – Максово;
- ✓ Образец № 2 – Шуньга;
- ✓ Образец № 3 – Тетюгино;
- ✓ Образец № 4 – Березовец;
- ✓ Образец № 5 – Чеболакша;
- ✓ Образец № 6 – Загогино 1;
- ✓ Образец № 7 – Загогино 2.

Все образцы шунгита прошли через сито с диаметром отверстий 0,071 мм.

Приготовление базового ПБВ осуществлялось по традиционной технологии в лабораторных условиях с помощью мешалки Silverson L5T.

Подбор соотношения компонентов ПБВ (полимера и пластификатора), проводился с применением метода математического планирования эксперимента. За функцию отклика была принята эластичность вяжущих.

По уравнению регрессии установлены оптимальные концентрации полимера и пластификатора в составе ПБВ, которые составляют $3,5 \pm 0,1\%$ СБС и $1,5 \pm 0,1\%$ Унипласта. Полученный состав был принят за базовый и использовался для подбора оптимального содержания в нем модификатора – шунгита.

Приготовление модифицированных составов с шунгитом проводили следующим образом: на основе базового вяжущего предварительно готовили полимерно-битумное вяжущее, содержащее 25–50 % шунгита по отношению к массе ПБВ, для чего ПБВ разогревали до температуры 160 °С, вводили в эту массу шунгит, затем смесь

перемешивали со скоростью 2500 об/мин в течение 5 минут. После этого, в полученную композицию вводили остальное ПБВ до достижения в нем требуемых значений концентрации шунгита и перемешивали при температуре 160 °С, сначала с высокой скоростью (6500–7000 об/мин) в течение 15 минут, затем скорость снижали до 800 об/мин и перемешивали ещё в течение 5 минут. Однородность модифицированного ПБВ определяли визуально с помощью стеклянной палочки.

После модификации исследовали основные физико-химические показатели полимерно-битумного вяжущего: глубину проникания иглы при 25 и 0 °С (ГОСТ 33136), температуру размягчения (ГОСТ 33142), растяжимость и эластичность при 25 и 0 °С (ГОСТ 33138 и ГОСТ Р 52056), максимальное усилие при растяжении при 25 °С (ГОСТ 33138) и динамическую вязкость на ротационном вискозиметре по ГОСТ (33137). Микроструктуру вяжущих анализировали с помощью лабораторно-исследовательского микроскопа AXIO SCOPE A1 (Carl Zeiss) в проходящем свете. Вязкость полимера СБС, наполненного шунгитом, определяли в МИРЭА-РТУ с помощью вибрационного реометра «MDR 3000 Basic Moving Die Rheometer» компании «Mon Tech».

Для изучения активности поверхности шунгита оценивали его способность адсорбировать соединения определенной кислотно-основной природы из водных растворов, используя индикаторный метод определения распределения центров адсорбции с применением спектрофотометрии [34].

Основная часть. При подборе процентного содержания шунгита в составе ПБВ в качестве критерия оценки были выбраны пенетрация и эластичность полученных вяжущих. Результаты проведенных испытаний для образца №6, как одного из наиболее активных, отражены на рис. 1. Для других образцов получены аналогичные зависимости.

Из рисунка видно, что рациональное содержание шунгита составляет 5 %, поскольку при дальнейшем увеличении количества наполнителя происходит значительное изменение характеристик ПБВ, что заметно по перегибу на кривых, а уже при 7%-ном содержании шунгита значения исследуемых показателей вяжущего находятся на границе требований ГОСТ. Кроме того, увеличение вязкости ПБВ нежелательно, т.к. для его размягчения потребуется довольно высокая температура нагрева, и такое вяжущее будет сложно использовать для приготовления асфальтобетонной смеси на заводе.

Исследование методом микроскопии структуры исходного и модифицированного шунгитом

том (образец №6) ПБВ показало, что при введении наполнителя образуется более тонкодисперсная однородная структура (рис. 2).

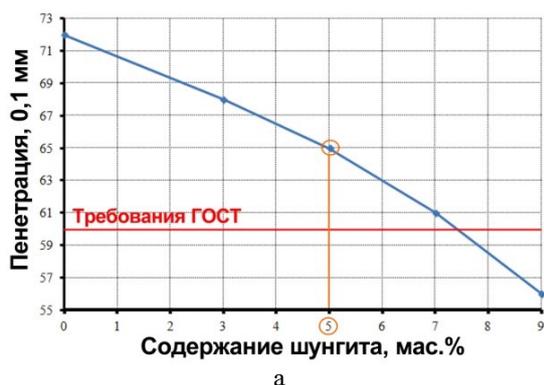


Рис. 1. Изменение свойств ПБВ в зависимости от содержания шунгита а) пенетрации при 25°C; б) эластичности при 25°C

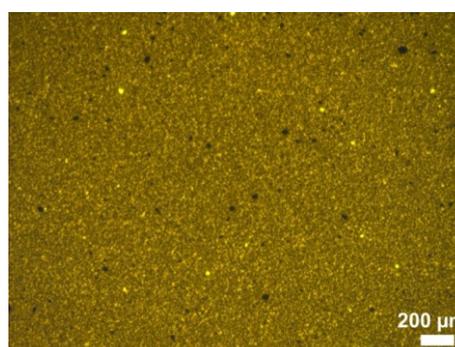
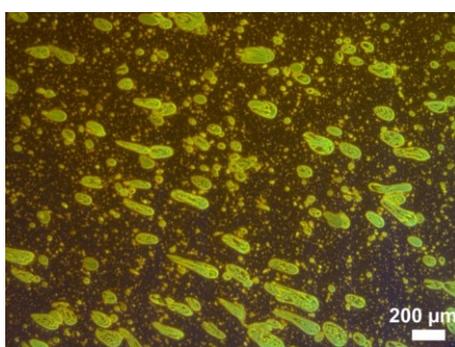


Рис. 2. Микрофотографии структуры вяжущих (увеличение 50х) а) исходного ПБВ; б) ПБВ, модифицированного шунгитом

Это согласуется с результатами работы [26], в которой установлено, что введение порошка в полимерные матрицы различной полярности способствует увеличению однородности распределения наполнителя в полимере, что положительно отражается на физико-механических и специальных свойствах композиций.

Причиной повышения дисперсности структуры ПБВ, по-видимому, является разрыв связей в макромолекулах полимера за счет механического воздействия шунгита при перемешивании [35] и формирование новой, более равномерной пространственной структурной сетки. Закономерно предположить, что одновременно происходит повышение реакционной способности полимера за счет образования некомпенсированных связей и новых активных функциональных групп на его поверхности, а также увеличения межфазной границы с наполнителем, приводящее к улучшению его взаимодействия с шунгитовым порошком. Это должно положительно отразиться на физико-химических характеристиках модифицированного ПБВ.

Результаты исследований физико-химических характеристик полимерно-битумного вяжущего, модифицированного шунгитом, представ-

лены в табл. 1. Номера составов совпадают с номерами образцов шунгита, приведенными выше. Состав 0 соответствует немодифицированному ПБВ.

Анализ полученных данных позволяет заключить, что введение шунгита изменяет свойства ПБВ: заметно повышается условная вязкость (на 6,76–13,52 %) и температура размягчения (на 1,9–7,2 °C), в меньшей степени изменяются показатели температуры хрупкости (на 1–2 °C), а также растяжимости (при 25 °C – на 1,31–6,69 %; при 0 °C – на 1,92–6,37 %) и эластичности (при 25 °C – на 2,26–4,4 %; при 0 °C – на 0,54–4,27 %). Причем, наполнители разных месторождений по-разному влияют на характеристики ПБВ.

Наибольшее снижение пенетрации и повышение температуры размягчения зафиксировано для образцов шунгита месторождений Зажогоино 2 и 1 (№ 7 и 6), Березовец (№4), Максво (№1), далее по убыванию: Тетюгино (№3), Чеболакша (№5), Шуньга (№2). Повышение температуры размягчения положительно отразится на теплоустойчивости асфальтобетона и его деформативных характеристиках.

Изменение указанных свойств ПБВ свидетельствуют о структурировании вяжущего тонкодисперсным шунгитом. Это явление может быть связано с переводом битума из объемного в

структурированное состояние за счет его взаимодействия с поверхностью шунгитового порошка, а также за счет диффузии низкомолекулярных компонентов вяжущего в поры наполнителя.

Таблица 1

Физико-химические характеристики полимерно-битумного вяжущего, модифицированного шунгитом

Номера составов	Пенетрация, мм		Температура размягчения, °С	Растяжимость, мм		Эластичность, %		Температура хрупкости, °С	Максимальное усилие при разрыве
	при 25 °С	при 0 °С		при 25 °С	при 0 °С	при 25 °С	при 0 °С		
0	74	39	62,2	68,8	15,7	88,7	75,1	-21	1,57
1	66	35	67,2	65,7	14,8	86,1	73,7	-23	1,96
2	69	37	64,4	67,2	15,3	86,5	74,3	-22	1,89
3	67	36	65,3	66,4	15,4	86,6	74,3	-22	1,92
4	65	35	67,6	65,3	14,8	85,7	73,1	-23	1,96
5	68	36	64,1	67,9	15,0	86,7	74,7	-23	1,87
6	65	35	69,4	64,6	14,7	85,4	72,5	-23	2,01
7	64	34	69,1	64,2	14,7	84,8	71,9	-23	2,07
ГОСТ ПБВ 60	60	32	54	25	11	80	70	-20	-

Известно [34], что минеральные материалы могут взаимодействовать практически со всеми органическими веществами, входящими в состав битума, за счет наличия на их поверхности кислотных и основных центров Бренстеда и Льюиса.

Как указано выше, шунгитовый наполнитель, как и любой другой, может также взаимодействовать с полимером, входящим в состав ПБВ. По данным [36, 37], молекулярное взаимодействие между полимером и наполнителем может протекать с образованием прочных химических связей, а также всего спектра физических связей – от Ван-дер-Ваальсовых до водородных, обуславливающих явления смачивания, адгезии и образования межфазных слоев. Большое значение при этом имеет состояние поверхности наполнителя.

Поскольку макромолекулы СБС содержат бензольные кольца и π -связи, закономерно предположить, что полимер также, как и битум, способен адсорбироваться на активных бренстедовских и льюисовских центрах поверхности шунгита. О взаимодействии СБС с шунгитом свидетельствует увеличение вязкости системы полимер-шунгит, зафиксированной по изменению крутящего момента. Установлено, что исследуемый показатель для наполненного полимера на 13,6% превышает аналогичный без шунгита.

Изучение свойств поверхности исследуемых порошков шунгита показало, что реакционная способность, оцениваемая по количеству кислотных и основных центров Бренстеда и Льюиса,

очень различается. Самое большое количество активных бренстедовских центров, оказывающих наибольшее влияние на взаимодействие с битумом [34], содержится на поверхности шунгита месторождения Березовец (номер 4) и Зажого (номера 6 и 7), наименьшее – на поверхности образцов месторождения Шуньга (номер 2) и Чеболакша (номер 5). Общее количество активных центров имеет аналогичную тенденцию.

Взаимосвязи активности поверхности наполнителей из шунгита различных месторождений с пенетрацией и температурой размягчения модифицированного ПБВ представлены на рис. 3. Цифры на линиях соответствуют номерам образцов шунгита.

Анализ результатов позволил установить линейные зависимости между количеством активных адсорбционных центров поверхности шунгита различных месторождений и основными характеристиками полимерно-битумного вяжущего.

Одной из ключевых характеристик битумного вяжущего является его динамическая вязкость. Этот показатель влияет на энергетические затраты при перекачивании ПБВ по трубопроводам, а также на режимы перемешивания и уплотнения асфальтобетонной смеси.

На рис. 4 предоставлены результаты определения динамической вязкости в диапазоне температур от 165 до 100 °С для образцов ПБВ, наполненных шунгитом разных месторождений.

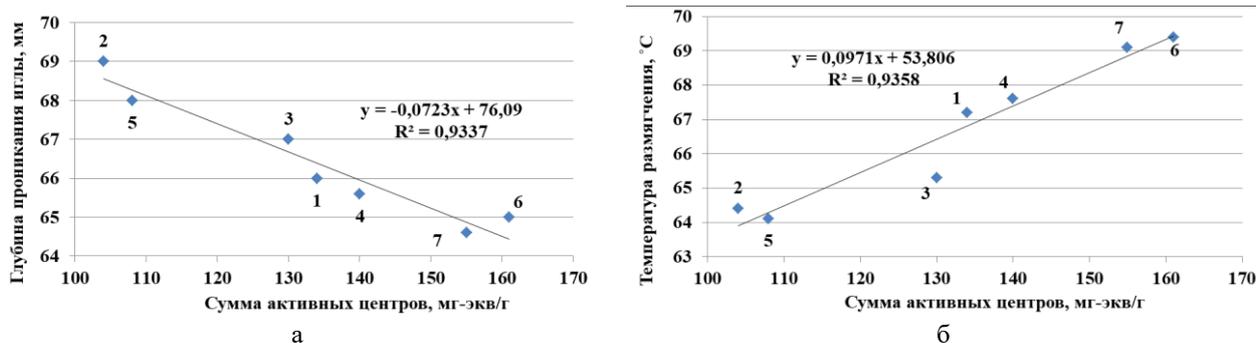


Рис. 3. Взаимосвязь активности поверхности шунгита со свойствами ПБВ
 а) пенетрацией при 25°C; б) температурой размягчения

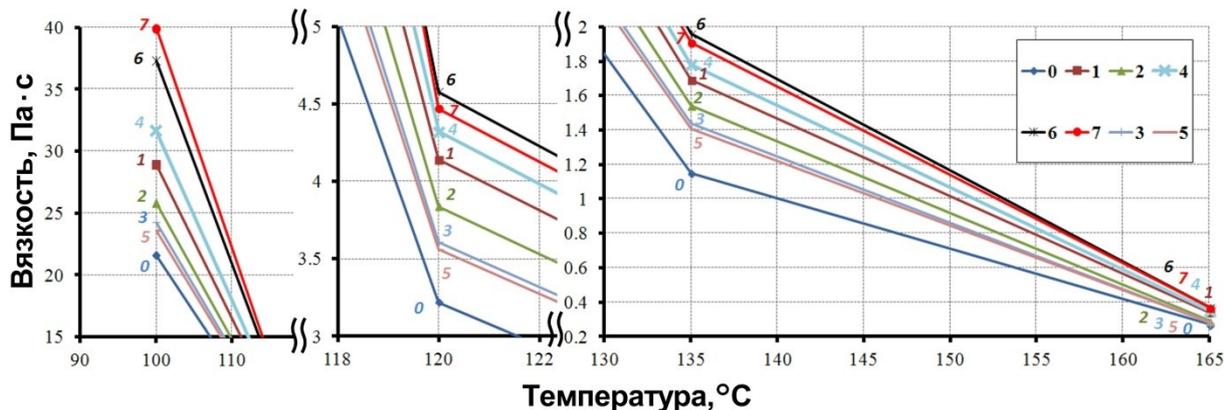


Рис. 4. Динамическая вязкость исследуемых составов

Из результатов видно, что при технологической температуре (165 °С) вязкость модифицированных ПБВ незначительно отличается от вязкости исходного, поэтому введение шунгита не окажет отрицательного влияния на процессы перекачивания вяжущего и перемешивания его с минеральными материалами.

При снижении температуры динамическая вязкость модифицированных ПБВ увеличивается, особенно для образцов 7, 6, 1, 4, что должно

положительно отразиться на прочности, теплоустойкости, сдвигоустойчивости асфальтобетонного покрытия.

Показатели динамической вязкости также хорошо коррелируют с активностью поверхности шунгита.

Структурирующая способность шунгитовых порошков разных месторождений исследована также по изменению максимального усилия при растяжении вяжущего на дуктилометре, характеризующего когезионную прочность вяжущего. Результаты представлены на рис. 5.



Рис. 5. Максимальное усилие при растяжении при 25 °С

По мнению [37], введение частиц наполнителя в эластомерные композиты значительно увеличивает прочность на разрыв, которая обусловлена их структурой, сильными межфазовыми взаимодействиями между частицами наполнителя и полимерной матрицей. При этом прочность полимерных композиционных материалов определяется Ван-дер-Ваальсовыми силами межмолекулярного взаимодействия и силами главных химических валентностей полимерной матрицы. Когда макромолекулы матрицы не ориентированы (малонаполненные композиты), связи расположены под большими углами к направлению приложенной нагрузки. В такой ситуации макромолекулы обладают достаточной гибкостью.

Силы межмолекулярного взаимодействия также играют важную роль в процессах структурообразования системы «битум–полимер–шунгит». При этом наполнитель также включен в активное участие, поскольку содержит шунгитовый углерод – потенциально гидрофобный компонент, имеющий хорошее сродство к органической матрице битума и добавке СБС. Этот аспект представляется важным, и требует дополнительных исследований и анализа. В частности, можно предположить, что содержание шунгитового углерода и его взаимодействие с минеральными фазами отражается на однородности распределения частиц наполнителя и углерод-минеральных агрегатов в лиофильной матрице битума.

Возникающие донорно-акцепторные взаимодействия, реализуемые, в том числе, за счет водородных связей, между частицами высокодисперсного шунгита и органической системой битума с полимером вносят дополнительный вклад в процессы структурообразования. Из представленных на рис. 5 результатов видно, что наибольшей структурирующей способностью обладают образцы шунгита месторождений Зажогоино (номера 6 и 7), содержащего на поверхности наибольшее количество активных адсорбционных центров. Показатель когезионной прочности модифицированного ПБВ по сравнению с исходным увеличился на 31,84% (состав № 7). Увеличение данного показателя позволит обеспечить создание прочного и долговечного дорожного покрытия.

Выводы

1. Введение шунгита в состав полимерно-битумного вяжущего изменяет его физико-химические характеристики: повышается вязкость и температура размягчения, снижается растяжимость; в меньшей степени изменяются показатели температуры хрупкости, а также эластичности, что свидетельствует о структурировании вяжущего тонкодисперсным шунгитом.

2. Структурирующая способность шунгитовых порошков разных месторождений различается. Установлена взаимосвязь структурирующего влияния наполнителей с количеством активных адсорбционных центров на их поверхности. Коэффициент корреляции между этой величиной и показателями пенетрации и температуры размягчения составляет 0,933 и 0,935 соответственно.

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

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Вольфсон С.И., Хакимуллин Ю.Н., Закирова Л.Ю., Хусаинов А.Д., Вольфсон И.С., Макаров Д.Б., Хозин В.Г. Разработка полимерных добавок для модификации дорожного битума. Исследование эксплуатационных характеристик составов битум-полимерных вяжущих // Вестник Казанского технологического университета. 2016. Т. 19. № 19. С. 95–98.
2. Галдина В.Д. Влияние полимерных добавок на свойства битума и асфальтобетона // Вестник СибАДИ. 2009. № 2 (12). С. 32–36.
3. Братчун В.И., Беспалов В.Л., Пактер М.К., Ромасюк Е.А. Теоретико-экспериментальные принципы получения модифицированных дорожных асфальтобетонов повышенной долговечности: монография. М.: Донецк: Издательство ООО «НПП Фиолант». 2020. 244 с.
4. Airey G.D. Rheological properties of styrene butadiene styrene polymer modified road bitumens. Fuel 2003.82(14). Pp. 1709–1719. DOI: 10.1016/s0016-2361(03)00146-7
5. Русаков М.Н., Исмаилов А.М. Стирол-бутадиен-стирольные полимеры для автодорожного строительства в Российской Федерации // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2020. № 87. С. 23–40. DOI: 10.18720/CUBS.87.3
6. Гохман Л.М. Комплексные органические вяжущие материалы на основе блоксополимеров типа СБС. М.: ЗАО «Экон-Иноформ». 2004. 585 с.
7. Высоцкая М.А., Кузнецов Д.А., Литовченко Д.П., Барковский Д.В., Ширяев А.О. Пластификатор при производстве полимерно-битумных вяжущих – как необходимость // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2019. № 5. С. 16–22. DOI: 10.34031/article_5cd6df466bb9e0.32764094
8. Пузакова Е. В., Закирова Л. Ю., Вольфсон И. С., Хакимуллин Ю.Н., Аюпов Д.А., Мурафа А.В., Хозин В.Г. Влияние состава термоэластопластов на свойства модифицированных битумов // Вестник Казанского технологического университета. 2013. №1. С. 120–121.

9. Колосова А.С., Сокольская М.К., Виткалова И.А., Торлова А.С., Пикалов Е.С. Наполнители для модификации современных полимерных композиционных материалов // *Фундаментальные исследования*. 2017. № 10 (3). С. 459–465.
10. Ключникова Н.В., Пискарева А.О., Урванов К.А., Гордеев С.А., Генев И. Влияние шунгита на эксплуатационные свойства полимерного композиционного материала // *Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова*. 2020. № 2. С. 96–105. DOI: 10.34031/2071-7318-2020-5-2-96-105
11. Бабаев А.А., Саадуева А.О., Теруков Е.И., Ткачев А.Г. Полимерные композиты на основе шунгита и углеродного наноматериала Таунит-м для радиозащитных покрытий // *Физикохимия поверхности и защита материалов*. 2021. № 3. Т. 57. С. 262–276. DOI: 10.31857/S0044185621030074
12. Mumtaz N., Li Y., Artiaga R., Farooq Z., Mumtaz A., Guo Q., Nisa F.U. Fillers and methods to improve the effective (out-plane) thermal conductivity of polymeric thermal interface materials – A review // *Heliyon*. 2024. №10(3). e25381. DOI: 10.1016/j.heliyon.2024.e25381
13. Yadav R., Singh M., Shekhawat D., Lee S.Y., Park S.J. The role of fillers to enhance the mechanical, thermal, and wear characteristics of polymer composite materials: A Review // *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*. 2023. Vol. 175. 107775. DOI: 10.1016/j.compositesa.2023.107775
14. Li Z., Yu X., Liang Y., Wu S. Carbon nanomaterials for enhancing the thermal, physical and rheological properties of asphalt binders // *Materials*. 2021. Vol. 14(10). 2585. DOI: 10.3390/ma14102585
15. Luo L., Awed A.M., Oeser M., Liu P. Mechanisms of interfacial load transfer in the fracture process of carbon nanotube-reinforced bitumen composites // *Engineering Fracture Mechanics*. 2023. Vol. 290. 109521. DOI: 10.1016/j.engfracmech.2023.109521
16. Ul Haq M.F., Anwar W., Ahmad N., Khitab A., Jamal M., Hillssan S. Carbon nanotubes and their use for asphalt binder modification: A review // *Emerging Materials Research*. 2020. №9(2). Pp. 234–247. DOI: 10.1680/jemmr.18.00115
17. Barashkova I.I., Motyakin M.V., Komova N.N., Yasina L.L., Potapov E.E., Wasserman A.M. EPR spin probe study of local mobility at the shungite // *Elastomer interface, Appl Magn Reson*. 2015. Vol. 46. № 7. Pp. 1421–1427. DOI: 10.1007/s00723-015-0709-9
18. Потапов Е.Э., Бобров А.П., Емельянов С.В., Юлдашев Т.У., Дудник С.М., Салыч Е.Г., Алимпиев С.В. Изучение возможности использования шунгита как носителя традиционных ингредиентов резиновых смесей // *Конференция с международным участием «Шунгит 2020-2021»*. 2021. С. 77–78.
19. Тимофеева В.А., Соловьева А.Б., Ерина Н.А., Рожков С.С., Кедрина Н.Ф., Зархина Т.С., Нещадина Л.В., Рожкова Н.Н. Влияние шунгитового наполнителя на структуру и свойства полипропилена // *Геология и полезные ископаемые Карелии Петрозаводск*. 2006. № 9. С. 145–155.
20. Шашок Ж.С., Касперович А.В., Усс Е.П. Влияние шунгита различных марок на технологические свойства резиновых смесей // *Международная научно-техническая конференция "Новейшие достижения в области инновационного развития в химической промышленности и производстве строительных материалов"*. Минск. 2015. С. 439–442.
21. Rozhkova N.N., Andrievskiy G.V. Fullerenes in shungite carbon // *Collection of Scientific Articles of the International Symposium on Fullerenes and Fullerenelike Structures*. Minsk. 2000. Pp. 63–69.
22. Гречкин П. В. Фуллерены в шунгитовых материалах: история и перспективы применения в наноиндустрии // *Сборник научных трудов 8-й Международной молодежной научной конференции*. 2021. С. 251–255.
23. Зайденберг А.З., Ковалевский В.В., Рожкова Н.Н., Туполев А.Г. О фуллереноподобных структурах шунгитового углерода // *Журнал физической химии*. 1996. №1 (70). С. 107–110.
24. Дубникова И.Л., Кедрина Н.Ф., Соловьева А.Б., Тимофеева В.А., Рожкова Н.Н., Ерина Н.А., Зархина Т.С. Влияние природы наполнителя на кристаллизацию и механические свойства наполненного полипропилена // *Высокомолекулярные соединения. Серия А*. 2003. №3. С. 468–475.
25. Ульянов А.В., Полунина И.А., Полунин К.Е., Буряк А.К. Адсорбционные свойства тиосодержащего шунгита // *Коллоидный журнал*. 2018. Т. 80. № 5. С. 591–600. DOI: 10.1134/S0023291218050178
26. Рожкова Н.Н. *Наноуглерод шунгитов*. М.: Петрозаводск: КарНЦ РАН. 2011. 100 с.
27. Подольский Вл.П., Черноусов Д.И. Влияние шунгитового минерального порошка на изменение структурно-механических свойств асфальтобетона во времени // *Наука и инновации в строительстве*. 2008. С. 394–399.
28. Подольский Вл.П., Черноусов Д.И., Усачев С.М. Исследование свойств битумо-шунгитового вяжущего на сканирующем микроскопе // *Научный вестник ВГАСУ. Строительство и архитектура*. 2010. №4 (20). С. 93–99.

29. Высоцкая М.А., Русина С.Ю., Беляев Д., Киселев О. Шунгит – как компонент битумоминеральной композиции для дорожной отрасли // Сборник статей и докладов ежегодной научной сессии Ассоциации исследователей асфальтобетона. Москва. 2015. С. 18–26.

30. Ядыкина В.В., Кузнецов А.В. Влияние природы минерального порошка на свойства асфальтобетона // Проблемы архитектуры и строительства: Сборник материалов XXI региональной научно-технической конференции. КрасГАСА. Красноярск. 2003. С. 162–165.

31. Yadykina V.V., Vyrodova K.S., Potapov E.E. Efficiency of using shungite filler for modifying organic binder // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. Buildintech bit 2020. Innovations and technologies in construction. 2020. 012025. DOI: 10.1088/1757-899X/945/1/012025

32. Шевердяев О.Н., Крынкина В.Н. Новые высокодисперсные минеральные наполнители для битумно-полимерных композиционных материалов // Энергосбережение и водоподготовка. 2007. С. 74–75.

33. Выродова К.С., Михайлова О.А. Изменение свойств дорожного битума под влиянием каучуко-шунгитового композита // В сборнике Национальной конференции с международным участием «Международная научно-техническая конференция молодых ученых БГТУ им. В.Г. Шухова». 2021. С. 1933–1938.

34. Ядыкина В.В. Повышение качества асфальто- и цементбетона из техногенного сырья с учетом состояния его поверхности : диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук. М.: Белгород. 2004. 455 с.

35. Барамбойм Н.К. Механохимия высокомолекулярных соединений. М.: Химия, 1978. 384 с.

36. Липатов Ю.С. Физико-химия наполненных полимеров. М.: Химия. 1977. 303 с.

37. Хачатуров А.А., Фионов А.С., Колесов В.В., Потапов Е. Э., Ильин Е. М. Функциональные эластомерные композиционные материалы на основе бутадиен-стирольного каучука и магнетита // РЭНСИТ. 2019. №2. С. 189–198.

Информация об авторах

Ядыкина Валентина Васильевна, доктор технических наук, профессор кафедры автомобильных и железных дорог им. А.М. Гридчина. E-mail: vvya53@yandex.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Лебедев Михаил Сергеевич, кандидат технических наук, старший научный сотрудник. E-mail: michaell1987@yandex.ru. Национальный исследовательский Томский государственный университет. Россия, 634050, Томск, пр. Ленина, д. 36. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

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

Поступила 17.05.2024 г.

© Ядыкина В.В., Лебедев М.С., Выродова К.С., 2024

¹Yadykina V.V., ^{1,2}Lebedev M.S., ¹Vyrodova K.S. *

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

²National Research Tomsk State University

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

PHYSICO-CHEMICAL PROPERTIES OF POLYMER-BITUMEN BINDERS MODIFIED WITH SHUNGITE FROM VARIOUS DEPOSITS OF KARELIA

Abstract. *The use of polymer-bitumen binders as part of an asphalt concrete mixture allows to improve the quality of road surfaces. The most commonly used polymer is styrene and butadiene copolymer, however, it does not provide sufficient durability of asphalt concrete and has a high cost. There is a positive experience in solving these problems through the use of polymer composites filled with fine powders. One of the promising polymer fillers is shungite. The purpose of this work was to study the effect of shungite from various deposits of Karelia on the structure and properties of polymer-bitumen binder. It was found that the introduction of shungite in the amount of 5 wt.% changes the physico-chemical characteristics of polymer-bitumen binders: the viscosity and softening temperature increase markedly, the temperature of brittleness, as well as extensibility and elasticity change to a lesser extent. Changes in these properties indicate the structuring of the binder by finely dispersed shungite. This phenomenon may be associated with the transfer of bitumen from a volumetric to a structured state due to its interaction with the surface of the shungite powder, as well as due to the*

diffusion of low-molecular components of the binder into the pores of the filler. Moreover, shungite samples from different deposits do not affect the studied characteristics in the same way. The explanation for this may lie in the different content of active adsorption centers on the surface of shungite, which is in a linear relationship with the main characteristics of the polymer-bitumen binder modified with shungite.

Keywords: *polymer-bitumen binder, polymer, shungite, physico-chemical properties of the modified binder.*

REFERENCES

1. Wolfson S.I., Khakimullin Yu.N., Zakirova L.Yu., Khusainov A.D., Wolfson I.S., Makarov D.B., Khozin V.G. Development of polymer additives for modification of road bitumen. Investigation of the operational characteristics of bitumen-polymer binder compositions [Razrabotka polimernykh dobavok dlya modifikatsii dorozhnogo bituma. Issledovanie ekspluatatsionnykh harakteristik sostavov bitum-polimernykh vyazhushchih]. Bulletin of the Kazan Technological University. 2016. Vol. 19. No. 19. Pp. 95–98. (rus)
2. Galdina V.D. The effect of polymer additives on the properties of bitumen and asphalt concrete [Vliyanie polimernykh dobavok na svoystva bituma i asfal'tobetona]. Bulletin of SibADI. 2009. No. 2. Iss. 12). Pp. 32–36. (rus)
3. Bratchun V.I., Bepalov V.L., Pakter M.K., Romasyuk E.A. Theoretical and experimental principles of obtaining modified asphalt road concrete of increased durability: monograph. [Teoretiko-eksperimental'nye principy polucheniya modifitsirovannykh dorozhnykh asfal'tobetonov povyshennoj dolgovechnosti: monografiya.]. Donetsk: Publishing House of NPP Fiolant LLC, 2020. 244 p. (rus)
4. Airey G.D. Rheological properties of styrene butadiene styrene polymer modified road bitumens. Fuel 2003. Vol. 82. Iss. 14. Pp. 1709–1719. DOI: 10.1016/s0016-2361(03)00146-7
5. Rusakov M.N., Ismailov A.M. Styrene-butadiene-styrene polymers for road construction in the Russian Federation [Stirol-butadien-stirol'nye polimery dlya avtodorozhnogo stroitel'stva v Rossijskoj Federacii]. Construction of unique buildings and structures. 2020. No. 87. Pp. 23–40. DOI: 10.18720/CUBS.87.3 (rus)
6. Gokhman, L.M. Complex organic binders based on block copolymers of the SBS type [Kompleksnye organicheskie vyazhushchie materialy na osnove blokopolimerov tipa SBS]. CJSC Ekon-Inform, 2004. 585 p. (rus)
7. Vysotskaya M.A., Kuznetsov D.A., Litvchenko D.P., Barkovsky D.V., Shiryaev A.O. Plasticizer in the production of polymer-bitumen binders – as a necessity [Plastifikator pri proizvodstve polimerno-bitumnykh vyazhushchih – kak neobhodimost']. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2019. No. 5. Pp. 16–22. DOI: 10.34031/article_5cd6df466bb9e0.32764094 (rus)
8. Puzakova E.V., Zakirova L.Yu., Wolfson I.S., Khakimullin Yu.N., Ayupov D.A., Murafa A.V., Khozin V.G. Influence of the composition of thermoplastics on the properties of modified bitumen [Vliyanie sostava termoelastoplastov na svoystva modifitsirovannykh bitumov]. Bulletin of the Kazan Technological University. 2013. No.1. Pp. 120–121. (rus)
9. Kolosova A.S., Sokolskaya M.K., Vitkalova I.A., Torlova A.S., Pikalov E.S. Fillers for modification of modern polymer composite materials [Napolniteli dlya modifikatsii sovremennykh polimernykh kompozitsionnykh materialov]. Fundamental research. 2017. No. 10. Iss. (3). Pp. 459–465. (rus)
10. Klyuchnikova N.V., Piskareva O.A., Urvanov K.A., Gordeev S.A., Genov I. Influence of shungite on performance properties of polymeric composite material [Vliyanie shungita na ekspluatatsionnye svoystva polimernogo kompozitsionnogo materiala]. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2020. No. 2. Pp. 96–105. DOI: 10.34031/2071-7318-2020-5-2-96-105 (rus)
11. Babaev A.A., Saadueva A.O., Terukov E.I., Tkachev A.G. Polymer composites based on shungite and carbon nanomaterial Taunit-m for radioprotective coatings [Polimernye kompozity na osnove shungita i uglerodnogo nanomateriala Taunit-m dlya radiozashchitnykh pokrytij]. Physicochemistry of the surface and protection of materials. 2021. No. 3. Vol. 57. Pp. 262–276. (rus)
12. Mumtaz N., Li Y., Artiaga R., Farooq Z., Mumtaz A., Guo Q., Nisa F.U. Fillers and methods to improve the effective (out-plane) thermal conductivity of polymeric thermal interface materials – A review. Heliyon. 2024. Vol. 10. Iss. 3. e25381. DOI: 10.1016/j.heliyon.2024.e25381
13. Yadav R., Singh M., Shekhawat D., Lee S.Y., Park S.J. The role of fillers to enhance the mechanical, thermal, and wear characteristics of polymer composite materials: A Review. Composites Part A: Applied Science and Manufacturing. 2023. Vol. 175. 107775. DOI: 10.1016/j.compositesa.2023.107775
14. Li Z., Yu X., Liang Y., Wu S. Carbon nanomaterials for enhancing the thermal, physical and rheological properties of asphalt binders. Materials. 2021. Vol. 14. Iss. 10. 2585. DOI: 10.3390/ma14102585
15. Luo L., Awed A.M., Oeser M., Liu P. Mechanisms of interfacial load transfer in the fracture process of carbon nanotube-reinforced bitumen composites. Engineering Fracture Mechanics. 2023.

Vol. 290. 109521. DOI: 10.1016/j.engfrac-mech.2023.109521

16. Ul Haq M.F., Anwar W., Ahmad N., Khitab A., Jamal M., Hillssan S. Carbon nanotubes and their use for asphalt binder modification: A review // *Emerging Materials Research*. 2020. Vol. 9. Iss. 2. Pp. 234–247. DOI: 10.1680/jemmr.18.00115

17. Barashkova I.I., Motyakin M.V., Komova N.N., Yasina L.L., Potapov E.E., Wasserman A.M. EPR spin probe study of local mobility at the shungite. Elastomer interface, *Appl Magn Reson*. 2015. Vol. 46. No. 7. Pp. 1421–1427. DOI: 10.1007/s00723-015-0709-9

18. Potapov E.E., Bobrov A.P., Yemelyanov S.V., Yuldashev T.U., Dudnik S.M., Salych E.G., Alimpiev S.V. Studying the possibility of using shungite as a carrier of traditional ingredients of rubber mixtures [Izuchenie vozmozhnosti ispol'zovaniya shungita kak nositelya tradicionnykh ingredientov rezinovykh smesey]. Conference with international participation "Shungite 2020-2021". 2021. Pp. 77–78. (rus)

19. Timofeeva V.A., Solovyova A.B., Erin N.A., Rozhkov S.S., Kedrina N.F., Zarkhina T.S., Neschadina L.V., Rozhkova N.N. Influence of shungite filler on the structure and properties of polypropylene [Vliyanie shungitovogo napolnitelya na strukturu i svoystva polipropilena]. *Geology and minerals of Karelia Petrozavodsk*. 2006. No. 9. Pp. 145–155. (rus)

20. Shashok Zh.S., Kasperovich A.V., Uss E.P. The influence of shungite of various brands on the technological properties of rubber compounds [Vliyanie shungita razlichnykh marok na tekhnologicheskie svoystva rezinovykh smesey]. International Scientific and technical Conference "The latest achievements in the field of innovative development in the chemical industry and the production of building materials". Minsk. 2015. Pp. 439–442. (rus)

21. Rozhkova N.N., Andrievskiy G.V. Fullerenes in shungite carbon. Collection of Scientific Articles of the International Symposium on Fullerenes and Fullerenelike Structures. Minsk. 2000. Pp. 63–69.

22. Grechkin P.V. Fullerenes in shungite materials: history and prospects of application in the nanoindustry [Fullereny v shungitovykh materialah: istoriya i perspektivy primeneniya v nanoindustrii]. Collection of scientific papers of the 8th International Youth Scientific Conference. 2021. Pp. 251–255. (rus)

23. Seidenberg A.Z., Kovalevsky V.V., Rozhkova N.N., Tupolev A.G. On fullerene-like structures of shungite carbon [O fullerenopodobnykh strukturah shungitovogo ugleroda]. *Journal of Physical Chemistry*. 1996. No. 1. Iss. 70. Pp. 107–110. (rus)

24. Dubnikova I.L., Kedrina N.F., Solovyova A.B., Timofeeva V.A., Rozhkova N.N., Erin N.A., Zarkhina T.S. Influence of filler nature on crystallization and mechanical properties of filled polypropylene [Vliyanie prirody napolnitelya na kristallizatsiyu i mekhanicheskie svoystva napolnennogo polipropilena]. *High molecular weight compounds. Series A*. 2003. No.3. Pp. 468–475. (rus)

25. Ulyanov A.V., Polunina I.A., Polunin K.E., Buryak A.K. Adsorption properties of thiocomposite shungite [Adsorbtsionnye svoystva tiosoderzhashchego shungita]. *Colloidal Journal*. 2018. Vol. 80. No. 5. Pp. 591–600. DOI: 10.1134/S0023291218050178 (rus)

26. Rozhkova N.N. Nanocarbon shungitov [Nanouglerod shungitov]. Petrozavodsk: KarSC RAS, 2011. 100 p. (rus)

27. Podolsky V.P., Chernousov D.I. The influence of shungite mineral powder on the change in the structural and mechanical properties of asphalt concrete over time [Vliyanie shungitovogo mineral'nogo poroshka na izmenenie strukturno-mekhanicheskikh svoystv asfal'tobetona vo vremeni]. *Science and innovations in construction*. 2008. Pp. 394–399. (rus)

28. Podolsky V.P., Chernousov D.I., Usachev S.M. Investigation of the properties of bitumen-shungite binder on a scanning microscope [Issledovanie svoystv bitumo-shungitovogo vyazhushchego na skaniruyushchem mikroskope]. *Scientific bulletin of VGASU. Construction and architecture*. 2010. No.4. Is. 20. Pp. 93–99. (rus)

29. Vysotskaya M.A., Rusina S.Yu., Belyaev D., Kiselev O. Shungite – as a component of a bitumen-mineral composition for the road industry [SHungit – kak komponent bitumomineral'noj kompozitsii dlya dorozhnoj otrasli]. Collection of articles and reports of the annual scientific session of the Association of Asphalt Concrete Researchers. Moscow. 2015. Pp. 18–26. (rus)

30. Yadykina V.V., Kuznetsov A.V. The influence of the nature of mineral powder on the properties of asphalt concrete [Vliyanie prirody mineral'nogo poroshka na svoystva asfal'tobetona]. *Problems of architecture and construction: Collection of materials of the XXI regional scientific and technical conference*. Krasgas. Krasnoyarsk. 2003. Pp. 162–165. (rus)

31. Yadykina V.V., Vyrodova K.S., Potapov E.E. Efficiency of using shungite filler for modifying organic binder. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020. Vol. 945. 012025. DOI: 10.1088/1757-899X/945/1/012025

32. Sheverdyayev O.N., Krinkina V.N. New highly dispersed mineral fillers for bitumen-polymer composite materials [Novye vysokodispersnyye mineral'nye napolniteli dlya bitumno-polimernykh

kompozicionnyh materialov]. Energy saving and water treatment. 2007. Pp. 74–75. (rus)

33. Vyrodova K.S., Mikhailova O.A. Changing the properties of road bitumen under the influence of a rubber-shungite composite [Izmenenie svojstv dorozhnogo bituma pod vliyaniem kauchuko-shungitovogo kompozita]. In the collection of the National Conference with international participation "International scientific and Technical Conference of young scientists of V.G. Shukhov BSTU". 2021. Pp. 1933–1938. (rus)

34. Yadykina V.V. Improving the quality of asphalt and cement concrete from man-made raw materials, taking into account the condition of its surface : dissertation for the degree of Doctor of Technical Sciences [Povyshenie kachestva asfal'to- i cementobetona iz tekhnogennogo syr'ya s uchetom

sostoyaniya ego poverhnosti : dissertatsiya na soiskanie uchenoj stepeni doktora tekhnicheskikh nauk]. Belgorod, 2004. 455 p. (rus)

35. Baramboim N.K. Mechanochemistry of high molecular weight compounds [Mekhanohimiya vysokomolekulyarnyh soedinenij]. Moscow: Chemistry, 1978. 384 p. (rus)

36. Lipatov Yu.S. Physico-chemistry of filled polymers [Fiziko-himiya napolnennyh polimerov]. Chemistry, 1977. 303 p. (rus)

37. Khachaturov A.A., Fionov A.S., Kolesov V.V., Potapov E.E., Ilyin E.M. Functional elastomeric composite materials based on styrene-butadiene rubber and magnetite [Funkcional'nye elastomernye kompozicionnye materialy na osnove butadien-stirol'nogo kauchuka i magnetita]. RENSIT. 2019. No.2. Pp. 189–198. (rus)

Information about the authors

Yadykina, Valentina V. DSc, Professor, department of Automobile and Railways named after A.M. Gridchin. E-mail: vvya@intbel.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Lebedev, Mikhail S. Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher. E-mail: michaell1987@yandex.ru. National Research Tomsk State University. Russia, 634050, Tomsk, Lenin Avenue, 36. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Vyrodova, Kristina S. Postgraduate student, department of Automobile and Railways named after A.M. Gridchin. E-mail: vyrodova.christina@yandex.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Received 17.05.2024

Для цитирования:

Ядыкина В.В., Лебедев М.С., Выродова К.С. Физико-химические свойства полимерно-битумных вяжущих, модифицированных шунгитом различных месторождений Карелии // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2024. №8. С. 8–19. DOI: 10.34031/2071-7318-2024-9-8-8-19

For citation:

Yadykina V.V., Lebedev M.S., Vyrodova K.S. Physico-chemical properties of polymer-bitumen binders modified with shungite from various deposits of Karelia. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2024. No. 8. Pp. 8–19. DOI: 10.34031/2071-7318-2024-9-8-8-19

DOI: 10.34031/2071-7318-2024-9-8-20-28

^{1,*}Кайс Х.А., ²Богданов Р.Р., ²Морозова Н.Н., ²Мавлюбердинов А.Р., ³Сулейманова Л.А.¹Университет Саны²Казанский государственный архитектурно-строительный университет³Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

ВЛИЯНИЕ СУПЕРПЛАСТИФИЦИРУЮЩИХ ДОБАВОК НА ОСНОВЕ ЭФИРА ПОЛИКАРБОКСИЛАТА НА СВОЙСТВА ГИПСОЦЕМЕНТНО-ПУЦЦОЛАНОВОГО ВЯЖУЩЕГО

Аннотация. Эффективными модификаторами структуры и свойств бетона на основе гипсоцементно-пуццоланового вяжущего (ГЦПВ), являются химические добавки. Среди широкого спектра химических добавок можно выделить суперпластифицирующие добавки. Наиболее эффективными по водоредуцирующему эффекту, увеличению подвижности и прочности бетона на основе ГЦПВ являются суперпластификаторы на основе эфиров поликарбоксилата. В работе приведены исследования влияния суперпластифицирующих добавок на физико-технические свойства ГЦПВ на основе низкомарочного гипсового и цементного вяжущего, и бинарной активной минеральной добавки, состоящей из цеолитсодержащего мергеля и микрокремнезема. Показано, что введение исследуемых модификаторов позволяет улучшить эксплуатационные свойства изделий на основе ГЦПВ, что выражается в повышении пределов прочности при сжатии и увеличении водостойкости. Получены закономерности изменения водопотребности, сроков схватывания, водоредуцирующего эффекта ГЦПВ-смеси при ее модификации поликарбоксилатными добавками марок «Melflux 2651 F», «Полипласт тип S», «Полипласт тип R», «SPS-06», «SPS-08», «DK-100» и С-3 в сравнении с немодифицированным ГЦПВ, также изучено изменение прочности при сжатии и коэффициента размягчения ГЦПВ-камня с этими добавками. Установлено, что снижение водопотребности ГЦПВ-смеси на 60 % повышает прочность при сжатии образцов ГЦПВ-камня до 220 % по сравнению с контрольным составом. Показано, что наиболее эффективными модификаторами из числа исследованных являются «Полипласт тип S» и «DK-100».

Ключевые слова: суперпластификатор, поликарбоксилат, водопотребность, сроки схватывания, прочность, коэффициент размягчения, гипсоцементно-пуццолановое вяжущее.

Введение. Уникальность гипсовых вяжущих веществ обусловлена их высокой технологичностью и экологичностью [1]. Разработанное на основе гипса гипсоцементнопуццолановое вяжущее (ГЦПВ) позволило сохранить не только его высокие технологические показатели без снижения его водостойкости [2–4], расширить область применения [5–8]. Однако, для изготовления ГЦПВ с высокими физико-механическими показателями недостаточно только применения качественных компонентов, но также требуются эффективные добавки [9–11], позволяющие снизить водопотребность смеси и замедлить сроки схватывания.

На строительном рынке сегодня наблюдается появление новых добавок для улучшения свойств бетонов на моновяжущих, преимущественно на портландцементе. Различные исследования [12–14] изучают влияние суперпластифицирующих добавок (СП) на основные технологические и физико-механические характеристики ГЦПВ. В этих исследованиях подчеркивается, что добавки на основе эфиров поликарбоксилата (ПК) оказывают сильное разжижающее воздействие, приводящее к уменьшению

средней плотности и повышению физико-механических свойств ГЦПВ-камня по сравнению с добавками на основе нафталина сульфокислоты и формальдегида [15, 16].

Известно, что эффективность СП на основе эфиров поликарбоксилата объясняется химической структурой молекул и механизмом их действия в цементных системах. Молекулы таких пластификаторов имеют главную цепь с отрицательными зарядами, которая адсорбируется на частице цемента, а также незаряженные боковые цепочки. Именно эти боковые цепочки создают адсорбционную объемную защитную оболочку вокруг твердых частиц, предотвращая их слипание и способствуя взаимному стерическому отталкиванию [17].

Механизм воздействия ПК добавок на потерю подвижности и скорость затвердевания цементного бетона заключается в замедлении процессов гидролиза и гидратации минералов клинкера портландцемента. Это приводит к замедленному выделению гидроксида кальция в раствор, что замедляет коагуляцию гидратных образований и сближение частиц цемента. Замедление процессов схватывания также вызывается влия-

нием некоторых электролитов, которые, в зависимости от их концентрации в цементном тесте, могут препятствовать коагуляции коллоидного раствора и гидратных образований (рис. 1) [18].

В исследовании [19], автор отмечает, что ключевым фактором эффективности суперпластификатора на основе эфиров поликарбоксилата являются его адсорбционные свойства. Эти свойства определяются молекулярной структурой по-

лимера, химическим окружением и физико-химическими характеристиками поверхности цемента. Высокая концентрация карбоксилатных групп в основной цепи ПК способствует быстрой и полной адсорбции полимеров. Этому способствует большая реакционная поверхность частиц цемента, особенно при преобладании фазы C_3A и присутствии сульфат-ионов в водно-минеральной системе [19].

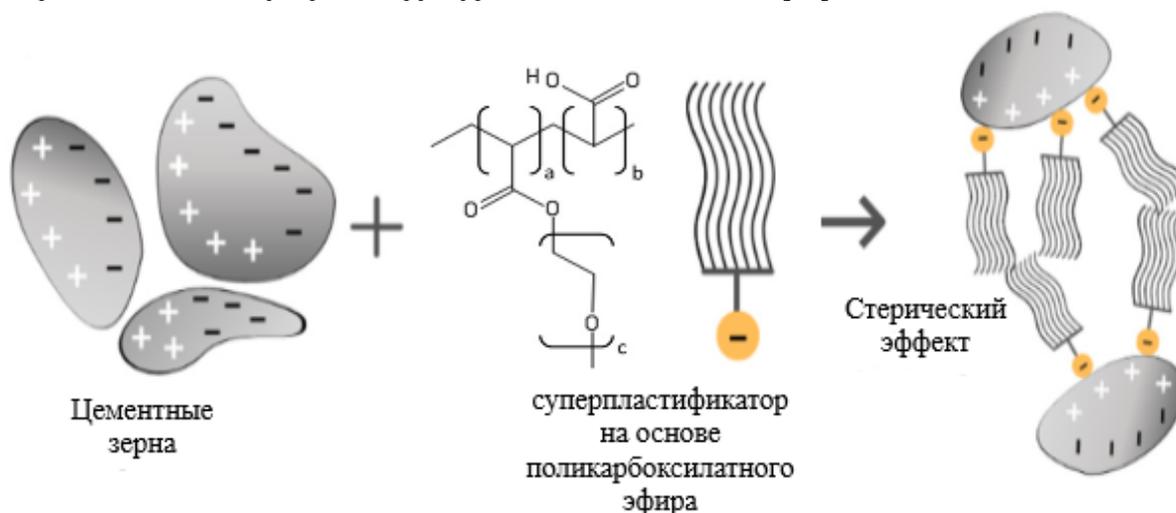


Рис. 1. Схема механизма действия СП на основе эфиров поликарбоксилата

Наибольший пластифицирующий эффект цементных систем обеспечивают «тяжелые» (число молекул в цепи $n = 10 \dots 17$), а не «средние» фракции СП [20].

В связи с вышеизложенным и ввиду отсутствия четкого химического и структурного состава модификаторов проведено экспериментальное уточнение их эффективности в смесевой композиции ГЦПВ, которое сочетает в себе вещества с кислой (гипсовое вяжущее) и высокощелочной средой (портландцемент) в присутствии активной минеральной добавки, по своему влияющей на совместимость суперпластификаторов с минеральными вяжущими.

Материалы и методы. Для приготовления ГЦПВ использовали следующие материалы:

– низкомарочное гипсовое вяжущее марки Г-5 производства «Abdullingips» по ГОСТ 125-2018 «Вяжущие гипсовые. Технические условия»;

– портландцемент марки ЦЕМ I 42,5Н АО «Мордовцемент» Республика Мордовия, характеристики которого удовлетворяют требованиям ГОСТ 30515-2013 «Цементы. Общие технические условия». химический составы цемента, согласно паспорту производителя, приведены в табл. 1.

Таблица 1

Химические составы цемента и активных минеральных добавок

Название вещества	Оксидное соединение, %						
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	п.п.п.
Цемент	23,37	4,98	4,03	60,38	1,13	2,83	1,73
ЦСП	50,4	7,55	2,62	15,08	2,22	–	19,36
МК-85	84–90	0,38–0,75	1,1–2,3	1,3–1,82	2,8–8,1	1,1–1,11	1,8–3,1

Примечание: Соотношение компонентов ГЦПВ следующие – гипс: портландцемент: микрокремнезем: цеолит природный = 60:25:10:5 масс. ч.

В качестве активных минеральных добавок (АМД) использовали:

– цеолитсодержащий мергель (ЦСП) Татарско – Шатрашанского месторождения РТ, порообразующий минерал – клиноптилолит, представляющего собой порошок светло-серого цвета с удельной поверхностью по ПСХ – 10200 м²/кг;

– микрокремнезем (МК) – Липецкого металлургического комбината марки МК-85, представляющий собой сыпучий, однородный по зерновому составу порошок светло серого цвета, с содержанием SiO₂ – 84–90 % и удельной поверхностью 4700 м²/кг, определенной методом воздухопроцаемости с помощью прибора ПСХ–10, его пуццолановая активность составляет 1450 мг/г.

В качестве суперпластификаторов в работе использовали:

– суперпластификатор Melflux 2641 F производства Degussa Construction Polymers (SKW Trostberg, Германия) приобретенный в ООО «ЕвроХим-1», представляет собой легко растворимый в воде порошковый продукт, полученный методом распылительной сушки на основе модифицированного полиэфиркарбоксилата. Технические данные: желтоватый порошок, насыпная плотность – 350...600 г/л, потери при нагревании – макс. 2,0 мас. %, 20 % раствор при 20 °С имеет рН = 6,5–8,5;

– суперпластификатор «Полипласт СП-1» (Пластификатор С-3) – нафталинформальдегидный суперпластификатор для бетонов и строительных растворов, представитель добавки ООО «Полипласт- Казань»;

– суперпластификатор «Полипласт тип R» – поликарбоксилатный эфир, производитель ООО «Полипласт Новомосковск», в виде белого порошка, насыпная плотность – 450...550 г/л, хорошо растворимого в воде;

– суперпластификатор «Полипласт тип S» – высокоэффективный суперпластификатор на основе поликарбоксилатных эфиров в виде порошка, производитель ООО «Полипласт Новомосковск»;

– суперпластификатор «РС-1701» – поликарбоксилатный, в виде сухого порошка белого цвета, с насыпной плотностью – 300–600 кг/м³; влажность ≤ 3 %; воздухововлечение в цементных системах ≤ 6,0 %; содержание активного вещества ≥ 94 % имеет рН – 7,0–8,0; производитель ООО ПП «Комплекс»;

– пластификатор «SPS-08» – высокоэффективный и экологичный поликарбоксилатный пластификатор в форме сухого порошка, произведенный на основе эфира полиэтиленгликоля марки DD-909 (TRIG 2 400) и рекомендуется для использования в составах строительных растворов на неорганическом вяжущем: портландцементе, гипсе, ангидрите, извести, технические данные: насыпная плотность – 500 ± 50 кг/м³; влажность ≤ 3 %; воздухововлечение в цементных системах ≤ 6,0 %; содержание активного вещества 97 ± 1,0 имеет рН – 7,0 ± 1,0; производитель ООО «ЭКОТЕК ПРО»;

– пластификатор «SPS 06» на основе модифицированного полиэфиркарбоксилата, способствует значительному сокращению количества воды, повышению подвижности растворной и бетонной смеси, обеспечивает оптимальную когезию и максимальное самоуплотнение в сочетании с хорошей ранней прочностью. Насыпная плотность – 500 ± 50 кг/м³; влажность ≤ 4 %; воздухововлечение в цементных системах ≤ 6,0 %;

содержание активного вещества 96 ± 1 % имеет рН – 6,0 ± 1,0; производитель ООО «ЭКОТЕК ПРО»;

– пластификатор DK-100 – густая жидкость бледно-желтого цвета, содержащая 50 % твердого вещества, производитель Beijing Dongke United Technologies (Co Ltd. Dongke, Китай), рекомендует для товарного бетона с самоуплотнением, для получения высокой прочности и долговечности бетона. Технические данные: насыпная плотность – 1070 ± 10 кг/м³; концентрация – 50 ± 5 %; воздухововлечение в цементных системах ≤ 5,0 %; содержание активного вещества 96 ± 1% и рН – 7,0 ± 1,0.

Технологические свойства ГЦПВ смеси с исследуемыми СП изучали по снижению водопотребности при фиксированной подвижности, оцениваемой расплывом смеси диаметром 180 ± 5 мм с помощью цилиндра (диаметр 50 мм высота 100 мм) и сроки схватывания смеси стандартной консистенции, согласно методике ГОСТ 23789-2018, с помощью прибора Вика с массой подвижной части 300 г. За начало схватывания принимали время, от момента добавления ГЦПВ к воде или водному раствору СП соответствующей дозировки по плану эксперимента до момента, когда свободно опущенная игла прибора Вика после погружения в тесто не доходит до поверхности пластинки, а конец схватывания – когда свободно опущенная игла прибора Вика погружается на глубину не более 1 мм.

Затем приготавливали замес ГЦПВ с СП для формования двух серии стандартных образцов кубов в формах 3Ф 70×70×70 мм с целью оценки прочности при сжатии на 28 суток твердения в нормально-влажностных условиях.

Основная часть. По полученным результатам рассчитывали водоредуцирующий эффект (Вэ) (рис. 2). Результаты испытаний ГЦПВ смеси и камня приведены в табл. 2.

Как видно из табл. 2, исследуемые СП на основе эфиров поликарбоксилата снижают В/Т в 1,5–2 раза, а большее значение водопотребности у смеси ГЦПВ с добавкой С-3 чем с поликарбоксилатными СП. Суперпластификатор марки «DK-100» по снижению водопотребности ГЦПВ смеси не уступает СП в виде сухих порошков, при этом их количество брали по рабочему раствору.

Как видно из рис. 2, водоредуцирующий эффект существенно зависит от вида СП и его содержания. Наилучший водоредуцирующий эффект получен в ГЦПВ-смеси с СП марок «Полипласт тип S» – 65,67 %, «DK-100» – 63,5 %, и «SPS-08» – 61,11 %, другие СП марок «Полипласт тип R» и «РС-1701» достигают высокого во-

доредуцирующего эффекта при большой их дозировке – 2 % от массы вяжущего. Добавка марки «SPS-06» среди всех исследованных поликарбоксилатных СП имеет наименьшую эффективность по снижению водопотребности ГЦПВ смеси. При этом она не замедляет сроки схватывания ГЦПВ-смеси.

СП марки «Melflux 2651 F» в количестве 0,5 % от массы ГЦПВ незначительно ускоряет сроки начала и конца схватывания до 1,5 мин (табл. 2), а с увеличением ее дозировки до 2 %, замедляет твердение в 2 раза. Подобный эффект,

но с большим значением, проявляется в составе с СП марки «Полипласт тип R», «DK-100» и «PC-1701», а при введении всего лишь 0,5 % «Полипласт тип R» замедляется процесс схватывания почти в 2 раза, увеличение ее до 2 % замедляет твердение смеси в 10 раз, тогда как разжижающая ее способность аналогична высокоэффективному СП марки «Melflux 2651 F». Добавки марок «SPS-08», «PC-1701», «DK-100» и «Полипласт тип S», также способствуют замедления процессу схватывания ГЦПВ-смеси.

Таблица 2

Влияние СП на технологические характеристики ГЦПВ смеси

Марка СП	Содержание СП, %	В/Т	Сроки схватывания, мин:сек		Коэффициента размягчения (K_p)
			начало	конец	
контроль	0	0,60	6:10	10:05	0,69
Melflux 2651 F	0,5	0,29	6:00	8:35	0,75
	0,7	0,28	7:26	10:08	0,8
	1	0,26	9:40	11:50	0,82
	1,5	0,25	12:18	14:28	0,86
	2	0,24	15:17	17:28	0,88
С-3	0,5	0,42	5:15	7:14	0,70
	0,7	0,40	5:42	8:57	0,72
	1	0,37	6:33	9:24	0,75
	1,5	0,36	7:12	10:09	0,78
	2	0,35	7:55	10:59	0,8
Полипласт тип R	0,5	0,28	15:20	19:18	0,72
	0,7	0,27	40:10	47:21	0,76
	1	0,26	58:13	76:19	0,79
	1,5	0,24	71:00	89:25	0,81
	2	0,24	87:37	109:5	0,83
Полипласт тип S	0,5	0,28	6:20	7:25	0,80
	0,7	0,27	7:15	8:50	0,83
	1	0,25	11:55	15:07	0,86
	1,5	0,23	23:20	26:45	0,90
	2	0,23	29:20	33:35	0,92
SPS-08	0,5	0,28	9:50	12:15	0,76
	0,7	0,26	24:15	27:2	0,80
	1	0,24	43:5	47:5	0,83
	1,5	0,23	57:25	75:45	0,87
	2	0,23	68:55	87:55	0,89
SPS-06	0,5	0,33	4:20	5:07	0,71
	0,7	0,31	5:03	5:59	0,75
	1	0,30	6:07	7:11	0,77
	1,5	0,29	6:22	7:54	0,80
	2	0,29	6:47	8:31	0,81
DK-100	0,5	0,28	3:30	4:40	0,78
	0,7	0,27	8:10	10:44	0,81
	1	0,26	17:05	21:22	0,84
	1,5	0,24	24:15	29:22	0,87
	2	0,23	31:45	40:55	0,90
PC-1701	0,5	0,31	6:15	8:25	0,73
	0,7	0,29	10:10	12:14	0,78
	1	0,28	16:20	19:34	0,81
	1,5	0,27	27:3	32:43	0,83
	2	0,26	34:53	40:1	0,85

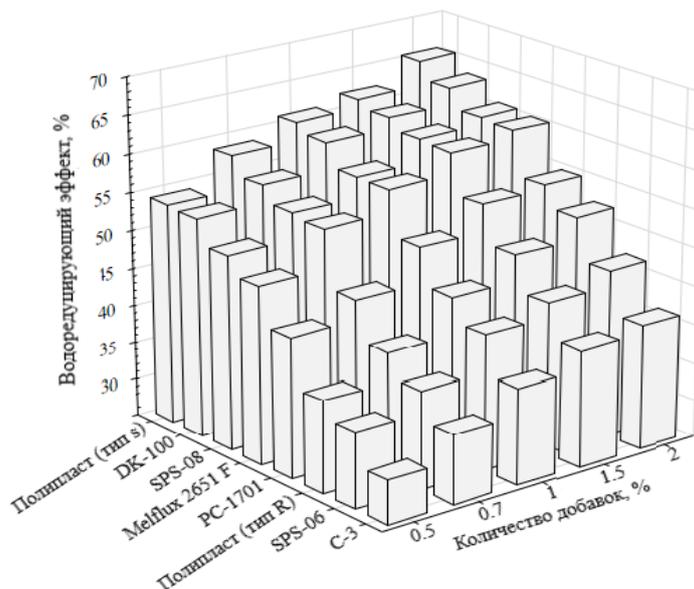


Рис. 2. Зависимость водоредуцирующего эффекта ГЦПВ-смеси от количества СП

Бликие результаты по водопотребности ГЦПВ смеси наблюдаются при применении СП «DK-100» и «Полипласт тип S», но с меньшим эффектом замедления схватывания, тогда как СП марок «SPS-08» и «SPS-06» по технологическим свойствам близки к СП «Полипласт тип S», а по показателям прочности при сжатии не уступает ГЦПВ-камню только с СП марки «SPS-08», но с большей ее дозировкой.

На следующем этапе были выполнены экспериментальные исследования влияния исследуемых СП на предел прочности при сжатии ГЦПВ-камня. Результаты представлены на рис. 3.

Как видно из рис. 2 и 3, все исследованные СП в диапазоне от 0,5 до 2 % способствуют снижению водопотребности и, как следствие, росту прочности при сжатии камня из ГЦПВ. Прочностные показатели ГЦПВ-камня с «PC-1701» выше, чем с добавкой «С-3», но ниже других исследованных модификаторов.

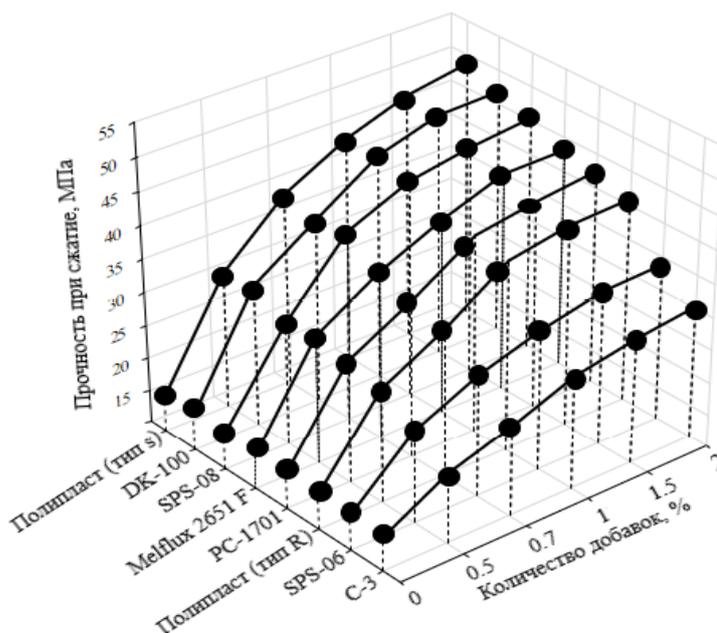


Рис. 3. Прочность при сжатии ГЦПВ-камня с различными СП

Наблюдается существенный рост прочности при сжатии камня из ГЦПВ в исследуемом диапазоне дозировок с СП марки «Полипласт тип S» на 102–220 %; «Melflux 2651 F» – на 94–184 %; добавкой «SPS-08» – на 89–198 %; «DK-100» – на

148–208 %; «PC-1701» – на 89–180 %; «Полипласт тип R» – на 80–170 %; «SPS-06» – на 59–123 % и с «С-3» – на 31–42 %.

Таким образом, снижение количества воды затворения приводит не только к увеличению пределов прочности при сжатии, но и к росту зна-

чения коэффициента размягчения (K_p). По повышению коэффициента размягчения, изученные СП при дозировке 2 %, можно выстроить в следующий ряд: «Полипласт тип S» с $K_p = 0,92$, «DK-100» – 0,9, «SPS-08» – 0,89, «Melflux 2651 F» – до 0,88, «PC-1701» – 0,85, «Полипласт тип R» – 0,83, «SPS-06» – 0,81 и добавка С-3 – 0,8.

Выводы.

1. Проведено исследование влияния суперпластификаторов (СП) на структуру и характеристики гидратирующегося ГЦПВ с целью определения наиболее подходящей марки суперпластификатора для достижения высоких эксплуатационных характеристик изделий на его основе.

2. Суперпластификатор "Melflux 2651 F" в дозировке 0,5 % от массы вяжущего незначительно ускоряет процесс начала и завершения схватывания, тогда как его увеличение до 2 % приводит к замедлению начала и завершения процесса схватывания на 9–11 минут.

3. Наибольшее замедление процесса схватывания ГЦПВ-теста наблюдается при использовании добавки "Полипласт (тип R)": при введении от 0,5 до 2 % данной добавки начало схватывания замедляется на 9–81 минут, а завершение – на 13–104 минут, при этом прочность ГЦПВ-камня увеличивается.

4. Наибольшим водоредуцирующим эффектом из числа исследуемых СП обладает «Полипласт тип S» при дозировке 2 % и составляет 65,7 %.

5. При введении в ГЦПВ жидкого СП марки «DK-100» в количестве 2 % технологические и технические показатели подобны или выше СП в виде сухого порошка.

6. Изучение влияния СП на физико-механические свойства ГЦПВ показало, что наиболее эффективными из числа исследованных добавок являются СП марок «Полипласт тип S»; «DK-100», «SPS-08» и «Melflux 2651 F». Твердение ГЦПВ с добавкой «Полипласт тип S» при дозировке от 0,5 % до 2 % показало увеличение прочности при сжатии на 102–220 %, соответственно; с «DK-100» при аналогичных дозировках – на 148–208 %; с «SPS-08» – на 89–198 %.

Таким образом, наилучшие технологические и физико-механические показатели ГЦПВ получены с СП марок «Полипласт тип S» и «DK-100». Эти добавки позволили получить не только высокие прочностные показатели при сжатии (49 МПа и 47 МПа соответственно), но и хорошую подвижность теста (185 мм) при низком В/Т отношении и достаточном времени для формирования изделий.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Волженский А.В., Буров Ю.С., Колокольников Ю.С. Минеральные вяжущие вещества. (Технология и свойства). М.: Стройиздат. 1986. 476с.
2. Ферронская А.В., Коровяков В.Ф., Баранов И.М., Бурьянов А.Ф., Лосев Ю.Г., Поплавский В.В., Шишин А.В. Гипс в малоэтажном строительстве. М.: Изд-во АСВ. 2008. 240 с.
3. Петропавловская В.Б., Бурьянов А.Ф., Новиченкова Т.Б. Малоэнергоёмкие гипсовые материалы и изделия на основе отходов промышленности // Строительные материалы. 2006. Вып. 7. С. 8–9.
4. Рахимов Р.З., Халиуллин М.И. Состояние и тенденции развития промышленности гипсовых строительных материалов // Строительные материалы. 2010. № 12. С. 44–46.
5. Rakhimova N.R., Rakhimov R.Z. Reaction products, structure and properties of alkali-activated metakaolin cements incorporated with supplementary materials a review // Journal of Materials Research and Technology. 2019. Vol. 8(1). Pp. 1522–1531. DOI: 10.1016/j.jmrt.2018.07.006.
6. Гордина А.Ф., Полянских И.С., Токарев Ю.В., Бурьянов А.Ф., Сеньков С.А. Водостойкие гипсовые материалы, модифицированные цементом, микрокремнеземом и наноструктурами // Строительные материалы. 2014. № 6. С. 35–37.
7. Изотов В.С., Мухаметрахимов Р.Х., Галаутдинов А.Р. Исследование влияния активных минеральных добавок на реологические и физико-механические свойства гипсоцементно-пуццоланового вяжущего // Строительные материалы. 2015. № 5. С. 20–23. DOI: 10.31659/0585-430X-2015-725-5-20-23.
8. Сагдатуллин Д.Г., Морозова Н.Н., Хозин В.Г. Реологические характеристики водных суспензий композиционного гипсового вяжущего и его компонентов // Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. 2009. № 2 (12). С. 263–268.
9. Roldán W.L. Pozzolanic materials for use in special binders based on gypsum, PhD Thesis. Universitat Politècnica de València. 2011.
10. Мухаметрахимов Р.Х., Галаутдинов, А.Р. Лукманова Л.В. Влияния пластифицирующих добавок на основные свойства гипсоцементно-пуццоланового вяжущего на основе низкомарочного и техногенного сырья // Известия КГАСУ. 2016. № 4 (38). С. 382–387.
11. Сагдатуллин Д.Г., Морозова Н.Н., Хозин В.Г., Власов В.В. Высокопрочное гипсоцементно-цеолитовое вяжущее // Строительные материалы. 2010. № 2. С. 53–55.
12. Потапова Л.И., Кайс Х.А., Галиев Т.Ф. Влияние добавок поликарбоксилатного типа на

технологические свойства ГЦПВ // Влияние науки на инновационное развитие. 2016. № 6. С. 134–137.

13. Butakova M.D., Gorbunov S.P. Study of the Influence of Complex Additives on Properties of the Gypsum-Cement Pozzolan Binder and Concretes on its Basis // Procedia Eng. Elsevier. 2016. Vol. 150. Pp. 1461–1467. DOI: 10.1016/j.pro-eng.2016.07.082.

14. Gordina A.F., Yakovlev G.I., Polyanskikh I.S. Gypsum compositions with complex structure modifiers // Building Materials. 2016. Vol. 1-2. Pp. 90–95. DOI: 10.31659/0585-430X-2016-733-734-1-2-90-95.

15. Коровяков В.Ф. Модифицирование свойств гипсовых вяжущих органоминеральным модификатором // Сухие строительные смеси. 2013. № 3. С. 15–17.

16. Галаутдинов А.Р., Мухаметрахимов Р.Х. Повышение водостойкости гипсоцементно-пуццоланового вяжущего на основе низкомарочного

гипса // Известия КГАСУ. 2016. № 4 (38). С. 333–343.

17. Al-Neshawy F., Ojala T., Punkki J. Stability of Air Content in Fresh Concretes with PCE-Based Superplasticizers // Nord. Concr. Res. 2019. Vol. 60. Pp. 145–158. DOI: 10.2478/ncr-2019-0093.

18. Yamada K., Takahashi O., Hanehara S., Matsuhisa M. Effects of the chemical structure on the properties of polycarboxylate-type super-plasticizer // Cement and Concrete Research. 2000. Vol. 30(2). Pp. 197–207.

19. Qian Y., Lesage K., El Cheikh K., De Schutter G. Effect of polycarboxylate ether superplasticizer (PCE) on dynamic yield stress, thixotropy and flocculation state of fresh cement pastes in consideration of the Critical Micelle Concentration (CMC) // Cem. Concr. Res. 2018, Vol. 107. Pp. 75–84. DOI: 10.1016/j.cemconres.2018.02.019.

20. Тараканов О.В. Химические добавки в растворы и бетоны: монография. Пенза: ПГУАС. 2016. 156 с.

Информация об авторах

Кайс Хамза Абдулмалек, исследователь. E-mail: hamza.qais@mail.ru. Университет Саны. 13064, г. Сана, Республика Йемен.

Богданов Руслан Равильевич, кандидат технических наук, доцент кафедры технологии строительного производства. E-mail: bogdanov.r.r@yandex.ru. Казанский государственный архитектурно-строительный университет. Россия, 420043, Казань, ул. Зеленая, д. 1.

Морозова Нина Николаевна, кандидат технических наук, доцент кафедры технологии строительных материалов, изделий и конструкций. E-mail: ninamor@mail.ru. Казанский государственный архитектурно-строительный университет. Россия, 420043, Казань, ул. Зеленая, д. 1.

Мавлюбердинов Азат Рашидович, кандидат технических наук, доцент кафедры технологии строительного производства. E-mail: mazatr73@mail.ru. Казанский государственный архитектурно-строительный университет. Россия, 420043, Казань, ул. Зеленая, д. 1.

Сулейманова Людмила Александровна, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой строительства и городского хозяйства. E-mail: ludmilasuleymanova@yandex.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Поступила 03.05.2024 г.

© Кайс Х.А., Богданов Р.Р., Морозова Н.Н., Мавлюбердинов А.Р., Сулейманова Л.А., 2024

^{1,*}Qais H.A., ²Bogdanov R.R., ²Morozova N.N., ²Mavlyuberdinov A.R., ³Suleymanova L.A.

¹University of Sana'a

²Kazan State University of Architecture and Engineering

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

*E-mail: hamza.qais@mail.ru

INFLUENCE OF SUPERPLASTIFYING ADDITIVES BASED ON POLYCARBOXYLATE ETHER ON THE PROPERTIES OF GYPSOCEMENT-POZZOLANIC BINDER

Abstract. Effective modifiers of the structure and properties of concrete based on gypsum-cement-pozzolan binder are chemical additives. Among a wide range of chemical additives, superplasticizing additives can be distinguished. The most effective in terms of water-reducing effect, increasing the mobility and strength of concrete based on gypsum-cement-pozzolan binder are superplasticizers based on polycarboxylate ethers.

The paper presents studies of the influence of superplasticizing additives on the physical and technical properties of gypsum-cement-pozzolanic binder based on low-grade gypsum and cement binders, and a binary active mineral additive consisting of zeolite-containing marl and microsilica. It has been shown that the introduction of the studied modifiers makes it possible to improve the performance properties of products based on gypsum-cement-pozzolanic binder, which is expressed in an increase in compressive strength and an increase in water resistance. Patterns of changes in water demand, setting time, and water-reducing effect of the gypsum-cement-pozzolanic binder mixture were obtained when it is modified with polycarboxylate additives of the following grades: "Melflux 2651 F", "Polyplast type S", "Polyplast type R", "SPS-06", "SPS-08", "DK-100" and C-3 in comparison with unmodified HCPV, the change in strength with compression and softening coefficient of gypsum-cement-pozzolanic binder stone with these additives. It has been established that reducing the water requirement of the gypsum-cement-pozzolanic binder mixture by 60% increases the compressive strength of gypsum-cement-pozzolanic binder stone samples by 220 % compared to the control composition. It has been shown that the most effective modifiers among those studied are "Polyplast type S" and "DK-100".

Keywords: superplasticizer, polycarboxylate, water requirement, setting time, strength, softening coefficient, gypsum-cement-pozzolanic binder

REFERENCES

1. Volzhensky A.V., Burov Yu.S., Kolochnikov Yu.S. Mineral binders. (Technology and properties) [Mineral'nyye vyazhushchiye veshchestva. (Tekhnologiya i svoystva)]. M.: Izd-va, 1986. 476 p. (rus)
2. Ferronskaya A.V., Korovyakov V.F., Baranov I.M., Buryanov A.F., Losev Y.G., Poplavsky V.V., Shishin A.V. Gypsum in low-rise construction [Gips v maloetazhnom stroitel'stve]. M.: Izd-va ASV, 2008. 240 p. (rus)
3. Petropavlovskaya V.B., Buryanov A.F., Novichenkova T.B. Low-energy gypsum materials and products based on industrial waste [Maloenergozemkiye gipsovyye materialy i izdeliya na osnove otkhodov promyshlennosti]. Construction materials. 2006. No 7. Pp. 8–9. (rus)
4. Rakhimov R.Z., Khaliullin M.I. State and trends in the development of the gypsum building materials industry [Sostoyaniye i tendentsii razvitiya promyshlennosti gipsovykh stroitel'nykh materialov]. Construction Materials. 2010. No. 12. Pp. 44–46. (rus)
5. Rakhimova N.R., Rakhimov R.Z. Reaction products, structure and properties of alkali-activated metakaolin cements incorporated with supplementary materials – a review. Journal of Materials Research and Technology. 2019. No 8(1). Pp. 1522–1531. DOI: 10.1016/j.jmrt.2018.07.006.
6. Gordina A.F., Polyanskikh I.S., Tokarev Y.V., Buryanov A.F., Senkov S.A. Waterproof gypsum materials modified with cement, microsilica and nanostructures [Vodostoykiye gipsovyye materialy, modifitsirovannyye tsementom, mikrokremnezemom i nanostrukturami]. Construction materials. 2014. No. 6. Pp. 35–37. (rus)
7. Izotov V.S., Mukhametrakhimov R.Kh., Galautdinov A.R. Study of the influence of active mineral additives on the rheological and physical-mechanical properties of gypsum-cement-pozzolanic binder [Issledovaniye vliyaniya aktivnykh mineral'nykh dobavok na reologicheskiye i fiziko-mekhanicheskiye svoystva gipsotsementno-putstsolanovogo vyazhushchego]. Construction materials. 2015, No. 5. Pp. 20–23. DOI: 10.31659/0585-430X-2015-725-5-20-23. (rus)
8. Sagdatullin D.G., Morozova N.N., Khozin V.G. Rheological characteristics of aqueous suspensions of composite gypsum binder and its components [Reologicheskiye kharakteristiki vodnykh suspenziy kompozitsionnogo gipsovogo vyazhushchego i yego komponentov]. News of the Kazan State University of Architecture and Construction. 2009. No. 2 (12). Pp. 263–268. (rus)
9. Roldán W. L., Pozzolanic materials for use in special binders based on gypsum, PhD Thesis. Universitat Politècnica de València, 2011.
10. Mukhametrakhimov R.Kh., Galautdinov, A.R., Lykmanova L.V. The influence of plasticizing additives on the basic properties of gypsum-cement-pozzolanic binder based on low-grade and technogenic raw materials [Vliyaniya plastifitsiruyushchikh dobavok na osnovnyye svoystva gipsotsementno-putstsolanovogo vyazhushchego na osnove nizkomarochnogo i tekhnogennogo syr'ya]. Izvestia KGASU. 2016. No 4 (38). Pp. 382–387. (rus)
11. Sagdatullin D.G., Morozova N.N., Khozin V.G., Vlasov V.V. High-strength gypsum-cement-zeolite binder [Vysokoprochnoye gipsotsementnotseolitovoye vyazhushcheye]. Building materials. 2010. No. 2. Pp. 53–55. (rus)
12. Potapova L.I., Qais H.A., Galiev T.F. Influence of polycarboxylate type additives on the technological properties of GCPB [Vliyaniye dobavok polikarboksilatnogo tipa na tekhnologicheskiye svoystva GTSPV]. The influence of science on innovative development. 2016. No. 6. Pp. 134–137. (rus)

13. Butakova M.D., Gorbunov S.P. Study of the Influence of Complex Additives on Properties of the Gypsum-CementPuzzolan Binder and Concretes on its Basis. *Procedia Eng.* Elsevier. 2016. Vol. 150. Pp. 1461–1467. DOI: 10.1016/j.proeng.2016.07.082
14. Gordina A.F., Yakovlev G.I., Polyanskikh I.S. Gypsum compositions with complex structure modifiers. *Building Materials*. 2016. No 1-2. Pp. 90–95. DOI: 10.31659/0585-430X-2016-733-734-1-2-90-95
15. Korovyakov V.F. Modification of the properties of gypsum binders with an organomineral modifier [Modifitsirovaniye svoystv gipsovykh vyazhushchikh organomineral'nym modifikatorom]. *Dry construction mixtures*. 2013. No. 3. Pp. 15–17. (rus)
16. Galautdinov A.R., Mukhametrakhimov R.Kh. Increasing the water resistance of gypsum-cement-pozzolanic binder based on low-grade gypsum [Povysheniye vodostoykosti gipsotsementno-putstsolanovogo vyazhushchego na osnove nizkomarochного gipsa]. *Izvestia KGASU*. 2016. No. 4 (38). Pp. 333–343. (rus)
17. Al-Neshawy F., Ojala T., Punkki J. Stability of Air Content in Fresh Concrete with PCE-Based Superplasticizers. *Nord. Concr.Res.* 2019. Vol. 60. Pp. 145–158. DOI: 10.2478/ncr-2019-0093.
18. Yamada K., Takahashi O., Hanehara S., Matsuhisa M. Effects of the chemical structure on the properties of polycarboxylate-type super-plasticizer. *Cement and Concrete Research*. 2000. Vol. 30 (2). Pp. 197–207.
19. Qian Y., Lesage K., El Cheikh K., De Schutter G. Effect of polycarboxylate ether superplasticizer (PCE) on dynamic yield stress, thixotropy and flocculation state of fresh cement pastes in consideration of the Critical Micelle Concentration (CMC). *Cem. Concr. Res.* 2018. Vol. 107. Pp. 75–84. DOI: 10.1016/j.cemconres.2018.02.019
20. Tarakanov O.V. Chemical additives in mortars and concretes: monograph [Khimicheskiye dobavki v rastvory i betony: monografiya]. Penza: PGUAS, 2016. 156 p. (rus)

Author information

Qais, Hamza A. Postgraduate researchers of the Faculty of Engineering. E-mail:hamza.qais@mail.ru. University of Sana'a, Republic of Yemen, 13064, Sana'a.

Bogdanov, Ruslan R. Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Construction Technology. E-mail:bogdanov.rr@yandex.ru. Kazan State University of Architecture and Civil Engineering. Russia, 420043, Kazan, Zelenaya st., 1.

Morozova, Nina N. Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Technology of Building Materials, Products and Structures. E-mail:ninamor@mail.ru. Kazan State University of Architecture and Civil Engineering. Russia, 420043, Kazan, Zelenaya st., 1.

Mavlyuberdinov, Azat R. Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Construction Technology. E-mail:mazatr73@mail.ru. Kazan State University of Architecture and Civil Engineering. Russia, 420043, Kazan, Zelenaya st., 1.

Suleymanova, Lyudmila A. Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Construction and Urban Economy. E-mail: ludmilasuleimanova@yandex.ru. Belgorod State Technological University named after. V.G. Shukhova. Russia, 308012, Belgorod, Kostyukova st., 46.

Received 03.05.2024

Для цитирования:

Кайс Х.А., Богданов Р.Р., Морозова Н.Н., Мавлюбердинов А.Р., Сулейманова Л.А. Влияние суперпластифицирующих добавок на основе эфира поликарбоксилата на свойства гипсоцементно-пуццоланового вяжущего // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2024. №8. С. 20–28. DOI: 10.34031/2071-7318-2024-9-8-20-28

For citation:

Qais H.A., Bogdanov R.R., Morozova N.N., Mavlyuberdinov A.R., Suleymanova L.A. Influence of superplasticizing additives based on polycarboxylate ether on the properties of gypso cement-pozzolanic binder. *Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov*. 2024. No. 8. Pp. 20–28. DOI: 10.34031/2071-7318-2024-9-8-20-28

DOI: 10.34031/2071-7318-2024-9-8-29-38

^{1,*}Лукутцова Н.П., ¹Пыкин А.А., ¹Головин С.Н., ²Дудник А.В., ²Золотухина Н.В.¹Брянский государственный инженерно-технологический университет²Бендерский политехнический филиал государственного образовательного учреждения «Приднестровский государственный университет им. Т.Г. Шевченко»

*E-mail: natluk58@mail.ru

ЭФФЕКТИВНОСТЬ СУПЕРПЛАСТИФИКАТОРОВ В МЕЛКОЗЕРНИСТОМ БЕТОНЕ С ЗОЛОШЛАКОВОЙ СМЕСЬЮ

Аннотация. Выполнена оценка эффективности нафталинформальдегидного и поликарбоксилатного суперпластификаторов в пропариваемом мелкозернистом бетоне с золошлаковой смесью Молдавской государственной районной электростанции (ЗШС МГРЭС) как добавкой-заменителем части портландцемента (10 %), образующейся от сжигания антрацита и тощего каменного угля при совместном гидроудалении золы-уноса и шлака. Представлены результаты исследований структуры и физико-химических свойств ЗШС МГРЭС (химического и гранулометрического составов, гидросиликатного и кремнеземистого модулей, коэффициента качества). Установлено, что основная масса золошлаковой смеси МГРЭС состоит из полидисперсных сферических частиц золы-уноса с гладкой остеклованной поверхностью. По содержанию оксида кальция (2,4 %) и гидросиликатному модулю (менее 1) ЗШС МГРЭС является кислой (скрыто активной), проявляющей пуццоланические свойства в условиях тепловой обработки бетона с содержанием суперпластификаторов. Выявлено, что эффективность суперпластификатора С-3 по повышению прочности на сжатие пропариваемого бетона с ЗШС МГРЭС составляет 178 % через 1 сутки, 119 % через 7 суток и 131 % через 90 суток, прочности на изгиб – 69 %, 40 % и 103 %. Суперпластификатор Master Glenium 115 обладает большей эффективностью, по сравнению с С-3, которая по повышению прочности на сжатие бетона в возрасте 1, 7 и 90 суток после пропаривания равна 174 %, 133 % и 156 %, а прочности на изгиб – 96 %, 83 % и 151 %.

Ключевые слова: мелкозернистый бетон, золошлаковая смесь, нафталинформальдегидный и поликарбоксилатный суперпластификаторы, пропаривание, прочность на сжатие и изгиб, эффективность суперпластификатора.

Введение. Тенденции развития современного бетоноведения связаны с необходимостью разработки новых ресурсосберегающих технологий получения модифицированных цементных бетонов с повышенными физико-механическими свойствами, в том числе, мелкозернистых бетонов (МЗБ) средней плотностью 2000–2600 кг/м³ на цементном вяжущем и плотном мелком заполнителе.

МЗБ широко применяются при производстве искусственных элементов мощения (плит, камней) для устройства сборных покрытий тротуаров, пешеходных площадей, садово-парковых и пешеходных дорожек, посадочных площадок на линиях общественного транспорта; при ремонте железобетонных конструкций транспортных сооружений (мостов, путепроводов, эстакад, труб и др.).

Мелкозернистые бетоны характеризуются следующими технико-экономическими преимуществами: возможностью создания высококачественной микро- и наноструктуры; повышенной тиксотропией и способностью к эффективной модификации химическими и минеральными добавками; высокой технологичностью (формуемостью, уплотняемостью различными методами:

литья, экструзии, прессования, штампования, набрызга и др.); легкой транспортируемостью, в том числе, по трубопроводам; возможностью получения новых архитектурно-конструктивных решений (тонкостенные и слоистые конструкции, изделия переменной плотности, гибридные конструкции) и применения местных сырьевых материалов природного и техногенного происхождения; более низкой себестоимостью [1–5]. Однако они имеют ряд существенных недостатков: повышенный расход цемента, пористость, усадка и ползучесть, пониженный модуль упругости, а также потребность в дефицитных высококачественных крупных и средних песках рационального гранулометрического состава, содержащих минимальное количество пылевидных и глинистых частиц.

Получение высокоэффективных мелкозернистых бетонов достигается различными технологическими приемами, среди которых использование добавок на основе вторичных минеральных ресурсов, в частности, золошлаковых смесей (ЗШС), которые образуются на тепловых электростанциях при совместном гидроудалении золы и шлака или механическим способом (пнев-

мотранспортом) в золоотвал в процессе сжигания углей в пылевидном состоянии [6–9].

Известно, что по химическому составу ЗШС подразделяются на кислые (содержание оксида кальция не более 10 %), обладающие пуццоланической активностью, и основные (СаО свыше 10 %) с вяжущими свойствами. Минерально-фазовый состав ЗШС включает неорганическую и органическую составляющие. Неорганическая составляющая представлена аморфной (стекло, аморфизированное глинистое вещество) и кристаллической фазами (слабоизмененные зерна минералов исходного топлива: кварц, полевые шпаты и др.; кристаллические новообразования: муллит, гематит, алюмосиликат кальция и др.). Стекло в ЗШС может быть силикатного, алюмосиликатного и железисто-алюмосиликатного состава.

Аморфизованное глинистое вещество типа метакаолина, аморфные оксиды SiO_2 и Al_2O_3 , алюмосиликатное стекло в составе ЗШС обладают различной пуццоланической активностью – способностью связывать гидроксид кальция в нерастворимые соединения. В связи с большой удельной поверхностью, метакаолин $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$ активно реагирует с $\text{Ca}(\text{OH})_2$ при обычных температурах с образованием гидросиликатов кальция и гидрогеленита. Активность формирующихся при более высоких температурах аморфных оксидов SiO_2 и Al_2O_3 заметно меньше. Высокотемпературное спекание и плавление глинистых минералов резко снижает их удельную поверхность и, соответственно, активность, поэтому стеклофаза ЗШС малоактивна при обычных температурах [10–15].

Проблемы использования техногенного сырья, в частности, ЗШС, особенно актуальны на территориях с условиями ограниченности свободных земельных площадей, высокой плотности населения и практического отсутствия минеральных ресурсов. К таким регионам относится Приднестровская Молдавская Республика (ПМР). В ПМР функционирует Молдавская государственная районная электростанция (МГРЭС), которая обеспечивает электроэнергией Приднестровье и соседние страны (Молдову, Румынию, Болгарию). За время работы МГРЭС на каменном угле образовались отвалы из золошлаковых смесей объемом более 10 млн. тонн, занимающих свыше 270 га. Для республики, располагающей территорией в 4163 км², это немалая площадь, учитывая тот факт, что для Приднестровья сельскохозяйственная отрасль является ведущей [16].

Основным методом утилизации золошлаковых смесей МГРЭС является их сбыт сторонним организациям для использования в производстве

строительных материалов и изделий. При этом практическая реализация переработки ЗШС в ПМР может основываться на нормативно-технической документации и законодательных актах Российской Федерации, в которых приведены детальные методические рекомендации по применению ЗШС в технологии цементных бетонов.

Известно, что введение оптимального количества ЗШС в бетоны улучшает их удобоукладываемость, снижает усадку и водопроницаемость, обеспечивает требуемую прочность, морозо- и коррозионную стойкость, а также не оказывает отрицательного действия на деформации ползучести и модуль упругости. Однако прочность бетона на основе ЗШС, твердеющего в нормальных условиях в течение одного года, постепенно увеличивается и достигает 120–140 % по отношению к месячной прочности.

Для ускорения твердения изделий из данного бетона рекомендуется его пропаривание, которое способствует увеличению активности всех аморфных фаз золошлаковых смесей, в особенности спекшихся и остеклованных. Продуктами взаимодействия пуццоланового компонента ЗШС с $\text{Ca}(\text{OH})_2$ при повышенных температурах являются гидросиликаты и гидроалюмосиликаты кальция (гидрогранаты). Кроме того, потенциал ЗШС как полифункционального компонента бетонных смесей реализуется значительно полнее при использовании суперпластифицирующих добавок [17–19].

Целью работы является оценка эффективности нафталинформальдегидного и поликарбоксилатного суперпластификаторов (СП) в пропариваемом мелкозернистом бетоне с золошлаковой смесью МГРЭС.

Для достижения поставленной цели решались *задачи* по исследованию структуры, физико-химических свойств ЗШС МГРЭС (химического, гранулометрического составов; гидросиликатного, кремнеземистого модулей; коэффициента качества) и определению характера изменения прочности на сжатие и изгиб пропариваемого МЗБ с золошлаковой смесью как добавкой-заменителем части портландцемента от количества СП.

Материалы и методы. Для изготовления МЗБ применялись:

- нормальнотвердеющий портландцемент (ПЦ) типа ЦЕМ I, класса прочности 42,5, I группы эффективности при пропаривании, прочностью на сжатие после тепловой обработки более 27 МПа по ГОСТ 31108-2020 (ОАО «Белорусский цементный завод», г. Костюковичи, республика Беларусь);
- природный кварцевый мелкий песок с модулем крупности 1,47 по ГОСТ 8736-2014

(Брянская область);

– золошлаковая смесь (4-й класс, малоопасная в соответствии с федеральным классификационным каталогом отходов) от сжигания антрацита и тощего каменного угля при совместном гидроудалении золы-уноса и шлака с содержанием зольной составляющей свыше 85 % по ГОСТ 25592-2019 (МГРЭС, г. Днестровск, ПМР);

– нафталинформальдегидный суперпластификатор С-3 в форме водорастворимого порошка с рН (8 ± 1) (АО «Полипласт», Московская область);

– поликарбоксилатный суперпластификатор Master Glenium 115 в виде однородной жидкости плотностью при 20 °С 1050-1090 кг/м³ с рН (6 ± 2) (АО «Международные строительные системы», Московская область);

– вода по ГОСТ 23732-2011 (Брянская область).

Структура ЗШС исследовалась сканирующим электронным микроскопом TESCAN MIRA 3 LMU со встроенным энергодисперсионным спектрометром X-MAX 50 Oxford Instruments NanoAnalysis для электронно-зондового элементного микроанализа. Химический состав ЗШС определялся методом рентгенофлуоресцентной спектроскопии на приборе ARL OPTIM'X, а распределение по размерам и удельная поверхность частиц ЗШС – с помощью лазерной гранулометрии на анализаторе Analysette 22 NanoTec Plus.

Бетонные смеси МЗБ (марка по распылу конуса Р1) приготавливались следующим образом: загрузка в бетономеситель принудительного действия песка, взятого в массовом соотношении с ПЦ (3:1); дозирование портландцемента, ЗШС как добавки-заменителя 10 % ПЦ и 1/3 части воды с СП; добавление 2/3 части воды; тщательное перемешивание компонентов до однородной смеси.

Испытание на прочность мелкозернистого бетона с ЗШС МГРЭС, контрольного (без СП) и основного (с СП) составов проводилось на образцах-балочках размерами 40×40×160 мм через 1, 7 и 90 суток после их пропаривания по режиму (3 + 3 + 6 + 2) ч, где 3 ч – предварительная выдержка при температуре окружающего воздуха (20 ± 3) °С; 3 ч – подъем температуры; 6 ч – изотермическая выдержка при температуре 80 °С; 2 ч – снижение температуры.

Основная часть. Химический состав золошлаковых смесей, применяемых при получении цементных бетонов, нормируется по содержанию оксидов СаО, MgO, SO₃, Na₂O и K₂O. Количество оксида кальция СаО в ЗШС не должно превышать 10 % (для обеспечения равномерности

изменения объема при твердении), свободного СаО_{св} – 5 %, оксида магния MgO – 5 %; верхний предел сернистых и сернокислых соединений в пересчете на SO₃ (по требованиям сульфатостойкости) – от 3 до 6 %; суммарное содержание щелочных оксидов Na₂O и K₂O (во избежание деформаций при реакции с заполнителями) – от 1,5 до 3 %.

Критериями, определяющими пуццоланическую активность ЗШС, являются:

– модуль основности (гидросиликатный модуль) – отношение суммы основных оксидов к сумме кислотных оксидов:

$$M_o = (\text{CaO} + \text{MgO} + \text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}) / (\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3); \quad (1)$$

– силикатный (кремнеземистый) модуль – отношение оксида кремния, вступающего в реакцию с другими оксидами, к суммарному содержанию оксидов алюминия и железа:

$$M_c = \text{SiO}_2 / (\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3); \quad (2)$$

– коэффициент качества – отношение оксидов, повышающих активность к оксидам, снижающим ее:

$$\text{КК} = (\text{CaO} + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{MgO}) / (\text{SiO}_2 + \text{TiO}_2). \quad (3)$$

Электронно-зондовый элементный микроанализ показал наличие в составе ЗШС МГРЭС свыше 23 % кремния, 47 % кислорода; до 13 % алюминия, 9 % железа, 3 % калия; менее 1 % кальция, натрия, магния, серы (рис. 1).

Методом рентгенофлуоресцентной спектроскопии установлено, что химический состав ЗШС МГРЭС представлен содержанием по массе: SiO₂ – 49,3 %; Al₂O₃ – 23,7 %; Fe₂O₃ – 10,6 %; СаО – 2,4 %; K₂O – 3,3 %; MgO – 1,3 %; TiO₂ – 0,9 %; SO₃ – 0,3 %; прочие оксиды – 7,4 %.

Гранулометрический состав ЗШС МГРЭС характеризуется одномодальным распределением частиц по размерам со средним диаметром 72 мкм. На долю частиц размерами от 0,13 до 1 мкм приходится 1,8 %; от 1 до 10 мкм – 11,5 %; от 10 до 100 мкм – 79,1 %; от 100 до 196 мкм – 7,6 % (рис. 2).

Золошлаковая смесь МГРЭС состоит из полидисперсных сферических частиц золы-уноса с гладкой остеклованной поверхностью и шлака губчатой структуры (рис. 3).

По данным химического анализа рассчитано, что гидросиликатный Mo и кремнеземистый Mc модули ЗШС МГРЭС составляют 0,1 и 1,4 соответственно, коэффициент качества КК – 0,5. При этом по содержанию оксида кальция (2,4 %) и гидросиликатному модулю, равному менее 1, золошлаковая смесь относится к кислой (по ГОСТ 25592-2019), а по удельной поверхности (170 м²/кг) – к среднечисперной.

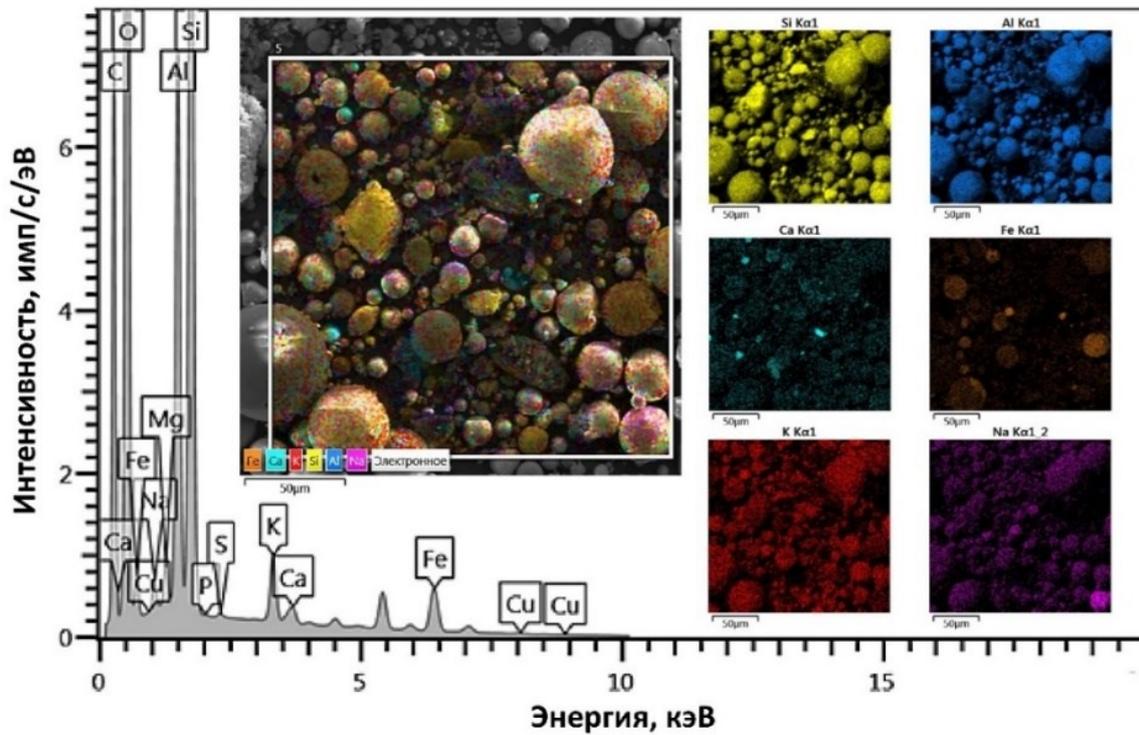


Рис. 1. Многослойная карта и суммарный спектр энергодисперсионной спектроскопии ЗШС МГРЭС

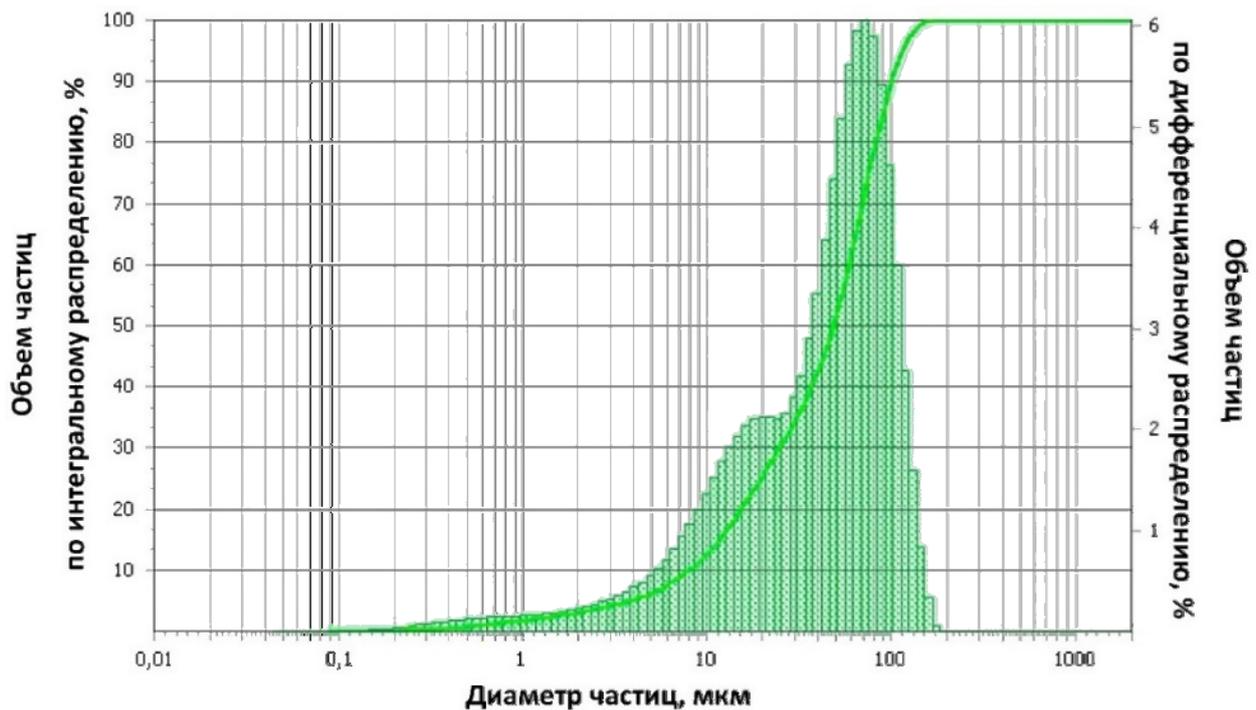


Рис. 2. Гистограмма распределения частиц ЗШС МГРЭС по размерам

Эффективность нафталинформальдегидного и поликарбоксилатного суперпластификаторов оценивалась согласно требованиям ГОСТ 30459-2008 по изменению прочности на сжатие и изгиб пропариваемого мелкозернистого бетона с золошлаковой смесью МГРЭС (добавкой-заменителем части портландцемента) при одинаковом

водоцементном отношении контрольного и основного составов:

$$\Delta R = \left| \frac{R_t^k - R_t^o}{R_t^k} \right| \cdot 100, \quad (4)$$

где R_t^k и R_t^o – прочность МЗБ контрольного и основного составов, МПа; t – возраст МЗБ после пропаривания, сутки.

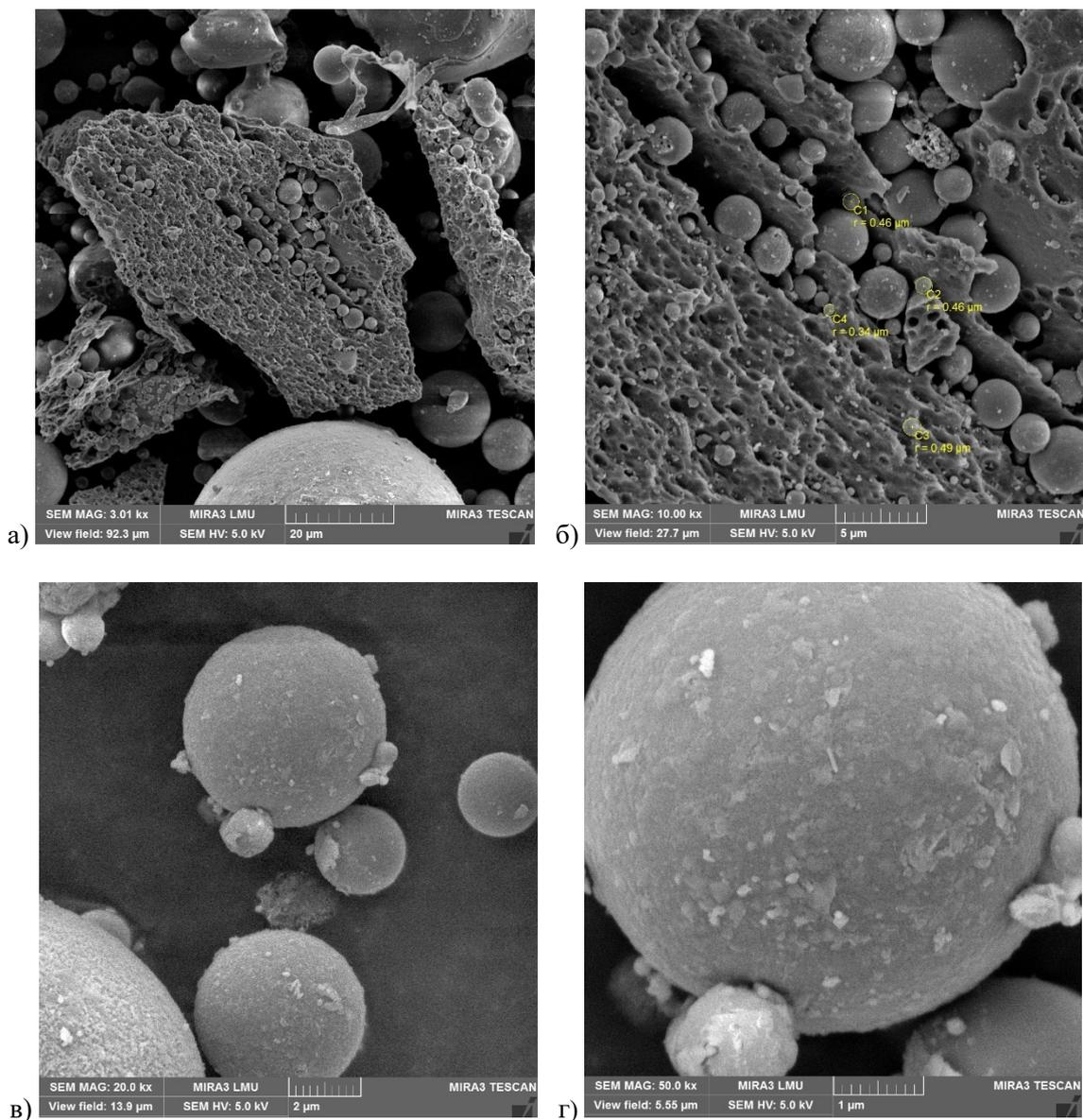


Рис. 3. Фотографии структуры ЗПС МГРЭС: а – 3000 \times ; б – 10000 \times ; в – 20000 \times ; г – 50000 \times

Во время адсорбции нафталинформальдегидного суперпластификатора происходит перераспределение зарядов и возникновение электрического поля в области поверхностного слоя. Частицы твердой фазы приобретают одноименный заряд, количественно оцениваемый как дзета-потенциал. Поскольку СП С-3 является анионоактивным веществом, заряд поверхности частиц становится отрицательным, что приводит к их отталкиванию. В результате облегчается взаимное перемещение частиц и затрудняется их коагуляция. Молекулы СП С-3, адсорбируясь на зернах портландцемента и песка, создают на поверхности утолщенную оболочку со значительным отрицательным потенциалом и тем самым замедляют гидратацию клинкерных минералов.

В механизме действия СП Master Glenium 115 дзета-потенциал и электростатические силы

не являются определяющим фактором процесса пластификации. Он обеспечивается за счет преобладающего стерического эффекта. К отличительной особенности поликарбоксилатного суперпластификатора относится структура его молекул, в которую введены боковые полимерные цепи различной длины, создающие адсорбционную объемную оболочку вокруг частиц твердой фазы, предотвращая коагуляцию и способствуя их взаимному отталкиванию [20].

Из полученных результатов (рис. 4, 5) следует, что прочность на сжатие ($R_{сж.}$) и изгиб ($R_{изг.}$) пропариваемого мелкозернистого бетона с ЗПС МГРЭС экстремально зависит от количества суперпластификаторов и достигает максимальных значений при содержании 1 % СП С-3 или 0,5 % СП Master Glenium 115 от массы ПЦ.

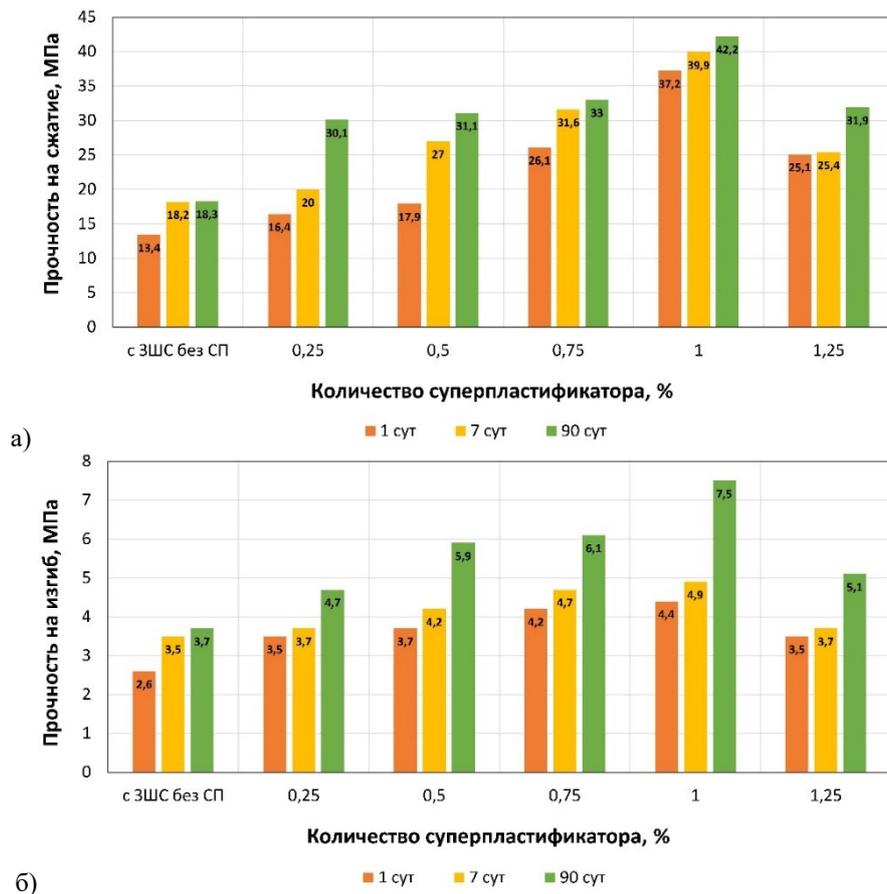


Рис. 4. Диаграммы зависимости прочности на сжатие (а) и изгиб (б) пропариваемого мелкозернистого бетона с ЗШС МГРЭС от содержания нафталинформальдегидного суперпластификатора С-3

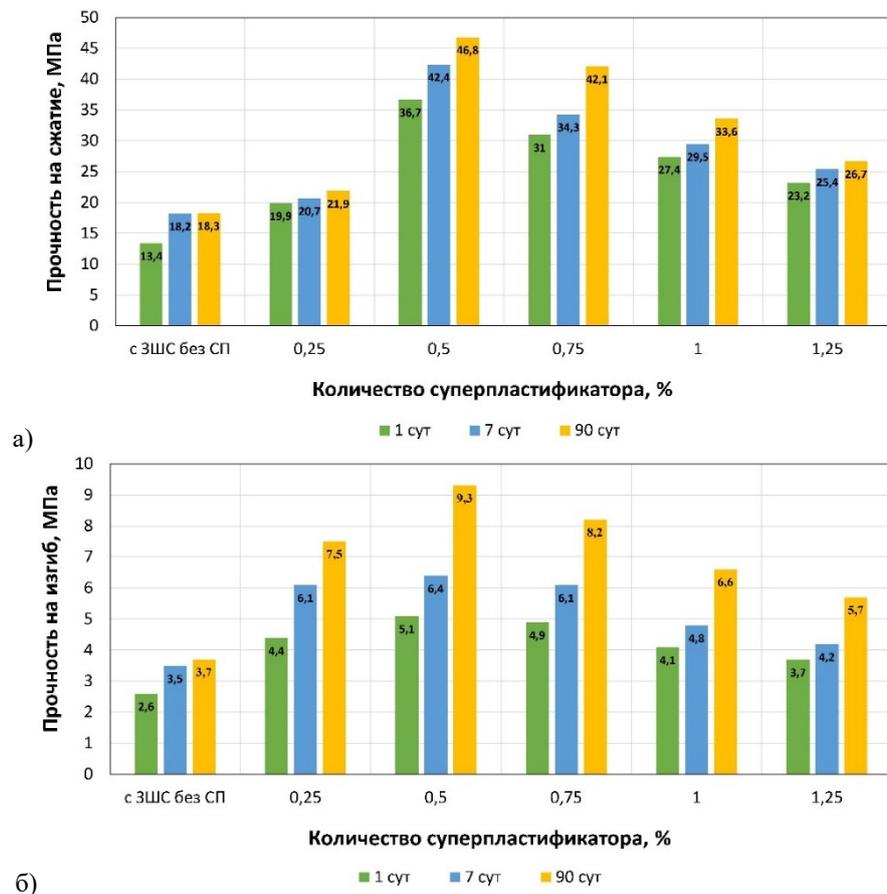


Рис. 5. Диаграммы зависимости прочности на сжатие (а) и изгиб (б) пропариваемого мелкозернистого бетона с ЗШС МГРЭС от содержания поликарбоксилатного суперпластификатора Master Glenium 115

Эффективность суперпластификатора С-3 по повышению прочности на сжатие МЗБ с ЗПС МГРЭС составляет 178 % через 1 сутки, 119 % через 7 суток и 131 % через 90 суток, прочности на изгиб – 69 %, 40 % и 103 %. Суперпластификатор Master Glenium 115 обладает большей эффективностью, по сравнению с С-3, которая по повышению прочности на сжатие бетона в возрасте 1, 7 и 90 суток после пропаривания равна 174 %, 133 % и 156 %, а прочности на изгиб – 96 %, 83 % и 151 %.

Выводы

1. Показано, что золошлаковая смесь МГРЭС, применяемая как добавка-заменитель части портландцемента, по содержанию оксида кальция и гидросиликатному модулю относится к кислой (скрыто активной), проявляющей пуццоланические свойства в условиях тепловой обработки бетона с содержанием суперпластификаторов.

2. Установлено, что при использовании нафталинформальдегидного суперпластификатора С-3 в количестве 1 % от массы портландцемента его эффективность по повышению прочности на сжатие пропариваемого мелкозернистого бетона с золошлаковой смесью МГРЭС составляет 178 %, 119 %, 131 % через 1, 7, 90 суток соответственно, а прочности на изгиб – 69 %, 40 %, 103 %.

3. Выявлено, что поликарбоксилатный суперпластификатор Master Glenium 115, вводимый в количестве 0,5 %, обладает большей эффективностью, по сравнению с С-3, которая по повышению прочности на сжатие и изгиб бетона после пропаривания равна 174 % и 96 % через 1 сутки, 133 % и 83 % через 7 суток, 156 % и 151 % через 90 суток соответственно.

4. Целесообразность выполненного исследования связана с необходимостью разработки новых ресурсосберегающих технологий производства пропариваемых мелкозернистых бетонов с золошлаковыми отходами, направленных на снижение расхода портландцемента, при одновременном решении проблемы загрязнения окружающей среды.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Лесовик В.С., Федюк Р.С. Повышение эффективности малопроницаемых цементных композитов // Вестник МГСУ. 2021. Т. 16. № 10. С. 1346–1356.

2. 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.

3. 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 // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2021. № 9. С. 8–19.

4. 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. Т. 20. № 3. С. 432–442.

5. Тараканов О.В., Акчурун Т.К., Белякова Е.А., Душко О.В. Перспективы применения комплексных органоминеральных добавок в бетонах нового поколения // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2023. № 2 (91). С. 88–98.

6. Белякова Е.А., Москвин Р.Н., Тараканов О.В., Юрова В.С. Порошковые и порошково-активированные бетоны с использованием горных пород и зол ТЭЦ. Пенза: Пензенский государственный университет архитектуры и строительства, 2022. 176 с.

7. Лукутцова Н.П., Пыкин А.А., Горностаева Е.Ю., Головин С.Н., Золотухина Н.В. Моделирование состава мелкозернистого бетона с золошлаковой смесью и суперпластификатором // Вестник Восточно-Сибирского государственного университета технологий и управления. 2022. № 2 (85). С. 71–77.

8. Бедарев В.В., Бедарев Н.В., Бедарев А.В. Применение золы ТЭС для получения высокопрочных бетонов и снижения расхода цемента // Бетон и железобетон. 2022. № 2 (610). С. 3–7.

9. Явинский А.В., Чулкова И.Л. Влияние золы гидроудаления на свойства тяжелого бетона для строительства дорожного покрытия // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2022. № 3. С. 16–24.

10. Shebli A., Khatib J., Elkordi A. Mechanical and Durability Properties of Fly Ash Geopolymer Concrete – A review // Science and Technology. 2023. Vol. 4. Pp. 5.

11. Al Biajawi M.I., Embong R., Muthusamy K., Ismail N., Obianyio I.I. Recycled coal bottom ash as sustainable materials for cement replacement in cementitious Composites: A review // Construction and Building Materials. 2022. Vol. 338. 127624.

12. Alaloul W.S., Salaheen A.M., Malkawi A.B., Alzubi K., Al-Sabaeei A.M., Musarat M.A. Utilizing of oil shale ash as a construction material: A systematic review // Construction and Building Materials. 2021. Vol. 299. 123844.

13. Sun J., Shen X., Tan G., Tanner J.E. Compressive strength and hydration characteristics of high-volume fly ash concrete prepared from fly ash // Journal of Thermal Analysis and Calorimetry. 2019. Vol. 136. Pp. 565–580.

14. Cruz N.C., Silva F.C., Tarelho L.A., Rodrigues S.M. Critical review of key variables affecting potential recycling applications of ash produced at large-scale biomass combustion plants // Resources, Conservation and Recycling. 2019. Vol. 150. 104427.

15. Elchalakani M., Dong M., Karrech A., Li G., Mohamed Ali M. S., Xie T., Yang B. Development of fly ash-and slag-based geopolymer concrete with calcium carbonate or microsilica // Journal of Materials in Civil Engineering. 2018. Vol. 30 (12). 04018325.

16. Бурменко Ф.Ю., Бурменко Ю.Ф., Чирвина С.Л., Юрова Т.Ф. Перспективы и возможности использования золошлакового сырья Молдавской ГРЭС // Вестник Приднестровского университета. Серия: Физико-математические и технические науки. 2019. № 3 (63). С. 165–168.

17. Херрманн Е., Рикерт Й. Свойства теста

из цементов с золой-уносом и влияние золы-уноса на взаимодействие цемента с суперпластификаторами // Цемент и его применение. 2017. № 5. С. 66–70.

18. Кожухова Н.И., Жерновский И.В., Фомина Е.В. Фазаобразование в геополлимерных системах на основе золы-уноса Апатитской ТЭЦ // Строительные материалы. 2015. № 12. С. 85–88.

19. Ращупкина М.А., Явинский А.В., Чулкова И.Л. Влияние водоредуцирующих суперпластификаторов и золы гидроудаления на свойства цементного камня // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2021. № 3. С. 49–55.

20. Крамар Л.Я., Трофимов Б.Я., Черных Т.Н., Орлов А.А., Шулдяков К.В. Современные суперпластификаторы для бетонов, особенности их применения и эффективность // Строительные материалы. 2016. № 11. С. 21–25.

Информация об авторах

Лукутцова Наталья Петровна, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой производства строительных конструкций. E-mail: natluk58@mail.ru. Брянский государственный инженерно-технологический университет. Россия, 241037, Брянск, пр. Станке Дмитрова, д. 3.

Пыкин Алексей Алексеевич, кандидат технических наук, доцент кафедры производства строительных конструкций. E-mail: alexem87@yandex.ru. Брянский государственный инженерно-технологический университет. Россия, 241037, Брянск, пр. Станке Дмитрова, д. 3.

Головин Сергей Николаевич, аспирант кафедры производства строительных конструкций. E-mail: s.n.golovin@mail.ru. Брянский государственный инженерно-технологический университет. Россия, 241037, Брянск, пр. Станке Дмитрова, д. 3.

Дудник Анна Вячеславовна, старший преподаватель, заведующий кафедрой промышленного и гражданского строительства. E-mail: graug annua@mail.ru. Бендерский политехнический филиал государственного образовательного учреждения «Приднестровский государственный университет им. Т.Г. Шевченко». Приднестровская Молдавская Республика, 3200, Бендеры, ул. Бендерского Восстания, д. 7.

Золотухина Наталья Викторовна, старший преподаватель. E-mail: nvm-proekt@mail.ru. Бендерский политехнический филиал государственного образовательного учреждения «Приднестровский государственный университет им. Т.Г. Шевченко». Приднестровская Молдавская Республика, 3200, Бендеры, ул. Бендерского Восстания, д. 7.

Поступила 19.05.2024 г.

© Лукутцова Н.П., Пыкин А.А., Головин С.Н., Дудник А.В., Золотухина Н.В., 2024

^{1,*}Lukuttsova N.P., ¹Pykin A.A., ¹Golovin S.N., ²Dudnik A.V., ²Zolotukhina N.V.

¹Bryansk State Engineering Technological University

²Bendery Polytechnic Branch of the State Educational Institution
«Pridnestrovian State University named after T.G. Shevchenko»

*E-mail: natluk58@mail.ru

EFFICIENCY OF SUPERPLASTICIZERS IN FINE-GRAINED CONCRETE WITH ASH AND SLAG MIXTURE

Abstract. An assessment was made of the effectiveness of naphthalene-formaldehyde and polycarboxylate superplasticizers in steamed fine-grained concrete with an ash and slag mixture from the Moldavian State Regional Power Plant (MSRPP ASM) as an additive-substitute for part of Portland cement (10 %) formed from the combustion of anthracite and lean coal during the joint hydraulic removal of fly ash and slag. The

results of studies of the structure and physico-chemical properties of MSRPP ASM (chemical and granulometric compositions, hydrosilicate and silica modules, quality factor) are presented. It has been established that the bulk of the ash and slag mixture at MSRPP consists of polydisperse spherical fly ash particles with a smooth vitrified surface. In terms of calcium oxide content (2.4%) and hydrosilicate modulus (less than 1), MSRPP ASM is acidic (latently active), exhibiting pozzolanic properties under conditions of heat treatment of concrete containing superplasticizers. It was revealed that the effectiveness of superplasticizer S-3 in increasing the compressive strength of steamed concrete from the MSRPP ASM is 178 % after 1 day, 119 % after 7 days and 131 % after 90 days, and flexural strength – 69 %, 40% and 103%. Superplasticizer Master Glenium 115 has greater efficiency compared to C-3, which increases the compressive strength of concrete at the age of 1, 7 and 90 days after steaming by 174 %, 133 % and 156 %, and flexural strength by 96 %, 83 % and 151 %.

Keywords: fine-grained concrete, ash and slag mixture, naphthalene-formaldehyde and polycarboxylate superplasticizers, steaming, compressive and bending strength, superplasticizer efficiency.

REFERENCES

1. Lesovik V.S., Fedyuk R.S. Increasing the performances of low permeable cement composites [Povyshenie effektivnosti malopronicaemykh cementnykh kompozitov]. Vestnik MGSU (Monthly Journal on Construction and Architecture). 2021. No. 16 (10). Pp. 1346–1356. (rus)
2. Percev V.T., Halilbekov YA.Z., Ledenev A.A., Perova N.S. Composition and technology of complex additives for concrete based on industrial waste [Sostav i tekhnologiya kompleksnykh dobavok dlya betona na osnove promyshlennykh othodov]. Journal Cement and its Applications. 2019. No 3. Pp. 98–101. (rus)
3. Ledenev A.A., Kozodaev S.P., Percev V.T., Baranov E.V., Zagorujko T.V., Vnukov D.N. Mechanisms of act of various kinds of organic mineral additives in cement system [Mekhanizmy dejstviya razlichnykh vidov organomineral'nykh dobavok v cementnoj sisteme]. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2021. No 9. Pp. 8–19. (rus)
4. Percev 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 effektivnykh organomineral'nykh dobavok dlya betona]. Condensed matter and interphases. 2018. No. 20 (3). Pp. 432–442. (rus)
5. Tarakanov O.V., Akchurin T.K., Belyakova E.A., Dushko O.V. Prospects for the use of complex organomineral additives in new generation concrete [Perspektivy primeneniya kompleksnykh organomineral'nykh dobavok v betonah novogo pokoleniya]. Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arhitektura. 2023. No. 2 (91). Pp. 88–98. (rus)
6. Belyakova E.A., Moskvina R.N., Tarakanov O.V., Yurova V.S. Powder and powder-activated concrete using rocks and thermal power plant ashes. [Poroshkovye i poroshkovo-aktivirovannye betony s ispol'zovaniem gornykh porod i zol TEC]. Penza: Penza State University of Architecture and Construction, 2022. 176 p. (rus)
7. Lukutsova N.P., Pykin A.A., Gornostaeva E.Yu., Golovin S.N., Zolotukhina N.V. Modeling of the composition of fine-grained concrete with ash and slag mixture and superplasticizer [Modelirovanie sostava melkozernistogo betona s zoloshlakovoj smes'yu i superplastifikatorom]. Vestnik Vostochno-Sibirskogo gosudarstvennogo universiteta tekhnologij i upravleniya. 2022. No. 2 (85). Pp. 71–77. (rus)
8. Bedarev V.V., Bedarev N.V., Bedarev A.V. The use of thermal power plant ash to produce high-strength concrete and reduce cement consumption [Primenenie zoly TES dlya polucheniya vysokoprotivnykh betonov i snizheniya raskhoda cementa]. Concrete and reinforced concrete. 2022. No. 2 (610). Pp. 3–7. (rus)
9. Yavinskij A.V., Chulkova I.L. The effect of pond ash on the properties of heavy concrete for road covering [Vliyanie zoly gidroudaleniya na svoystva tyazhelogo betona dlya stroitel'stva dorozhnogo pokrytiya]. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2022. No 3. Pp. 16–24. (rus)
10. Shebli A., Khatib J., Elkordi A. Mechanical and Durability Properties of Fly Ash Geopolymer Concrete – A review. Science and Technology. 2023. Vol. 4. 5.
11. Al Biajawi M.I., Embong R., Muthusamy K., Ismail N., Obianyo I.I. Recycled coal bottom ash as sustainable materials for cement replacement in cementitious Composites: A review. Construction and Building Materials. 2022. Vol. 338. 127624.
12. Alaloul W.S., Salaheen A.M., Malkawi A.B., Alzubi K., Al-Sabaeei A.M., Musarat M.A. Utilizing of oil shale ash as a construction material: A systematic review. Construction and Building Materials. 2021. Vol. 299. 123844.
13. Sun J., Shen X., Tan G., Tanner J.E. Compressive strength and hydration characteristics of high-volume fly ash concrete prepared from fly ash. Journal of Thermal Analysis and Calorimetry. 2019. Vol. 136. Pp. 565–580.

14. Cruz N.C., Silva F.C., Tarelho L.A., Rodrigues S.M. Critical review of key variables affecting potential recycling applications of ash produced at large-scale biomass combustion plants. *Resources, Conservation and Recycling*. 2019. Vol. 150. 104427.

15. Elchalakani M., Dong M., Karrech A., Li G., Mohamed Ali M. S., Xie T., Yang B. Development of fly ash-and slag-based geopolymer concrete with calcium carbonate or microsilica. *Journal of Materials in Civil Engineering*. 2018. Vol. 30 (12). 04018325.

16. Burmenko F.Yu., Burmenko Yu.F., Chirvina S.L., Yurova T.F. Prospects and possibilities of using of ash and slag raw materials of the Moldavian state district power station [Perspektivy i vozmozhnosti ispol'zovaniya zoloshlakovogo syr'ya Moldavskoj GRES]. *Vestnik Pridnestrovskogo universiteta. Seriya: Fiziko-matematicheskie i tekhnicheskie nauki*. 2019. No. 3 (63). Pp. 165–168. (rus)

17. Herrmann E., Rikert J. Influences of fly ash cement on properties of fresh cement paste and on cement's interactions with superplasticizer [Svoystva testa iz cementov s zolozhunosom i vliyanie zoly-

unosna na vzaimodejstvie cementa s superplastifikatorami]. *Journal Cement and its Applications*. 2017. No. 5. Pp. 66–70. (rus)

18. Kozhuhova N.I., Zhernovskij I.V., Fomina E.V. Phase formation in geo-polymer systems on the basis of fly ash of Apatity TPS [Fazoobrazovanie v geopolimernykh sistemah na osnove zoly-unosa Apatitskoj TEC]. *Construction materials*. 2015. No. 12. Pp. 85–88. (rus)

19. Rashchupkina M.A., Yavinskij A.V., Chulkova I.L. Influence of water-reducing superplasticizers and water removal ash on the properties of cement stone [Vliyanie vodoreduciruyushchih superplastifikatorov i zoly gidroudaleniya na svoystva cementnogo kamnya]. *News of higher educational institutions. Construction*. 2021. No. 3. Pp. 49–55. (rus)

20. Kramar L.Ya., Trofimov B.Ya., Chernyh T.N., Orlov A.A., Shuldyakov K.V. Modern superplasticizers for concretes, features of their application and effectiveness [Sovremennye superplastifikatory dlya betonov, osobennosti ih primeneniya i effektivnost']. *Construction materials*. 2016. No. 11. Pp. 21–25. (rus)

Information about the authors

Lukuttsova, Natal'ya P. DSc, Professor. E-mail: natluk58@mail.ru. Bryansk State Engineering Technological University. Russia, 241037, Bryansk, Stanke Dimitrova Avenue, 3.

Pykin, Aleksey A. PhD. E-mail: alexem87@yandex.ru. Bryansk State Engineering Technological University. Russia, 241037, Bryansk, Stanke Dimitrova Avenue, 3.

Golovin, Sergej N. Graduate student. E-mail: s.n.golovin@mail.ru. Bryansk State Engineering Technological University. Russia, 241037, Bryansk, Stanke Dimitrova Avenue, 3.

Dudnik, Anna V. Senior Lecturer. E-mail: graur_annya@mail.ru. Bendery Polytechnic Branch of the State Educational Institution «Pridnestrovian State University named after T.G. Shevchenko». Pridnestrovian Moldavian Republic, 3200, Bendery, st. Bendersky Uprising, 7.

Zolotuhina, Natal'ya V. Senior Lecturer. E-mail: graur_annya@mail.ru. Bendery Polytechnic Branch of the State Educational Institution «Pridnestrovian State University named after T.G. Shevchenko». Pridnestrovian Moldavian Republic, 3200, Bendery, st. Bendersky Uprising, 7.

Received 19.05.2024

Для цитирования:

Лукутцова Н.П., Пыкин А.А., Головин С.Н., Дудник А.В., Золотухина Н.В. Эффективность суперпластификаторов в мелкозернистом бетоне с золошлаковой смесью // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2024. №8. С. 29–38. DOI: 10.34031/2071-7318-2024-9-8-29-38

For citation:

Lukuttsova N.P., Pykin A.A., Golovin S.N., Dudnik A.V., Zolotukhina N.V. Efficiency of superplasticizers in fine-grained concrete with ash and slag mixture. *Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov*. 2024. No. 8. Pp. 29–38. DOI: 10.34031/2071-7318-2024-9-8-29-38

DOI: 10.34031/2071-7318-2024-9-8-39-53

Шипулин С.А., Беляева З.В., Миронова Л.И.Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина***E-mail: sa_shipulin@mail.ru*

ОЦЕНКА МЕТОДИК РАСЧЕТА ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ПО ПРОЧНОСТИ ПРИ ДВУХОСЕВОМ ДЕЙСТВИИ ПОПЕРЕЧНЫХ СИЛ

Аннотация. В действующих в РФ нормах проектирования железобетонных конструкций отсутствуют методики расчета изгибаемых элементов при двухосевом действии поперечных сил. Однако методики расчета таких конструкций существуют и приведены в работах отечественных и зарубежных исследователей, а также в нормах проектирования прошлых лет. В данной статье отобраны данные о результатах 33 испытаний балок на двухосевое действие поперечных сил. Выполнено сравнение результатов отобранных испытаний с результатами теоретических вычислений несущей способности элементов на двухосевое действие поперечных сил по различным аналитическим методикам. Приведен краткий обзор существующих аналитических методик. Сравнение результатов испытаний и теоретических вычислений приведено в табличном и графическом виде. Целью работы является выявление существующих методик расчета железобетонных изгибаемых элементов при двухосевом действии поперечных сил, позволяющих получать результаты расчета несущей способности, максимально приближенные к результатам испытаний. Показано, что методика, использующая эллиптическую диаграмму взаимодействия силовых факторов, а также методика Р. Марк, использующая систему интерполирующих коэффициентов, примененные к расчетным зависимостям из отечественных норм проектирования, могут быть рекомендованы для оценки несущей способности в инженерной практике проектирования.

Ключевые слова: наклонное сечение, косой изгиб, поперечная сила, железобетонные конструкции, расчет железобетонных изгибаемых элементов.

Введение. Работа железобетонных изгибаемых конструкций при действии поперечных сил в условиях плоского изгиба исследована в большом количестве работ, а в основные отечественные и зарубежные нормы проектирования включены рекомендации и методики для расчета таких элементов. В практике проектирования и строительства часто встречаются конструкции, подверженные двухосевому действию поперечных сил. При этом отмечается нехватка методик расчета таких элементов, включенных в нормы проектирования. В действующих в РФ нормах проектирования железобетонных конструкций [1] методики расчета изгибаемых элементов при двухосевом действии поперечных сил отсутствуют. Нормативные методики расчета отсутствуют и в действующих европейских нормах проектирования [2], а в японские [3] и американские [4] нормы проектирования включены методики расчета, основанные на применении диаграмм взаимодействия силовых факторов в виде уравнений, описывающих снижение несущей способности элемента на действие поперечной силы в направлении одной из главных осей его поперечного сечения при действии поперечной силы в другом направлении. Нехватка нормативных методик расчета указанных видов конструкций делает вопрос исследований по данной теме актуальным.

В данной статье приведен краткий обзор существующих аналитических методик расчета железобетонных элементов на двухосевое действие поперечных сил, включенных в нормы проектирования, а также отсутствующих в них. На основании анализа ранее выполненных опытных работ по теме исследования отобраны данные о результатах испытаний 33 балок на двухосевое действие поперечных сил. Выполнено сравнение результатов испытаний с результатами теоретических вычислений несущей способности элементов по проанализированным аналитическим методикам.

Целью работы является выявление существующих методик расчета железобетонных изгибаемых элементов при двухосевом действии поперечных сил, показывающих наиболее близкие к результатам испытаний результаты расчета несущей способности.

Обзор результатов рассматриваемых испытаний. В данной работе были отобраны результаты испытаний 33 железобетонных изгибаемых элементов на действие поперечных сил, выполненных различными исследователями. В частности, проанализированы работы Е. В. Клименко [5], А. Tinini [6], R. Thamrin [7], С. Hansapinyo [8]. Из работы [5] обработаны данные по результатам испытаний 8 балок прямоугольного поперечного сечения преимущественно без поперечной арматуры. Углы наклона силовой

плоскости составляют 0, 6 и 18 градусов. Из работы [6] обработаны данные по результатам испытаний 6 балок квадратного поперечного сечения с поперечной арматурой. Углы наклона силовой плоскости составляют 0, 22,5 и 45 градусов. Из работы [7] обработаны данные по результатам испытаний 6 балок квадратного поперечного сечения без поперечной арматуры. Углы наклона силовой плоскости составляют 22,5 и 45 градусов. Из работы [8] обработаны данные по результатам испытаний 13 балок прямоугольного поперечного сечения с поперечной арматурой. Углы наклона силовой плоскости составляют 0, 22, 45 и 90 градусов.

Все исходные данные приведены в таблицах 1–5.

В зарубежные нормы проектирования [3, 4, 2] включены методики расчета элементов на действие поперечных сил, в расчетные зависимости которых входит цилиндрическая прочность бетона. В отечественные же нормы проектирова-

ния [1] включена методика расчета, оперирующая величинами прочности бетона на растяжение. В связи с этим при анализе результатов выполненных испытаний и исходных данных к ним потребовались дополнительные вычисления, связанные с переходом от цилиндрической прочности бетона к кубиковой прочности и прочности бетона на растяжение. Значения прочностей, полученные на основе вычислений, а не напрямую из данных исследований [5–8] помечены в таблицах 1–4 знаком «*». Вычисления производились по зависимостям:

$$R_m = 0,83 f_c, \quad (1)$$

$$R_{bt} = 0,18 \sqrt[3]{R_m^2}, \quad (2)$$

где f_c – цилиндрическая прочность бетона образца, R_m – кубиковая прочность бетона образца, R_{bt} – прочность бетона образца на растяжение.

Таблица 1

Исходные данные из работы Е. В. Клименко [5]

Образец	Б-III-9	Б-III-10	Б-V-1	Б-V-4	Б-V-5	Б-V-6	Б-V-7	Б-V-8
Общее количество продольной арматуры / A , см ²	1d20 / 3,14	1d20 / 3,14	1d20 / 3,14	1d20 / 3,14	1d20 / 3,14	1d20 / 3,14	1d20 / 3,14	1d20 / 3,14
Угол наклона силовой плоскости, град	0	0	6,13	18,43	6,13	6,13	18,43	18,43
h/h_0 , мм	260/ 233	260/ 232	260/ 229	260/2 32	260/ 229	260/ 232	260/ 229	260/ 231
b/b_0 , мм	74/ 59	75/ 60	211/ 105,5	212/ 106	110/ 55	113/ 56,5	109/ 54,4	115/ 57,7
Кубиковая прочность бетона, МПа	30,4	30,4	34,5	34,5	34,5	34,5	34,5	34,5
Призменная прочность бетона R_b , МПа	23,6	23,6	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7
Цилиндрическая прочность бетона f_c , МПа	25,23*	25,23*	28,63*	28,63*	28,63*	28,63*	28,63*	28,63*
Прочность бетона на растяжение R_{bt} , МПа	1,51	1,51	1,63	1,63	1,63	1,63	1,63	1,63
Расчетное сопротивление продольной арматуры R_s , МПа	433,5	433,5	425,5	425,5	425,5	425,5	425,5	425,5
Расчетное сопротивление поперечной арматуры R_{sw} , МПа	238	238	–	–	–	–	–	–
Диаметр и шаг поперечной арматуры, мм	1d6,5/ 160	1d6,5/ 160	–	–	–	–	–	–
Пролет среза, мм	582,5	580	572,5	580	572,5	580	572,5	577,5
Результаты испытаний Q_{ult} , кН	38,87	42,62	79,26	57,76	32,76	37,76	32,26	39,01

Таблица 2

Исходные данные из работы А. Tinini [6]

Образец	S0-0	S0-22.5	S0-45	S6-0	S6-22.5	S6-45
Общее количество продольной арматуры / A , см ²	8d20/ 25,12	8d20/ 25,12	8d20/ 25,12	8d20/ 25,12	8d20/ 25,12	8d20/ 25,12
Угол наклона силовой плоскости, град	0	22,5	45	0	22,5	45
h/h_0 , мм	300/260	300/260	300/260	300/260	300/260	300/260
b/b_0 , мм	300/260	300/260	300/260	300/260	300/260	300/260
Кубиковая прочность бетона, МПа	54,04	54,04	54,04	54,04	54,04	54,04
Призменная прочность бетона R_b , МПа	39,5*	39,5*	39,5*	39,5*	39,5*	39,5*
Цилиндрическая прочность бетона f_c , МПа	44,85	44,85	44,85	44,85	44,85	44,85
Прочность бетона на растяжение R_{bt} , МПа	2,57*	2,57*	2,57*	2,57*	2,57*	2,57*
Расчетное сопротивление продольной арматуры R_s , МПа	552	552	552	552	552	552
Расчетное сопротивление поперечной арматуры R_{sw} , МПа	–	–	–	552	552	552
Диаметр / шаг поперечной арматуры, мм	–	–	–	2d6 / 250	2d6 / 250	2d6 / 250
Пролет среза, мм	650	850	920	650	850	920
Результаты испытаний Q_{ult} , кН	131,7	130,2	134,7	169,2	188,7	168,6

Таблица 3

Исходные данные из работы R. Thamrin [7]

Образец	G2-01-22,5	G2-02-22,5	G2-03-22,5	G2-01-45	G2-02-45	G2-03-45
Общее количество продольной арматуры / A , см ²	8d13/ 10,61	8d16/ 16,07	8d19/ 22,67	8d13/ 10,61	8d16/ 16,07	8d19/ 22,67
Угол наклона силовой плоскости, град	22,5	22,5	22,5	45	45	45
h/h_0 , мм	222/185	222/184	222/183	222/185	222/184	222/183
b/b_0 , мм	222/185	222/184	222/183	222/185	222/184	222/183
Кубиковая прочность бетона, МПа	30,24*	30,24*	30,24*	30,24*	30,24*	30,24*
Призменная прочность бетона R_b , МПа	22*	22*	22*	22*	22*	22*
Цилиндрическая прочность бетона f_c , МПа	25,1	25,1	25,1	25,1	25,1	25,1
Прочность бетона на растяжение R_{bt} , МПа	1,75*	1,75*	1,75*	1,75*	1,75*	1,75*
Расчетное сопротивление продольной арматуры R_s , МПа	410	390	370	410	390	370
Расчетное сопротивление поперечной арматуры R_{sw} , МПа	–	–	–	–	–	–
Диаметр / шаг поперечной арматуры, мм	–	–	–	–	–	–
Пролет среза, мм	800	800	800	800	800	800
Результаты испытаний Q_{ult} , кН	46,3	43,4	53,4	50,7	50,4	50,4

Таблица 4

Исходные данные из работы С. Hamsarıno (образцы 1–6) [8]

Образец	B0_1	B45_1	B45W_1	B0_2	B20_2	B20W_2
Общее количество продольной арматуры / A , см ²	8d25/ 39,2	8d25/ 39,2	8d25/ 39,2	12d25/ 58,8	12d25/ 58,8	12d25/ 58,8
Угол наклона силовой плоскости, град	0	45	45	0	20	20
h/h_0 , мм	300/ 260	300/ 260	300/ 260	350/ 310	350/ 310	350/ 310
b/b_0 , мм	300/ 260	300/ 260	300/ 260	150/ 110	150/ 110	150/ 110
Кубиковая прочность бетона, МПа	37,3*	37,3*	37,3*	33,7*	33,7*	33,7*
Призменная прочность бетона R_b , МПа	27*	27*	27*	24*	24*	24*
Цилиндрическая прочность бетона f_c , МПа	31,0	31,0	31,0	28,0	28,0	28,0
Прочность бетона на растяжение R_{bt} , МПа	2,0*	2,0*	2,0*	1,9*	1,9*	1,9*
Расчетное сопротивление продольной арматуры R_s , МПа	440	440	440	440	440	440
Расчетное сопротивление поперечной арматуры R_{sw} , МПа	370	370	370	370	370	370
Диаметр / шаг поперечной арматуры, мм	2d6/ 100	2d6/ 100	2d6/ 100	2d6/ 100	2d6/ 100	2d6/ 100
Пролет среза, мм	675	675	675	800	800	800
Результаты испытаний Q_{ult} , кН	215,9	233,5	147,2	164,7	156,5	108,0

Таблица 5

Исходные данные из работы С. Hamsarıno (образцы 7–13) [8]

Образец	B45_2	B45W_2	B90_2	B0_3	B25_3	B45_3	B90_3
Общее количество продольной арматуры / A , см ²	12d25/ 58,8	12d25/ 58,8	12d25/ 58,8	14d25/ 68,6	14d25/ 68,6	14d25/ 68,6	14d25/ 68,6
Угол наклона силовой плоскости, град	45	45	0/90	0	25	45	0/90
h/h_0 , мм	350/ 310	350/ 310	150/ 110	450/ 410	450/ 410	450/ 410	200/ 160
b/b_0 , мм	150/ 110	150/ 110	350/ 310	200/ 160	200/ 160	200/ 160	450/ 410
Кубиковая прочность бетона, МПа	33,7*	33,7*	33,1*	38,6*	38,6*	38,6*	38,6*
Призменная прочность бетона R_b , МПа	24*	24*	24*	27,5*	27,5*	27,5*	27,5*
Цилиндрическая прочность бетона f_c , МПа	28,0	28,0	27,5	32,0	32,0	32,0	32,0
Прочность бетона на растяжение R_{bt} , МПа	1,9*	1,9*	1,9*	2,1*	2,1*	2,1*	2,1*
Расчетное сопротивление продольной арматуры R_s , МПа	440	440	440	440	440	440	440
Расчетное сопротивление поперечной арматуры R_{sw} , МПа	370	370	370	370	370	370	370
Диаметр / шаг поперечной арматуры, мм	2d6/ 100						
Пролет среза, мм	800	800	800	1100	1100	1100	1100
Результаты испытаний Q_{ult} , кН	113,4	81,3	77,6	250,2	215,7	199,7	156,8

Краткий обзор рассматриваемых методик расчета.

В данной работе аналитические вычисления несущей способности испытанных конструкций при действии поперечных сил выполнялись по 7 методикам:

- методике Е. В. Клименко [5],
- методике эллиптической диаграммы взаимодействия в приложении к СП 63.13330.2018 [9, 10, 1],
- методике Р. Mark [11, 12, 13] в приложении к СП 63.13330.2018 [1], ACI 318M [4] и EN [2],
- методике А. Tinini [6] в приложении к СП 63.13330.2018 и ACI 318M.

Методика Е. В. Клименко. Методика, предложенная Е. В. Клименко, изложена в работе [5]. Обзор расчетных зависимостей приведен в работе [14]. Алгоритм является развитием основной методики расчета элементов на действие поперечных сил, приведенной в СНиП II-21-75 [15], распространенной на случай двухосевого действия поперечных сил при помощи эмпирических коэффициентов, учитывающих угол наклона силовой плоскости, количество продольной арматуры, пролет среза, соотношение сторон поперечного сечения и другие факторы, влияющие на прочность элемента.

Методика эллиптической диаграммы взаимодействия. В пособия и руководства к отечественным нормам 1975 и 1984 годов [9, 10], а также в японские нормы проектирования [3] и в работы исследователей Н. Umehara и J. O. Jirsa [16] включена рекомендация по расчету железобетонных элементов на двухосевое действие поперечной силы в виде эллиптической диаграммы взаимодействия силовых факторов. Условие прочности записано в виде формулы:

$$\left[\frac{Q_x}{Q_{bw(x)}} \right]^2 + \left[\frac{Q_y}{Q_{bw(y)}} \right]^2 \leq 1, \quad (3)$$

где Q_x и Q_y – составляющие поперечной силы, действующие соответственно вдоль оси симметрии X и вдоль нормальной к ней оси Y в наиболее удаленном от опоры конце наклонного сечения; $Q_{bw(x)}$ и $Q_{bw(y)}$ – предельные поперечные силы, воспринимаемые элементом по бетону и по поперечной арматуре при их действии соответственно вдоль осей X и Y , и определяемые в соответствии с применяемыми нормами проектирования.

В данной статье при обработке данных испытаний эллиптическая диаграмма взаимодействия силовых факторов строилась на основе вычисления прочностей элементов при одноосевом

действии поперечных сил в соответствии с методикой СП63.13330.2018 [1].

Методика Р. Mark. Методика расчета балок прямоугольного сечения, предложенная Р. Mark изложена в работах [11–13]. В основе методики лежит модель пространственной ферменной аналогии. Р. Mark предлагает модифицировать базовые расчетные зависимости для определения компонент несущей способности элементов на действие поперечных сил, связанных с бетоном и с поперечной арматурой для случая плоского изгиба при помощи системы интерполирующих коэффициентов α_v , α_t , α_c , зависящих от угла наклона силовой плоскости и соотношения сторон сечения. Приведенный к габаритам сечения тангенс угла наклона силовой плоскости:

$$\alpha_v = \frac{V_{Sd,y}}{V_{Sd,z}} \cdot \frac{h}{b}, \quad (4)$$

где $V_{Sd} = \sqrt{V_{Sd,y}^2 + V_{Sd,z}^2}$ – действующая поперечная сила и ее компоненты, приведенные к главным осям прямоугольного сечения Z (вертикальная ось) и Y (горизонтальная ось). Принимается, что $h \geq b$. Пределы определения α_v составляют $0 \leq \alpha_v \leq 1$. Значение $\alpha_v = 0$ соответствует случаю одноосевого (плоского) изгиба, а $\alpha_v = 1$ соответствует ориентации поперечной силы по диагонали сечения.

Рассматривая граничные случаи при $\alpha_v = 0$ (одноосевой сдвиг) и $\alpha_v = 1$ (диагональный сдвиг) Р. Mark вводит дополнительные интерполирующие коэффициенты α_t (учет прочности хомутов) и α_c (учет прочности сжатого бетонного подкоса «фермы»), учитывающие изменения в напряжениях в бетоне и поперечной арматуре для случая двухосевого действия поперечной силы:

$$\alpha_t = 1 + \left(\frac{2}{\sqrt{\left(\frac{b}{h}\right)^2 + 1}} - 1 \right) a_v^k \quad (5)$$

$$\alpha_c = 1 + \left(\frac{b}{b_{\text{eff}}} - 1 \right) a_v^k, \quad (6)$$

где $k \geq 0$ – показатель степени, позволяющий калибровать модель. Рекомендуемое значение $k = 0,5$. Рекомендуемое значение эффективной ширины сечения для случая двухосевого сдвига

$b_{eff} = 0,6b$. Граничные значения для коэффициентов: $1 \leq \alpha_t \leq 2$; $1 \leq \alpha_c \leq b/b_{eff}$.

Универсальность подхода, предложенного Р. Mark, заключается в том, что предложенные им интерполирующие коэффициенты могут быть применены к расчетным зависимостям для определения компонентов несущей способности, связанных с бетоном и поперечной арматурой, определенным по различным нормам проектирования. Таким образом, данный подход можно применить как при расчете с применением отечественных норм проектирования [1], так и с применением зарубежных норм проектирования [4, 2]. В данной работе аналитические вычисления с привлечением методики Р. Mark выполнены по трем нормам – РФ, европейским и американским.

Общий вид расчетных зависимостей с привлечением интерполирующих коэффициентов записывается в виде

$$Q_{ult,b,sw} = Q_{b,x} + Q_{sw} \cdot \frac{1}{\alpha_t}, \quad (7)$$

$$Q_{b,max} = Q_{b,max,x} \cdot \frac{1}{\alpha_c} \quad (8)$$

где $Q_{ult,b,sw}$ – величина несущей способности элемента при двухосевом действии поперечной силы; $Q_{b,x}$ – величина несущей способности элемента при одноосевом действии поперечной

силы, определенная по бетону в соответствии с расчетными зависимостями применяемых норм проектирования; Q_{sw} – величина несущей способности элемента при одноосевом действии поперечной силы, определяемая по поперечной арматуре в соответствии с расчетными зависимостями применяемых норм проектирования; $Q_{b,max}$ – несущая способность элемента при двухосевом действии поперечной силы, связанная с прочностью наклонной сжатой полосы (прочностью наклонного сжатого «подкоса» в ферменной аналогии); $Q_{b,max,x}$ – несущая способность элемента при одноосевом действии поперечной силы, связанная с прочностью наклонной сжатой полосы.

Методика А. Tinini. Методика, предложенная А. Tinini в работе [6], является модификацией методики интерполирующих коэффициентов, предложенной Р. Mark. Модификация заключается в том, что при вычислении несущей способности элемента при двухосевом действии поперечных сил по компоненте, связанной с бетоном, используются величины $h_{0,eff}$, $b_{0,eff}$ – приведенные к углу наклона силовой плоскости величины рабочей высоты сечения и ширины сечения. Эти величины определяются по форме сжатой зоны бетона по правилам, приведенным на рис. 1.

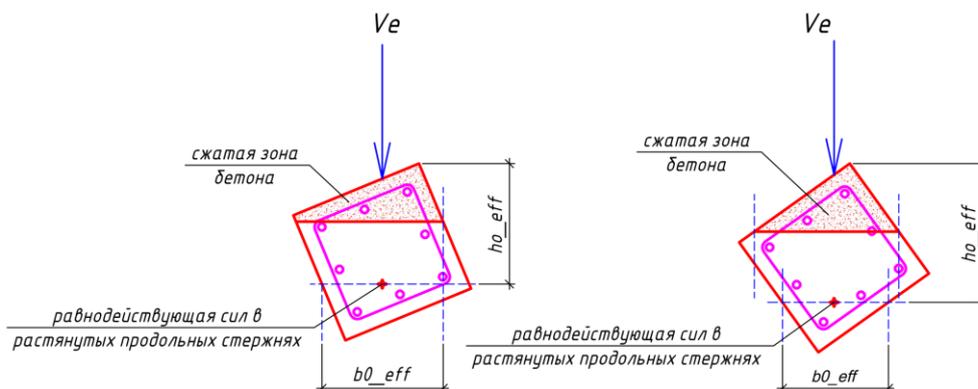


Рис. 1. Принципы определения значений $h_{0,eff}$, $b_{0,eff}$ при различных углах наклона силовой плоскости и формах сжатой зоны бетона согласно [6]

Таким образом, для вычислений по методике А. Tinini требуется точно определить форму сжатой зоны бетона (треугольник, трапеция), ее ширину и высоту, а также положение равнодействующей усилий в растянутых продольных стержнях в нормальном сечении, связанном с концом рассматриваемого наклонного сечения. Такие вычисления возможны с привлечением нелинейной деформационной модели (НДМ). Расчетная зависимость записывается в виде:

$$Q_{ult,b,sw} = Q_{b(h_{0,eff}, b_{0,eff})} + Q_{sw} \cdot \frac{1}{\alpha_t}, \quad (9)$$

где $Q_{ult,b,sw}$ – величина несущей способности элемента при двухосевом действии поперечной силы; $Q_{b(h_{0,eff}, b_{0,eff})}$ – величина несущей способности элемента при одноосевом действии поперечной силы, определенная по бетону в соответ-

ствии с расчетными зависимостями применяемых норм проектирования, с применением эффективных величин рабочей высоты сечения и ширины сечения $h_{0,eff}$, $b_{0,eff}$, определенных по правилам, приведенным на рис. 1; Q_{sw} – величина несущей способности элемента при одноосевом действии поперечной силы, определяемая по поперечной арматуре в соответствии с расчетными зависимостями применяемых норм проектирования; α_i – интерполирующий коэффициент, определенный по методике Р. Марк.

В данной работе аналитические вычисления с привлечением методики А. Тинини выполнены по двум нормам – РФ [1] и американским [4]. Ввиду необходимости большого объема вычислений с привлечением НДМ аналитические вычисления произведены только при обработке серии экспериментов, выполненных А. Тинини [6].

Результаты расчетов. Для железобетонных изгибаемых элементов, испытанных на двухосевое действие поперечных сил различными исследователями [5, 6, 7, 8], выполнены аналитические вычисления теоретической несущей способности по 7 методикам, описанным выше. Во всех рас-

четах использовались фактические величины характеристик материалов (прочности бетона и арматуры), приведенные в исследованиях. Результаты вычислений приведены в таблицах 6–9.

По результатам вычислений построены графики. На графиках для наглядности величины несущих способностей элементов по поперечной силе разложены по направлениям главных осей сечения с привлечением следующих зависимостей:

$$Q_{ult} = \sqrt{Q_{x\,ult}^2 + Q_{y\,ult}^2} \quad (10)$$

$$Q_{x\,ult} = Q_{ult} \cdot \cos\beta \quad (11)$$

$$Q_{y\,ult} = Q_{ult} \cdot \sin\beta \quad (12)$$

Такой подход позволил сравнить полученные результаты с вычислениями по эллиптической диаграмме взаимодействия (формула (3)) в графическом виде. Точка на графике соответствует величине несущей способности ($Q_{x\,ult}$; $Q_{y\,ult}$), а наклон виртуальной линии, соединяющий точку с началом координат, соответствует углу наклона силовой плоскости β .

Графики приведены на рисунках 2–8.

Таблица 6

Результаты аналитических вычислений для образцов из работы Е. В. Клименко [5]

Образец	Угол наклона силовой плоскости, град	Результаты испытаний		Расчет методом Е. В. Клименко		Расчет методом Р. Марк по нормам EN		Расчет методом Р. Марк по нормам АСІ		Расчет методом Р. Марк по нормам СП63		
		Q_b , кН	Q_{sw} , кН	Q_{ult} , кН	Q_b , кН	Q_{sw} , кН	Q_{ult} , кН	Q_b , кН	Q_{sw} , кН	Q_{ult} , кН	Q_b , кН	Q_{sw} , кН
Б-III-9	0	–	–	22,84	21,41	15,04	15,62	–	–	–	–	–
		–	–	22,89	11,47	12,75	22,94	–	–	–	–	–
		38,87	–	45,73	32,89	27,7	38,57	–	–	–	–	–
Б-III-10	0	–	–	22,94	21,57	15,13	15,76	–	–	–	–	–
		–	–	22,89	11,42	12,69	22,85	–	–	–	–	–
		42,62	–	45,84	32,99	27,82	38,61	–	–	–	–	–
Б-V-1	6,13	–	–	62,05	44,58	31,84	47,26	–	–	–	–	–
		79,26	–	62,05	44,58	31,84	47,26	–	–	–	–	–
Б-V-4	18,43	–	–	66,82	44,97	32,22	48,10	–	–	–	–	–
		57,76	–	66,82	44,97	32,22	48,10	–	–	–	–	–
Б-V-5	6,13	–	–	32,37	28,88	20,63	24,64	–	–	–	–	–
		32,76	–	32,37	28,88	20,63	24,64	–	–	–	–	–
Б-V-6	6,13	–	–	33,72	29,57	21,18	25,64	–	–	–	–	–
		32,76	–	33,72	29,57	21,18	25,64	–	–	–	–	–
Б-V-7	18,43	–	–	35,34	28,70	20,50	24,41	–	–	–	–	–
		32,26	–	35,34	28,70	20,50	24,41	–	–	–	–	–
Б-V-8	18,43	–	–	37,94	29,86	21,37	25,98	–	–	–	–	–
		39,01	–	37,94	29,86	21,37	25,98	–	–	–	–	–

Таблица 7

Результаты аналитических вычислений для образцов из работы A. Tinini [6]

Образец	Угол наклона силовой плоскости, град	Результаты испытаний Q_b , кН Q_{sw} , кН Q_{ult} , кН	Расчет методом Е. В. Клименко Q_b , кН Q_{sw} , кН Q_{ult} , кН	Расчет методом Р. Mark	Расчет методом Р. Mark	Расчет методом Р. Mark	Расчет методом А. Tinini	Расчет методом А. Tinini
				По нормам EN Q_b , кН Q_{sw} , кН Q_{ult} , кН	по нормам АСІ Q_b , кН Q_{sw} , кН Q_{ult} , кН	по нормам СП63 Q_b , кН Q_{sw} , кН Q_{ult} , кН	по нормам АСІ Q_b , кН Q_{sw} , кН Q_{ult} , кН	по нормам СП63 Q_b , кН Q_{sw} , кН Q_{ult} , кН
S0-0	0	–	143,35	109,75	87,06	120,41	86,03	97,53
		–	–	–	–	–	–	–
S0-22.5	22,5	131,7	143,35	109,75	87,06	120,41	86,03	97,53
		–	227,25	109,75	87,06	100,34	87,53	93,20
S0-45	45	–	227,25	109,75	87,06	100,34	87,53	93,20
		–	–	–	–	–	–	–
S6-0	0	134,7	227,21	109,75	87,06	100,34	91,39	97,86
		–	–	–	–	–	–	–
S6-22.5	22,5	–	143,35	109,75	87,06	120,41	86,03	97,53
		–	61,24	27,61	30,67	61,35	27,61	55,21
S6-45	45	169,2	204,59	137,36	117,74	181,76	113,64	152,74
		–	227,25	109,75	87,06	100,34	87,53	93,20
S6-22.5	22,5	–	75,94	21,80	24,22	48,43	26,36	52,72
		–	303,20	131,55	111,28	148,78	113,89	145,92
S6-45	45	–	227,21	109,75	87,06	100,34	91,39	97,86
		–	135,22	19,52	21,69	43,38	24,69	49,38
		168,6	313,81	129,27	108,75	143,72	116,09	147,25

Таблица 8

Результаты аналитических вычислений для образцов из работы R. Thamrin [7]

Образец	Угол наклона силовой плоскости, град	Результаты испытаний Q_b , кН Q_{sw} , кН Q_{ult} , кН	Расчет методом Е. В. Клименко	Расчет методом Р. Mark	Расчет методом Р. Mark	Расчет методом Р. Mark
			Q_b , кН Q_{sw} , кН Q_{ult} , кН	по нормам EN Q_b , кН Q_{sw} , кН Q_{ult} , кН	по нормам АСІ Q_b , кН Q_{sw} , кН Q_{ult} , кН	по нормам СП63 Q_b , кН Q_{sw} , кН Q_{ult} , кН
G2-01-22,5	22,5	46,3	72,74	51,66	31,84	35,88
		–	–	–	–	–
G2-02-22,5	22,5	46,3	72,74	51,66	31,84	35,88
		–	–	–	–	–
G2-03-22,5	22,5	43,4	89,13	59,07	36,41	35,68
		–	–	–	–	–
G2-01-45	45	43,4	89,13	59,07	36,41	35,68
		–	–	–	–	–
G2-02-45	45	53,4	105,78	59,16	36,46	35,49
		–	–	–	–	–
G2-03-45	45	53,4	105,78	59,16	36,46	35,49
		–	–	–	–	–
G2-01-22,5	22,5	50,7	72,76	51,66	31,84	35,88
		–	–	–	–	–
G2-02-22,5	22,5	50,7	72,76	51,66	31,84	35,88
		–	–	–	–	–
G2-03-22,5	22,5	50,4	89,11	59,07	36,41	35,68
		–	–	–	–	–
G2-01-45	45	50,4	89,11	59,07	36,41	35,68
		–	–	–	–	–
G2-02-45	45	50,4	105,75	59,16	36,46	35,49
		–	–	–	–	–
G2-03-45	45	50,4	105,75	59,16	36,46	35,49
		–	–	–	–	–

Таблица 9

Результаты аналитических вычислений для образцов из работы С. Hansapinyo [8]

Образец	Угол наклона силовой плоскости, град	Результаты испытаний Q_b , кН Q_{sw} , кН Q_{ult} , кН	Расчет методом Е. В. Клименко		Расчет методом Р. Mark по нормам EN		Расчет методом Р. Mark по нормам АСІ		Расчет методом Р. Mark по нормам СП63	
			Q_b , кН Q_{sw} , кН Q_{ult} , кН							
B0_1	0	118,4	139,98	112,60	77,80	90,64				
		97,5	108,51	48,83	54,26	108,51				
		215,9	248,5	161,43	132,06	199,15				
B45_1	45	137,3	241,72	112,60	77,80	90,64				
		96,1	153,46	34,53	38,37	76,73				
		233,5	395,18	147,13	116,17	167,37				
B45W_1	45	147,2	241,72	112,60	77,80	90,64				
		–	–	–	–	–				
		147,2	241,72	112,60	77,80	90,64				
B0_2	0	80,2	116,62	62,79	44,08	50,79				
		84,5	122,83	58,22	64,69	129,38				
		164,7	239,45	121,01	108,77	180,18				
B20_2	20	108,2	135,63	62,79	44,08	50,79				
		48,4	130,81	32,85	36,50	72,99				
		156,5	266,43	95,64	80,58	123,79				
B20W_2	20	108,0	135,63	62,79	44,08	50,79				
		–	–	–	–	–				
		108,0	135,63	62,79	44,08	50,79				
B45_2	45	90,7	141,92	62,79	44,08	50,79				
		27,4	90,76	29,11	32,35	64,69				
		113,4	232,68	91,90	76,43	115,48				
B45W_2	45	81,3	141,92	62,79	44,08	50,79				
		–	–	–	–	–				
		81,3	141,92	62,79	44,08	50,79				
B90_2	0/90	55,8	129,96	57,39	36,17	35,74				
		21,8	45,91	20,66	22,95	45,91				
		77,6	175,87	78,05	59,12	81,65				
B0_3	0	127,5	207,32	108,02	83,10	94,18				
		122,6	171,12	77,00	85,56	171,12				
		250,2	378,44	185,02	168,66	265,30				
B25_3	25	142,2	251,02	108,02	83,10	94,18				
		73,5	183,31	41,67	46,30	92,61				
		215,7	434,33	149,69	129,41	186,79				
B45_3	45	137,3	257,94	108,02	83,10	94,18				
		62,4	139,29	38,50	42,78	85,56				
		199,7	397,23	146,52	125,88	179,74				
B90_3	0/90	110,2	209,84	111,69	72,97	73,95				
		46,6	66,78	30,05	33,39	66,78				
		156,8	276,61	141,74	106,36	140,73				

Краткие комментарии к рисункам 2 и 3:

- вычисления по методике Е. В. Клименко продемонстрировали как заниженные, так и завышенные результаты по сравнению с результатами испытаний;
- остальные методики показали более осторожные (заниженные) результаты по сравнению с результатами испытаний;
- наиболее низкая оценка несущей способности получена по методике Р. Mark по нормам АСІ.

Краткие комментарии к рисунку 4:

- методика Е. В. Клименко показала значительно завышенные результаты по сравнению с результатами испытаний;
- наиболее близкие к результатам испытаний, но несколько завышенные результаты получены по методике Р. Mark по нормам EN;
- близкие к результатам испытаний, но более осторожные (заниженные) результаты пока-

зали методики эллиптической диаграммы взаимодействия и Р. Mark по нормам СП 63.13330.2018;

– наиболее низкая оценка несущей способности получена по методике Р. Mark по нормам АСІ.

Клименко. Е.В. Б-V-1, Б-V-4

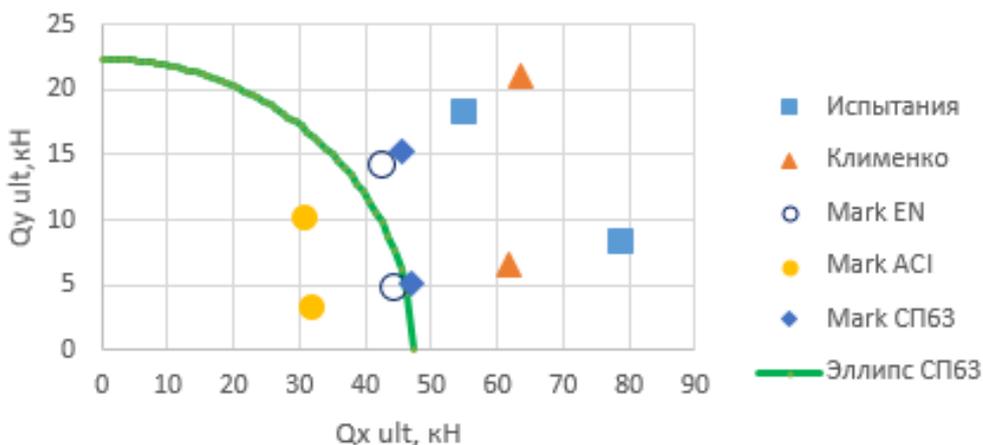


Рис. 2. Результаты обработки вычислений и испытаний для образцов из работы Е. В. Клименко. Образцы Б-V-1, Б-V-4

Клименко Е.В. Б-V-5...Б-V-8

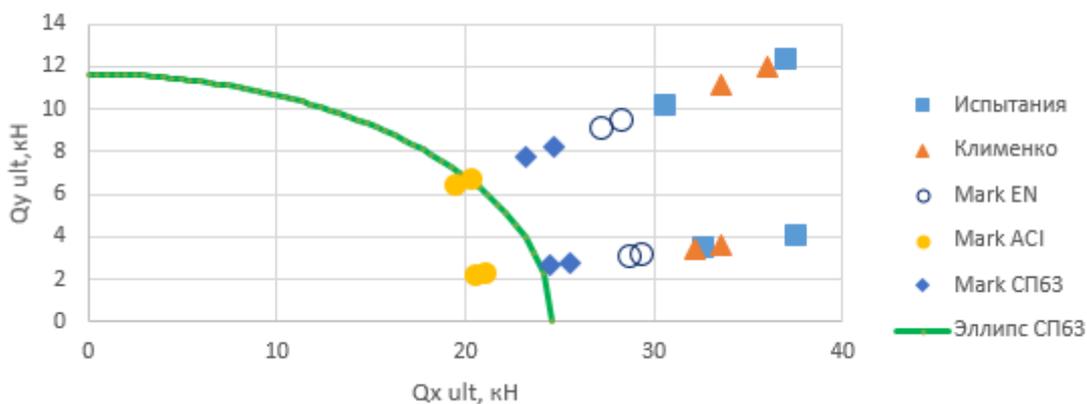


Рис. 3. Результаты обработки вычислений и испытаний для образцов из работы Е. В. Клименко. Образцы Б-V-5, Б-V-8

R. Thamrin. G2-01-22,5...G2-03-45

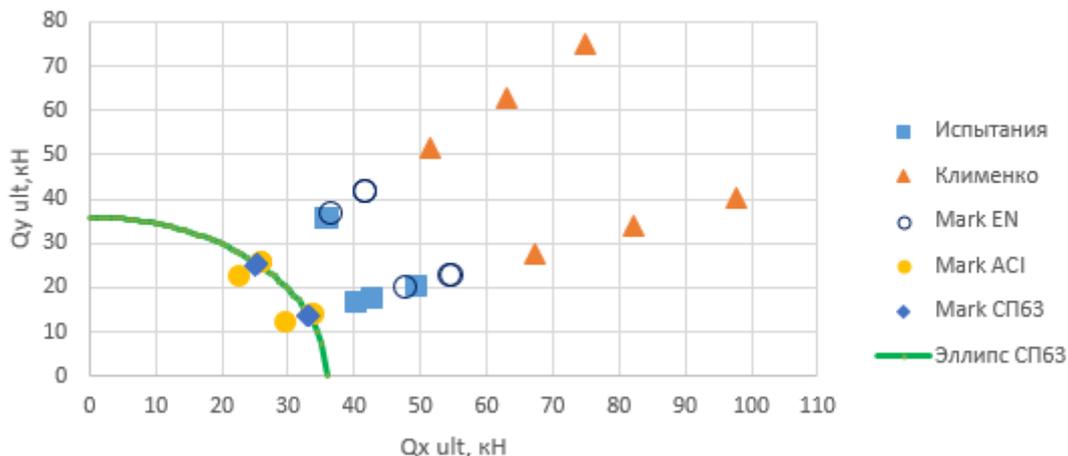


Рис. 4. Результаты обработки вычислений и испытаний для образцов из работы R. Thamrin. Образцы G2-01-22,5...G2-03-45

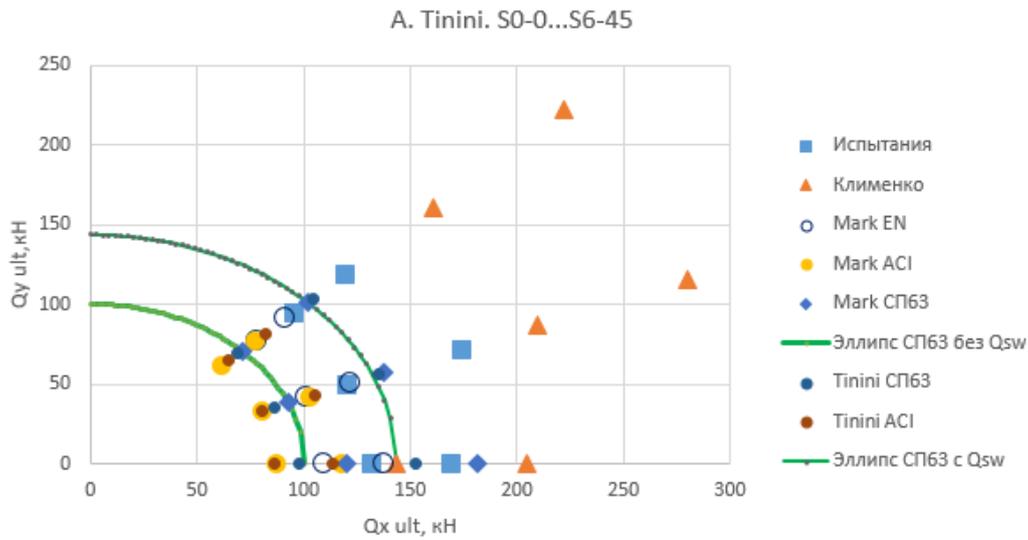


Рис. 5. Результаты обработки вычислений и испытаний для образцов из работы А. Tinini. Образцы S0-0...S6-45

Краткие комментарии к рисунку 5:

- методика Е. В. Клименко показала значительно завышенные результаты по сравнению с результатами испытаний;
- наиболее близкие к испытаниям результаты получены по методикам Р. Mark по нормам СП 63.13330.2018, А. Tinini по нормам СП

63.13330.2018, методика эллиптической диаграммы взаимодействия в приложении к СП 63.13330.2018;

- наиболее низкая оценка несущей способности получена по методикам Р. Mark по нормам ACI и А. Tinini по нормам ACI.

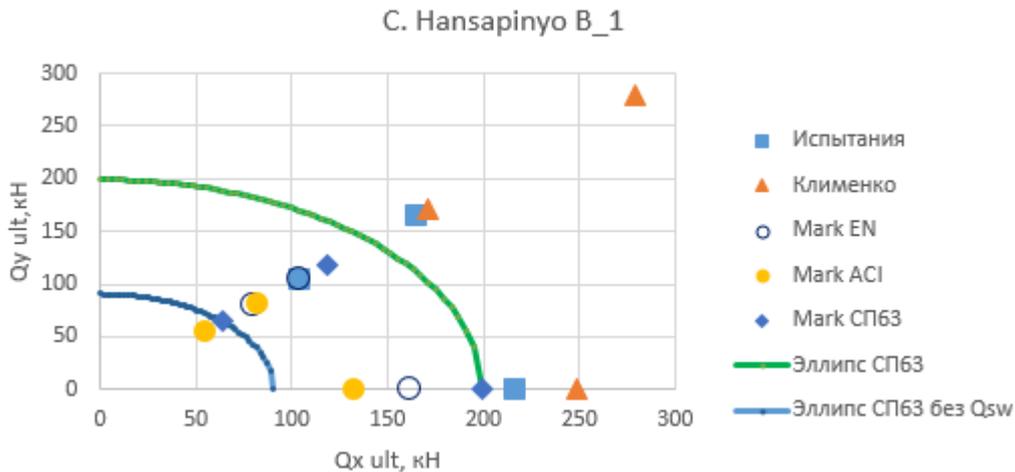


Рис. 6. Результаты обработки вычислений и испытаний для образцов из работы С. Hansapinyo. Образцы серии В_1

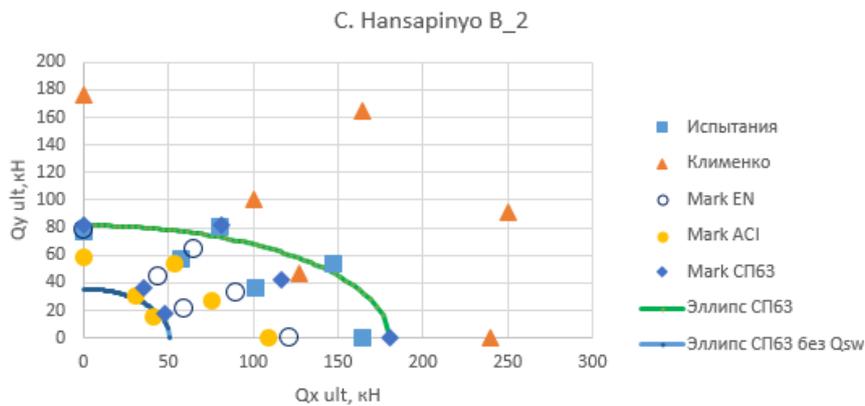


Рис. 7. Результаты обработки вычислений и испытаний для образцов из работы С. Hansapinyo. Образцы серии В_2

Краткие комментарии к рисункам 6, 7, 8:

– методика Е. В. Клименко показала значительно завышенные результаты по сравнению с результатами испытаний;

– наиболее близкие к испытаниям результаты получены по методикам эллиптической диаграммы взаимодействия и Р. Mark по нормам СП 63.13330.2018;

– наиболее низкая оценка несущей способности получена по методике Р. Mark по нормам АСІ.

Заключение. По итогам описанной в статье работы можно сформулировать следующие выводы.

Обработаны результаты 33 испытаний изгибаемых элементов на двухосевое действие поперечной силы. Рассмотрены элементы как с поперечной арматурой, так и без нее.

Выполнены поверочные расчеты несущей способности элементов по 7 аналитическим методикам – методике Е.В. Клименко, методике Р. Mark в приложении к нормам EN, методике Р. Mark в приложении к нормам АСІ, методике Р. Mark в приложении к СП 63.13330.2018, методике А. Tinini в приложении к нормам АСІ, методике А. Tinini в приложении к СП 63.13330.2018, методике эллиптической диаграммы взаимодействия в приложении к СП63.13330.2018. Результаты вычислений приведены в графическом и табличном виде.

Методика А. Tinini ввиду необходимости большого объема вычислений из-за необходимости определения параметров сжатой зоны бетона и поиска центра тяжести стержней растянутой арматуры с привлечением нелинейной деформационной модели была использована для обработки только шести испытаний из 33.

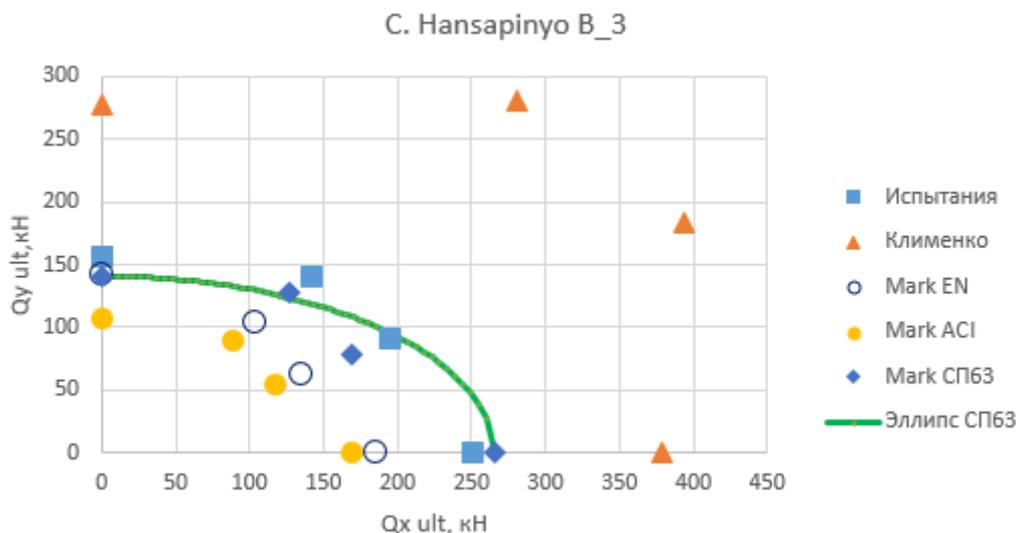


Рис. 8. Результаты обработки вычислений и испытаний для образцов из работы С. Hansapinyo. Образцы серии В_3

Наиболее низкая оценка несущей способности элементов получена по методике Р. Mark в приложении к нормам АСІ. Величины несущих способностей во всех случаях получены ниже опытных величин.

Расчеты по методике Е. В. Клименко дали близкий к опытному результат только для 8 испытаний из рассмотренных 33. В остальных случаях расчет по методике Е. В. Клименко показал завышенный по сравнению с опытными данными прогноз несущей способности. Завышение несущей способности доходит до 2 раз. Завышенный прогноз несущей способности наблюдался для элементов квадратного поперечного сечения и для элементов со значительным содержанием продольной арматуры.

Близкие к результатам испытаний, но в то же время осторожные (заниженные) результаты получены по методике эллиптической диаграммы

взаимодействия в приложении к СП 63.13330.2018 и методике Р. Mark в приложении к СП 63.13330.2018. Данные методики могут быть рекомендованы для применения с целью оценки несущей способности элементов на двухосевое действие поперечной силы в инженерной практике проектирования.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- СП 63.13330.2018. Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения (с Изменениями № 1, 2). М.: ФАУ ФЦСС. 2021. 154 с.
- EN 1992-1-1: Eurocode 2: Design of concrete structures – Part 1-1: General rules and rules for buildings [Authority: The European Union Per Regulation 305/2011, Directive 98/34/EC, Directive 2004/18/EC]. 2004. 225 с.

3. JSCE: Standard Specification for Design and Construction of Concrete Structures – 2007 / Japan Society of Civil Engineers. 2010. 469 с.

4. ACI 318M-19. Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary / American Concrete Institute, 2019. DOI: 10.14359/51716937

5. Клименко Е.В. Прочность наклонного сечения косоизгибаемых железобетонных тавровых элементов : дисс. ... канд. техн. наук. Полтава, 1984. 227 с.

6. Tinini A. Biaxial shear in RC square beams: Experimental, numerical and analytical program // Engineering Structures. 2016. Vol. 126. Pp. 469–480. DOI: 10.1016/j.engstruct.2016.07.056.

7. Thamrin R., Haris S., Dedi E., Dalmantias E. Shear Capacity of Reinforced Concrete Beams with Square Cross Section Subjected to Biaxial Bending // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020. Vol. 713. 012029. DOI: 10.1088/1757-899X/713/1/012029.

8. Hansapinyo C., Maekawa K., Chaisomphob T. Behavior of reinforced concrete beams subjected to biaxial shear // Doboku Gakkai Ronbunshu. 2003. Vol. 725. Pp. 321–331. DOI: 10.2208/jscej.2003.725_321.

9. Пособие по проектированию бетонных и железобетонных конструкций из тяжелых легких бетонов без предварительного напряжения арматуры (к СНиП 2.03.01-84). М. : Центр. ин-т типового проектирования, 1989. 192 с.

10. Руководство по проектированию бетонных и железобетонных конструкций из тяжелого бетона (без предварительного напряжения). М.: Стройиздат, 1978. 320 с.

11. Mark P. Shear-resistant design of biaxially loaded RC beams // Magazine of Concrete Research. 2007. Vol. 59(1), Pp. 21–28. DOI:10.1680/macr.2007.59.1.21

12. Mark P. (2005). Truss Models for the Design of Reinforced Concrete Beams Subject to Biaxial Shear // Structures Congress 2005. DOI:10.1061/40753(171)168

13. Mark P. Design of reinforced concrete beams with rectangular cross sections against biaxial shear forces // Beton-Stahlbetonbau. 2005. 100(5), Pp. 370–375. DOI:10.1002/best.200590092

14. Шипулин С.А., Беляева З.В., Миронова Л. И. Расчет железобетонных элементов по прочности наклонных сечений при двухосевом действии поперечных сил // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2023. № 8. С. 16–30. DOI: 10.34031/2071-7318-2023-8-8-16-30

15. СНиП II-21-75. Бетонные и железобетонные конструкции. Нормы проектирования. М.: Стройиздат, 1976. 89 с.

16. Umehara H., Jirsa J.O. Short Rectangular RC Columns Under Bidirectional Loadings // Journal of Structural Engineering. 1984. Vol. 110(3). Pp. 605–618. DOI:10.1061/(ASCE)0733-9445(1984)110:3(605)

Информация об авторах

Шипулин Станислав Андреевич, аспирант кафедры строительных конструкций и механики грунтов. E-mail: sa_shipulin@mail.ru. Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина. Россия, 620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, д. 19.

Беляева Зоя Владимировна, кандидат технических наук, заведующий кафедрой строительных конструкций и механики грунтов. E-mail: z.v.believa@urfu.ru. Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина. Россия, 620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, д. 19.

Миронова Людмила Ивановна, кандидат технических наук, доктор педагогических наук, профессор кафедры гидравлики. E-mail: mirmila@mail.ru. Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина. Россия, 620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, д. 19.

Поступила 05.05.2024 г.

© Шипулин С.А., Беляева З.В., Миронова Л.И., 2024

***Shipulin S.A., Beliaeva Z.V., Mironova L.I.**

Ural Federal University

*E-mail: sa_shipulin@mail.ru

EVALUATION OF CALCULATION METHODS OF REINFORCED CONCRETE ELEMENTS SUBJECTED TO BIAXIAL ACTION OF SHEAR FORCES

Abstract. The current design standards for reinforced concrete structures in the Russian Federation do not contain methods for calculating bending elements subjected to biaxial action of shear forces. However, methods for calculating such structures exist and are given in the works of domestic and foreign researchers, as well as in the design standards of past years. This article selects data on the results of 33 tests of beams

subjected to action of biaxial shear forces. The results of selected tests were compared with the results of theoretical calculations of the bearing capacity of elements under the biaxial action of shear forces using various analytical methods. A brief overview of existing analytical techniques is provided. A comparison of test results and theoretical calculations is presented in tabular and graphical form. The purpose of the work is to identify existing methods for calculating reinforced concrete bended elements under biaxial action of transverse forces, allowing to obtain load-bearing capacity calculation results that are as close as possible to the test results. It is shown that a technique using an elliptical diagram of the interaction of force factors, as well as the P. Mark technique, using a system of interpolating coefficients, applied to design dependencies from domestic design standards, can be recommended for assessing load-bearing capacity in engineering design practice.

Keywords: inclined section, biaxial bending, shear force, reinforced concrete structures, reinforced concrete structures design in bending.

REFERENCES

1. SP 63.13330.2018. Concrete and reinforced concrete structures. Basic provisions (with Amendments No. 1, 2). Moscow, FAA FCSS. 2021. 154 p. (rus)
2. EN 1992-1-1: Eurocode 2: Design of concrete structures - Part 1-1: General rules and rules for buildings [Authority: The European Union Per Regulation 305/2011, Directive 98/34/EC, Directive 2004/18/EC]. 2004. 225 p.
3. JSCE: Standard Specification for Design and Construction of Concrete Structures – 2007 [Japan Society of Civil Engineers]. 2010. 469 p.
4. ACI 318M-19 Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary [American Concrete Institute]. 2019. DOI: 10.14359/51716937
5. Klimenko E.V. Strength of the inclined section of oblique reinforced concrete tee elements [Prochnost' naklonnogo secheniya kosoizgibayemykh zhelezobetonnykh tavrovykh elementov]: dissertation for the degree of candidate of technical sciences. Poltava, 1984. 227 p. (rus)
6. Tinini A. Biaxial shear in RC square beams: Experimental, numerical and analytical program. Engineering Structures. 2016. Vol. 126. Pp. 469–480. DOI: 10.1016/j.engstruct.2016.07.056.
7. Thamrin R., Haris S., Dedi E., Dalmantias E. Shear Capacity of Reinforced Concrete Beams with Square Cross Section Subjected to Biaxial Bending. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020. Vol. 713. 012029. DOI: 10.1088/1757-899X/713/1/012029.
8. Hansapinyo C., Maekawa K., Chaisomphob T. Behavior of reinforced concrete beams subjected to biaxial shear. Doboku Gakkai Ronbunshu. 2003. Vol. 725. Pp. 321–331. DOI: 10.2208/jscej.2003.725_321.
9. Manual for the design of concrete and reinforced concrete structures made of heavy lightweight concrete without prestressing reinforcement (to SNiP 2.03.01-84). Moscow: Central Institute for Standard Design, 1989. 192 p. (rus)
10. Guidelines for the design of concrete and reinforced concrete structures made of heavy concrete (without prestressing). M. : Stroyizdat, 1978. 320 p. (rus)
11. Mark P. Shear-resistant design of biaxially loaded RC beams. Magazine of Concrete Research. 2007. Vol. 59(1). Pp. 21–28. DOI:10.1680/mac.2007.59.1.21
12. Mark P. Truss Models for the Design of Reinforced Concrete Beams Subject to Biaxial Shear. Structures Congress 2005. DOI:10.1061/40753(171)168
13. Mark P. Design of reinforced concrete beams with rectangular cross sections against biaxial shear forces. Beton-Stahlbetonbau. 2005. 100(5). 370–375. DOI:10.1002/best.200590092
14. Shipulin S.A., Beliaeva Z.V., Mironova L.I. Design of reinforced concrete elements inclined sections subjected to biaxial action of shear forces. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2023. No. 8. Pp. 99–105. DOI:10.34031/2071-7318-2023-8-8-16-30.
15. SNiP II-21-75 Concrete and reinforced concrete structures. Design standards. Moscow: Stroyizdat, 1976. (rus)
16. Umehara H., Jirsa J.O. Short Rectangular RC Columns Under Bidirectional Loadings. Journal of Structural Engineering. 1984. Vol. 110. No. 3. Pp. 605–618. DOI: 10.1061/(ASCE)0733-9445(1984)110:3(605)

Information about the authors

Shipulin, Stanislav A. Postgraduate student. E-mail: sa_shipulin@mail.ru. Ural Federal University, Russia, 620002, Ekaterinburg, Mira str., 19.

Beliaeva, Zoia V. PhD. E-mail: z.v.beliaeva@urfu.ru. Ural Federal University, Russia, 620002, Ekaterinburg, Mira str., 19.

Mironova, Ludmila I. PhD. E-mail: mirmila@mail.ru. Ural Federal University, Russia, 620002, Ekaterinburg, Mira str., 19.

Received 05.05.2024

Для цитирования:

Шипулин С.А., Беляева З.В., Миронова Л.И. Оценка методик расчета железобетонных элементов по прочности при двухосевом действии поперечных сил // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2024. №8. С. 39–53. DOI: 10.34031/2071-7318-2024-9-8-39-53

For citation:

Shipulin S.A., Beliaeva Z.V., Mironova L.I. Evaluation of calculation methods of reinforced concrete elements subjected to biaxial action of shear forces. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2024. No. 8. Pp. 39–53. DOI: 10.34031/2071-7318-2024-9-8-39-53

DOI: 10.34031/2071-7318-2024-9-8-54-65

Чесноков В.Г., *Чесноков Г.А.

Воронежский государственный технический университет

*E-mail: chesnokov@mail.ru

УПРАВЛЕНИЕ АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНЫМИ ПРОЦЕССАМИ В ВОРОНЕЖСКОЙ ГУБЕРНИИ В КОНЦЕ XVIII – 60-х гг. XIX в.

Аннотация. Изучено, как общероссийское законодательство и местная администрация влияли на формирование и работу архитектурно-строительной службы в Воронежской губернии в указанный временной период. Исследование основано на архивных данных, которые позволили проследить изменения в кадровом составе службы и её структуре, а также работу местных губернских и городских архитекторов по выполнению указаний, поступающих из столицы. На примере губернии показан процесс постепенной передачи полномочий по управлению строительством от центральных органов власти к местным. Это привело к созданию разветвлённой структуры архитектурно-строительной службы, интегрированной в систему местного самоуправления. Было выявлено, что в некоторых случаях воронежский опыт опережал общероссийский. В частности, было исследовано создание первого регулярного плана Воронежа 1774 года, который стал примером сотрудничества губернских властей с «Комиссией о каменном строении Санкт-Петербурга и Москвы». Также было установлено, что должность губернского архитектора в Воронеже существовала с 1773 года, что является уникальным случаем для провинции. Кроме того, Воронеж стал одним из первых губернских городов, где появилась должность городского архитектора. В 1805 году её занял Т. С. Кондратьев. В исследовании использованы ранее неопубликованные материалы из Российского государственного исторического архива и Государственного архива Воронежской области.

Ключевые слова: генеральный план Воронежа, регулярная планировка, квартальная застройка, губернский архитектор, архитектор Н.Н. Иевский, архитектор Т.С. Кондратьев.

Введение. Архитектурно-строительная деятельность играет важнейшую роль в жизни и развитии любого государства. В России её становление на законодательном уровне начинается со второй половины XVIII в., а наиболее активное развитие и совершенствование структур отвечающих за реализацию государственной политики в области строительства и архитектуры приходится на первую половину XIX в. Масштабные мероприятия по реконструкции на регулярной основе прежней хаотичной застройки городов способствовали созданию структур отвечающих за реализацию этих начинаний и регламентирующих документов, определяющих характер взаимодействия между ними. Градостроительным реформам в контексте исследуемой темы посвящены труды А.М. Власюк [1], Т.И. Кириченко, М.В. Нащокиной [2], И.Г. Пирожковой [3], А.Г. Вайтенса, Ю.Л. Косенковой [4], М.В. Золотарёвой [5]. Тема реализации государственной градостроительной политики на региональном уровне нашла отражение в исследованиях А.В. Коновалова [6] и Т.М. Манониной [7]. Также заслуживают внимания публикации Н.Л. Семёновой [8], Л.Б. Щавинской [9], О.Ю. Хомутовой [10], посвященные истории развития строительной отрасли в конкретных губерниях в увязке с профессиональной деятельностью местных архитекторов и инженеров. Имена многих архитекторов Воронежской губернии, внесших существенный вклад в планировку и застройку её городов, с их

послужными списками нашли отражение в исследованиях А.Н.Акиншина [11, 12, 13]. Указанные авторы в разной степени затрагивали заявленную тему. Тем не менее, до сих пор исследование региональных особенностей функционирования архитектурно-строительных служб Воронежской губернии в указанных хронологических рамках не было проведено.

Целью публикации является исследование процессов формирования и функционирования архитектурно-строительных служб Воронежской губернии в контексте общей эволюции законодательства, регулирующего архитектурно-строительную сферу в Российской империи, в период с последней четверти XVIII века до 60-х гг. XIX века.

Задачи исследования:

– изучить, как изменения в законодательстве Российской империи влияли на архитектурно-строительную деятельность и городское планирование в указанный исторический период;

– проследить, когда появились и как развивались органы, которые контролировали архитектурно-строительную деятельность в стране, а также оценить их вклад в процесс реального строительства на примере указанной губернии;

– выяснить, как осуществлялось взаимодействие центральных и губернских органов власти, в сфере надзора за соблюдением архитектурно-строительного законодательства и воплощением этих требований в жизнь;

– установить основные направления в деятельности архитектурно-строительных служб Воронежской губернии и изменения в их штатном составе на каждом этапе их структурных преобразований.

Объект исследования – система управления архитектурно-строительными работами в Воронежской губернии с конца XVIII века до 60-х гг. XIX века в контексте совершенствования деятельности архитектурно-строительных служб на общегосударственном уровне.

Материалы и методы. Основой исследования послужили документы из фондов Российского государственного архива (РГИА), Государственного архива Воронежской области (ГАВО), а также содержащиеся в Полном собрании законов Российской империи (далее ПСЗРИ) указы и постановления, позволившие увязать региональную специфику с процессом становления общероссийского законодательства. Подробное их изучение в комплексе со сравнительным анализом результатов предшествующих исследований дало возможность представить структуру, функции и деятельность губернской архитектурно-строительной службы на ранних этапах её становления.

Основная часть. Вторая половина XVIII в. стала тем временем, когда происходило активное расширение поля архитектурно-строительной деятельности в стране спровоцированное императорским указом от 25 июля 1763 г. «О сделании всем городам, их строению и улицам специальных планов, по каждой губернии особо» [14, т. 16, №11883]. Поводом к его изданию стал пожар в Твери, поскольку оказалось, что город необходимого для своего восстановления фиксационного плана не имеет. Именно с этого указа началась масштабная кампания по составлению фиксационных и разработке новых генеральных планов российских городов на регулярной основе.

Ведомствами, отвечающими за эти работы, были названы межевая канцелярия и канцелярия главной артиллерии и фортификации. В условиях острой нехватки гражданских специалистов высокий профессионализм офицеров инженерного корпуса обладавших умением производить инструментальную съёмку местности и составлять масштабные чертежи позволял использовать их и в решении градостроительных задач. Принцип взаимодействия военного и гражданского ведомств был таков: числясь в инженерном корпусе, военные инженеры получали жалование в комиссиях, производящих работы гражданского характера.

Именно создание множества комиссий для решения конкретных проблем является одной из

отличительных черт царствования Екатерины II. В связи с исследуемой нами темой наибольшую известность получила созданная указом от 11 декабря 1762 г. «Комиссия для устройства городов С. Петербурга и Москвы» [14, т. 16, №11723]. Она была призвана заниматься проблемами упорядочения застройки и внедрением каменного строительства в этих крупнейших городах страны, часто страдавших от пожаров, что нашло отражение в её последующем переименовании в «Комиссию о каменном строении Санкт-Петербурга и Москвы».

Архитектурную команду «Комиссии...» в 1772 г. возглавил архитектор Иван Егорович Старов. Короткий период участия в работе комиссии оказался для него достаточно насыщенным. В начале 1774 г., незадолго до отставки, Старов принял участие в «регулировании» планов двух значительных на тот период городов – Воронежа и Пскова. Именно этот год можно считать началом массового «выхода» преобразований, начатых в сфере архитектуры и градостроительства во второй половине XVIII века, за пределы двух столиц. Так, если за период с 1763 по 1774 гг. «Комиссия...» разработала планы всего 40 городов [15, с. 40], абсолютное большинство из которых пережили опустошительные пожары, то к 1 января 1797 г., когда она прекратила свою деятельность, число разработанных ею и законодательно утвержденных генеральных планов провинциальных городов достигло 305.

Активизации процесса их создания во многом способствовал манифест от 7 ноября 1775 г. озаглавленный «Учреждения для управления губерний Всероссийской империи». В этом документе давался примерный штат губернии, органами управления в которой становились губернское правление и казенная палата. Манифест инициировал создание при казенных палатах строительных экспедиций, которым в соответствии с указом от 24 марта 1781 г. кроме содержания дорог и мостов теперь поручались и дела «по всем казенным и публичным в городах строениям» [14, т. 21, №14392] (лишь в 1796 г. им было передано и частное строительство). В манифесте нашли отражение и изменения в структуре управления полиции, традиционно отвечавшей за вопросы благоустройства и наблюдения за обывательскими строениями.

После выхода этого документа постепенно стала меняться схема взаимодействия проектных и согласовывающих органов. Организационная часть работ на местах становится обязанностью губернаторов, которые в тоже время должны были заниматься налаживанием работы по согласованию планов городов в Сенате и «Комис-

сии...», а также с представителями горожан. Такой подход позволял улучшить конечный результат, приблизить его к реалиям конкретного города.

Традиционно считается, что должности губернских архитекторов на законодательном уровне были введены в штат губерний манифестом 1775 г. Тщательное изучение этого документа показало, что в его тексте ничего не сказано об этом. В обязательном порядке повсеместно вводились лишь должности губернских и уездных землемеров, которых могли, в случае если они знают «архитектуру», привлекать для выполнения проектных работ.

Из-за нехватки архитектурных кадров в стране должность губернского архитектора вводилась в местные правления не повсеместно, а с утверждением штатов для отдельных губерний и наместничеств по мере возникающей необходимости. Этот процесс действительно активизировался после выхода манифеста.

В литературных источниках указывается, что первым в России губернским архитектором, фамилия которого известна, является потомственный немецкий архитектор Фёдор Фёдорович Штенгель (1746–1830). Он был назначен на эту должность в январе 1776 года в Тверь, переживавшую после пожара период активного строительства. Однако исследования, проведенные нами, показали, что фактически такая должность в Воронежской губернии существовала уже с 1773 г. Её занял московский архитектор Николай Никитич Иевский (1740–1797), которому поручили исполнять обязанности губернского архитектора в связи с отсутствием специалистов «в здешнем городе... по договору и временно» [16, д. 37, л. 261]. Именно этот год следует считать началом становления воронежской губернской архитектурно-строительной службы.

Н.Н. Иевский получил образование в архитектурной школе знаменитого московского зодчего Д.В. Ухтомского. В 1759–1771 гг. служил в Москве, работал в «Комиссии о каменном строении Санкт-Петербурга и Москвы», а затем в Гофинтендантской конторе, которая ведала всеми строительно-хозяйственными вопросами императорского двора. В 1771 г. в чине коллежского асессора он ушел в отставку с государственной службы и поселился в родовом имении в селе Грязи Липецкой округи. Однако по приглашению губернатора Н.Л. Шетнева уже в 1773 г. вновь вернулся на службу. Ему было поручено выполнение фиксационного плана застройки Воронежа после пожара 1773 г., работа над которым заняла три месяца [11, с. 99–100].

Чертеж, составленный Иевским, сыграл решающую роль в подготовке первого утвержденного регулярного плана Воронежа 1774 г., поскольку содержал предложения по его перепланировке на регулярной основе. Именно этот план был отправлен губернатором в Сенат и далее препровожден в «Комиссию...».

Опора на материалы, подготовленные Н.Н. Иевским, позволила И.Е. Старову выполнить окончательный проектный план, максимально учитывающий исторически сложившуюся планировку, сохранившуюся каменную застройку и конкретные условия рельефа. Есть основания предполагать, что именно воронежский опыт стал примером взаимодействия губернских администраций с «Комиссией...» по мере появления в провинции специалистов, знающих архитектуру.

Так сложилось, что именно Н.Н. Иевский, стоявший у истоков создания первого регулярного генерального плана, выполнил на начальном этапе его реализации и всю самую сложную практическую работу по претворению его в жизнь. При этом, как мы выяснили, он не числился на государственной службе до 1779 г. когда в штат Воронежской губернии царским указом наконец-то была официально введена должность губернского архитектора [14, т. 20, №14923].

В служебные обязанности Н. Н. Иевского входил не только надзор за строительством, но и прокладка новых улиц, отвод земельных участков под застройку в губернском городе, выдача разрешений на строительство и реконструкцию частных домов, проектирование общественных и казенных зданий с составлением смет, а также контроль за соблюдением установленных государством строительных норм. Кроме того, под присмотром Н.Н. Иевского на территории губернии строились дороги и мосты, а в уездных городах – присутственные места, соляные магазины, денежные кладовые и остроги.

В своей обширной переписке с окрестными наместниками воронежский генерал-губернатор Е.А. Щербинин в виду нехватки архитекторов и землемеров неоднократно просил направить таких специалистов в Воронеж. Наиболее остро проблема укомплектования штатов касалась, прежде всего, землемерной службы, имевшей по сравнению с архитектурной гораздо более разветвленную структуру, призванную охватить своей деятельностью всю территорию наместничества.

Землемеры на местах часто не только осуществляли геодезическую съемку территорий, но и выполняли топографические съемки городов и сел, на которые наносили существующие здания.

Они достаточно часто привлекались и к контролю за строительством казенных зданий, что объяснялось полным отсутствием архитекторов в этот период в уездных городах. По этой же причине землемерам пришлось разрабатывать и новые регулярные планы городов, вошедших в состав Воронежского наместничества. Их конфирмация после доработки архитекторами «Комиссии...» состоялась 20 апреля 1786 г. [17, д.1, л. 1–10].

Результаты этой последовательной и целенаправленной работы по подбору кадров частично отражены в «Протоколах заседаний и приговоров Воронежского наместнического правления». Так, в документе от 29 октября 1780 г. находим: «Инженер-прапорщика Егора Колова определить Павловским уездным землемером». Далее в его тексте говорится о необходимости назначить уездными землемерами подпоручика Никиту Сербина и ученика архитектора Петра Сахарова. Первого решено было направить в Богучар, а второго предполагалось определить туда, куда будет нужно, когда он придет в Воронеж [16, д. 18, л. 50 об.; д. 8, л. 104, 106 об.].

Упомянутый Сахаров – второй губернский архитектор Сахаров Петр Никифорович (1752–1796), архитектурский помощник, который до переезда в Воронеж состоял на службе в Москве в Государственной коллегии экономии, а затем в Каменном приказе. В феврале 1781 г. он был определен землемером Воронежской округи, но уже в апреле того же года сменил Н.Н. Иевского на посту губернского архитектора [12, с. 113].

После П.Н. Сахарова на должность губернского архитектора был назначен Иван Иванович Волков (сер. XVIII – после 1828 г.). Так сложилось, что этот пост он занимал два раза: с 1783 по 1793 г. и с 1804 по 1807 г. [13, с. 86–87]. После выхода в отставку он стал числиться «заштатным архитектором», т.е. он по-прежнему привлекался к выполнению проектных работ и наблюдению за строительством разного рода объектов.

Именно на период работы И.И. Волкова в должности губернского архитектора приходится полный запрет на хаотичную застройку городов. «Грамотой на права и выгоды городам Российской империи», опубликованной 21 апреля 1785 г., предписывалось строить города только по утвержденным императором планам [14, т. 22, №16187, с. 383].

Закономерной реакцией на этот документ стало создание в Воронеже 22 ноября 1785 г. специальной комиссии, которая должна была предотвратить убытки тех владельцев, чьи земли при новом «разрегулировании» отходили под казенные строения, улицы, площади или соседние дворы [13, д. 142, л. 3 об., 4]. В её состав, вошли:

комендант города, губернский землемер и губернский архитектор. Комиссии было предписано взыскивать средства с владельцев тех дворов, в состав которых войдут вновь прирезанные куски, а тем, от кого они отошли, платить из денег, собираемых в соответствии с положением о городах на «законные городские расходы».

В связи с этим особый интерес представляет указ Воронежского наместнического правления, полученный в городской думе 1 марта 1789 г., в котором был подробно описан порядок реконструкции и оформления новой городской застройки в соответствии с генеральным планом 1774 г. [18, д. 1, л. 59–61]. Изучение текста документа раскрывает порядок взаимоотношения властей и обывателей по поводу застройки городских улиц и роль губернского архитектора в этом процессе. В нём в частности говорится, что выделение участков жителям Воронежа под строительство осуществляется только на основании прошения, поданного в наместническое правление, и при наличии плана с фасадом на постройку, начерченного и завизированного лично губернным архитектором.

После И.И. Волкова очередным губернным архитектором был назначен инженер-поручик Василий Борисович Белокопытов. Он занимал эту должность дважды (с июня 1793 г. по февраль 1804 г., с мая 1807 г. по июнь 1808 г.). В течение последующих 10 лет, до ухода в отставку в январе 1818 г., он был ассессором строительной экспедиции губернского правления [12, с. 78].

Выполненные В.Б. Белокопытовым фиксационные планы 1797 г. и 1799 г. позволяют оценить темпы работ по реализации первого регулярного генерального плана Воронежа. Наиболее содержательным по информации является план 1799 г. [19], поскольку на нём впервые нанесена вся поквартальная городская застройка. Здесь же показаны не только казенные здания и храмы, но и все «обывательские строения» с указанием их конфигурации в плане и расположения в структуре квартала и конкретного участка, отведенного под застройку.

Эта картографическая работа отличается не только скрупулёзностью исполнения, но и высоким графическим мастерством. Она наглядно демонстрирует профессиональный рост губернской архитектурной службы и результаты её деятельности за четверть века существования. Кроме того, на чертеже видны и результаты корректировки плана 1774 г., осуществлённые губернными архитекторами. Так, например, Большая Дворянская улица (ныне пр. Революции) получила статус главной в отличие от проектного предложения И.Е. Старова, который не выделял её среди прочих.

Начинания Екатерины II в сфере административно-территориального устройства империи дали свои весьма наглядные плоды, отразившиеся, прежде всего в обустройстве российских городов. По отношению к Воронежу результат этой титанической и очень последовательной работы оказался впечатляющим по своему качеству и масштабу. Наиболее ярким свидетельством этого утверждения является тот факт, что направления улиц, проложенных по плану 1774 г., сохранились до наших дней в центральной части Воронежа, структура которой может рассматриваться как памятник градостроительства XVIII в.

Возведение зданий по чертежам вошло в строительную практику Воронежа и стало обязательным требованием. Это касалось не только уникальных построек, но и рядовых жилых домов, для которых составлялся план владения и фасад. При этом следует заметить, что возведение культовых зданий и сооружений вплоть до начала XIX в. находилось вне поля деятельности архитектурно-строительных служб и осуществлялось на основании «храмозданных грамот», выдаваемых епархиальными архиереями [14, т. 6, №4122, т. 7, №4988, т. 19, № 14144].

Контрреформаторский характер государственной деятельности Павла I оказался весьма коротким (конец 1796 г. – начало 1801 г.) и не смог кардинально изменить принципы организации работы архитектурно-строительных служб в стране. Для вступившего на престол в 1801 г. Александра I важнейшей проблемой явилось реформирование устаревшей системы государственного и местного управления. Манифестом от 8 сентября 1802 г. вместо существовавшей со времен Петра I системы коллегий им было учреждено 8 министерств. Одним из них стало министерство внутренних дел (МВД), за которым закреплялось «построение и содержание всех публичных зданий» и благоустройство в целом [14, т. 27, №20406].

По инициативе этого министерства указом императора от 18 апреля 1805 г. было принято решение о переводе "строительных экспедиций, при казенных палатах состоящих" в губернские правления [14, т. 28, №21717]. В связи с этим, штат экспедиций был расширен путем добавления должности асессора, ответственного за строительную часть. Однако поскольку введение этой должности разрешалось только по мере необходимости, то данная вакансия была заполнена в Воронеже только в июне 1808 года. На эту должность был назначен бывший губернский архитектор В.Б. Белокопытов [20, д. 61, л.7; 21, с.183]. То, что раньше относилось исключительно к обязанностям губернского архитектора,

теперь стало частью его повседневной работы. При этом сам губернский архитектор по-прежнему входил в общее присутствие губернского правления, призванное решать наиболее важные дела.

1805 г. в развитии архитектурно-строительной службы Воронежской губернии произошло ещё одно важное событие – для нужд городского самоуправления в Воронеже была учреждена должность городского архитектора. Нам удалось выяснить, что ранее в провинции такая должность была введена только в Феодосии специальным указом от 25 февраля 1804 г. [14, т. 28, № 21178, с. 155]. Исходя из этого, можно сделать вывод, что, как и в случае с появлением должности губернского архитектора, Воронеж стал одним из первых губернских городов, где появилась должность городского архитектора.

На неё был назначен Тимофей Сергеевич Кондратьев [22, д. 1455, л. 2, 3], который проработал на этом посту до 1819 г. Впервые в губернии государственными служащими стали числиться одновременно два архитектора со своими профессиональными обязанностями. При этом губернский находился в ведении МВД, а городской архитектор относился к министерству полиции. Это несоответствие было устранено Сенатским указом от 29 мая 1813 г., согласно которому все дела, связанные со строительством, были переданы в ведение МВД [14, т. 32, № 25392].

Созданная Кондратьевым «служба городского архитектора» состояла из него самого, его помощника (примерно с 1815 г.) и одного чертежника. Помощником стал Иван Андреевич Блицын. Известно, что в 1819 г. он занял должность городского архитектора, а затем в период 1831–1835 гг. исполнял обязанности губернского архитектора. Появление должности помощника в службе городского архитектора ещё раз подчёркивает уникальность для провинции воронежского опыта, поскольку штат помощников в губернских городах был законодательно закреплён лишь в 1832 г. [23, с.113]. То обстоятельство, что Кондратьев, будучи городским архитектором, дважды совмещал эту работу с обязанностями губернского архитектора (в периоды с 1808 – 1810 г. и с 1816 – 1817 г.), как выяснилось, было распространённой практикой в стране. Однако, эта ситуация была официально разрешена на законодательном уровне лишь 12 февраля 1821 г. [14, т. 37, № 28556, с. 621, 622]. Из-за недостатка квалифицированных специалистов совмещение архитекторами должностей имело место вплоть до середины XIX в.

В связи с ростом объёмов проектно-строительных работ в провинции 24 июня 1824 г.

утверждается положение «Об определении в казенные палаты 29 Великороссийских Губерний особых Архитекторов», поскольку «губернские архитекторы... почти всегда заняты» [14, т. 39, № 29961, с. 394–396]. Этим постановлением разрешалось иметь архитекторов в ведении тех казенных палат, «кои будут иметь в том надобность». В Воронежской губернии «надобность» возникла только в 1834 г. Эту должность занял архитектор Семен Иванович Соколов, который проработал на этом посту три десятилетия до ухода в отставку [24, л. 75 об.]. В его обязанности входило наблюдение за строительством государственных и общественных зданий в городах губернии, а также в деревнях, где жили государственные крестьяне.

Эти функции, но в более широком масштабе, с 1838 г. должен был выполнять гражданский инженер палаты государственных имуществ [25, т.12, № 10384]. Однако в воронежской палате эта должность перестала быть вакантной только в 1845 г. Её занял гражданский инженер, коллежский асессор Василий Иванович Егоров, проработавший в этом качестве до конца 1860-х гг. [11, с.86]. Он и два его помощника проектировали и осуществляли контроль за возведением казенных и общественных зданий, а также и церквей в крупных селах и слободах государственных крестьян. Кроме того, они снабжали их жителей образцовыми фасадами домов и хозяйственных построек и составляли планы самих селений.

В 1832 г. в состав губернских правлений вместо существовавших прежде строительных экспедиций вошли губернские строительные комиссии (ГСК) [25, т. 7, №5624, с. 627]. С целью дальнейшего улучшения контроля за всеми строительными работами на местах в 1849 г. было предложено ГСК заменить на губернские строительные и дорожные комиссии (ГСДК). Опыт работы последних показал полезность этих преобразований, что позволило весьма существенно дополнить окончательное Положение о ГСКД, представленное на Высочайшее утверждение в январе 1852 г. Взаимодействие государственных учреждений и губернских архитектурно-строительных служб в рассматриваемый нами период показано на рис. 1.

В соответствии с ним ГСКД в каждой губернии возглавлял начальник губернии (председатель). В неё входили как непременные члены общего присутствия: штаб-офицер корпуса инженеров путей сообщения в чине полковника или подполковника (начальник по производству работ в губернии), гражданский чиновник, губернский землемер, губернский архитектор, депутат от дворянства. При комиссии для производства

работ создавалась рабочая группа в составе: офицер Корпуса, архитектор и 2 «архитекторских» помощника. Входящий в комиссию начальник искусственного стола, одновременно заведовал и чертежною, в состав которой были включены архитекторский помощник, гражданский чиновник и 2 чертежника. Вместе с работниками канцелярии и счётного стола полный штат ГСДК определялся в 28 членов.

В первый состав воронежской ГСДК, если судить по списку, опубликованному в «Адрес-календаре» на 1851 г., вошли: подполковник М.П. Сентянин, губернский архитектор, титулярный советник В.Н. Шебалин, депутат от дворянства, титулярный советник И.Н. Хрущов, для производства работ прапорщик Л.С. Мысловский, архитектор для производства работ М.П. Жукевич-Стош, правящий канцелярией коллежский асессор А.Ф. Израильский, начальник искусственного стола, майор А.Х. Капгер, бухгалтер, губернский секретарь Ф.С. Мурзин [26, с. 268].

В документах дела «О преобразовании Воронежской ГСДК», хранящемся в ГАВО, как члены комиссии в этом же году, помимо уже названных, упоминаются: помощник архитектора М.Ф. Петерсон, архитекторский помощник, губернский секретарь М.В. Кармин; чертежник – губернский секретарь Х.З. Крутенков [27]. Судя по переписке, воронежский губернатор Н.А. Лангель проявил нежелание вводить в штат комиссии городского архитектора А.К. Македонского «из-за его малых знаний и неопытности». Недавний выпускник Строительного училища (1845 г.), он был переведен в Воронеж на эту должность в 1848 г. [27, л. 34].

Отсутствие городского архитектора в составе ГСДК на данном этапе было вполне допустимо, поскольку строгого требования об обязательном включении их в состав комиссий не было. Однако в списке членов ГСДК нет фамилии и губернского землемера, поскольку как оказалось, должность на этот год была вакантной. Лишь в 1856 г. её занял губернский секретарь Д.А. Лазов [28, с.39]. Однако после выхода указа Сената от 30 апреля 1857 г. он должен был принимать участие в работе ГСДК только по тем делам, которые относились к дорожной части и где требовался обмер земель, принадлежащих городам [25, т.32 № 31771].

Комиссии непосредственно подчинялись главноуправляющему путями сообщения и публичных зданий и являлись исполнительным органом. Именно ему до 1 июля каждого года губернатор должен был представлять отчет, содержащий «описание починок, сметы для перестроек, проекты, чертежи и сметы для нового здания».

Под патронажем ГСДК в случае необходимости с высочайшего одобрения создавались временные комиссии по строительству конкретных крупных зданий или комплексов в отдельных городах страны. В состав таких комиссий обязательно входил архитектор, который назначался ответственным «по искусственной части» и в силу этого отвечал за прочность строений и их соответствие утвержденным чертежам.

Впервые в Воронеже такая комиссия была образована в 1854 г. по «возведению здания Воронежской гимназии с благородным пансионом»

[25, т.29, № 28307]. Проект был составлен академиком А.А. Тоном (младшим братом знаменитого К.А. Тона), который в это время служил архитектором Харьковского учебного округа. В составе комиссии по строительству гимназии, завершившемся в 1859 г., работали архитекторы: С.И. Соколов (июнь 1854–1855 гг.), В.И. Егоров, Е.Х. Гиацинтов (1 марта 1856–1858 гг.) [29, с.10].

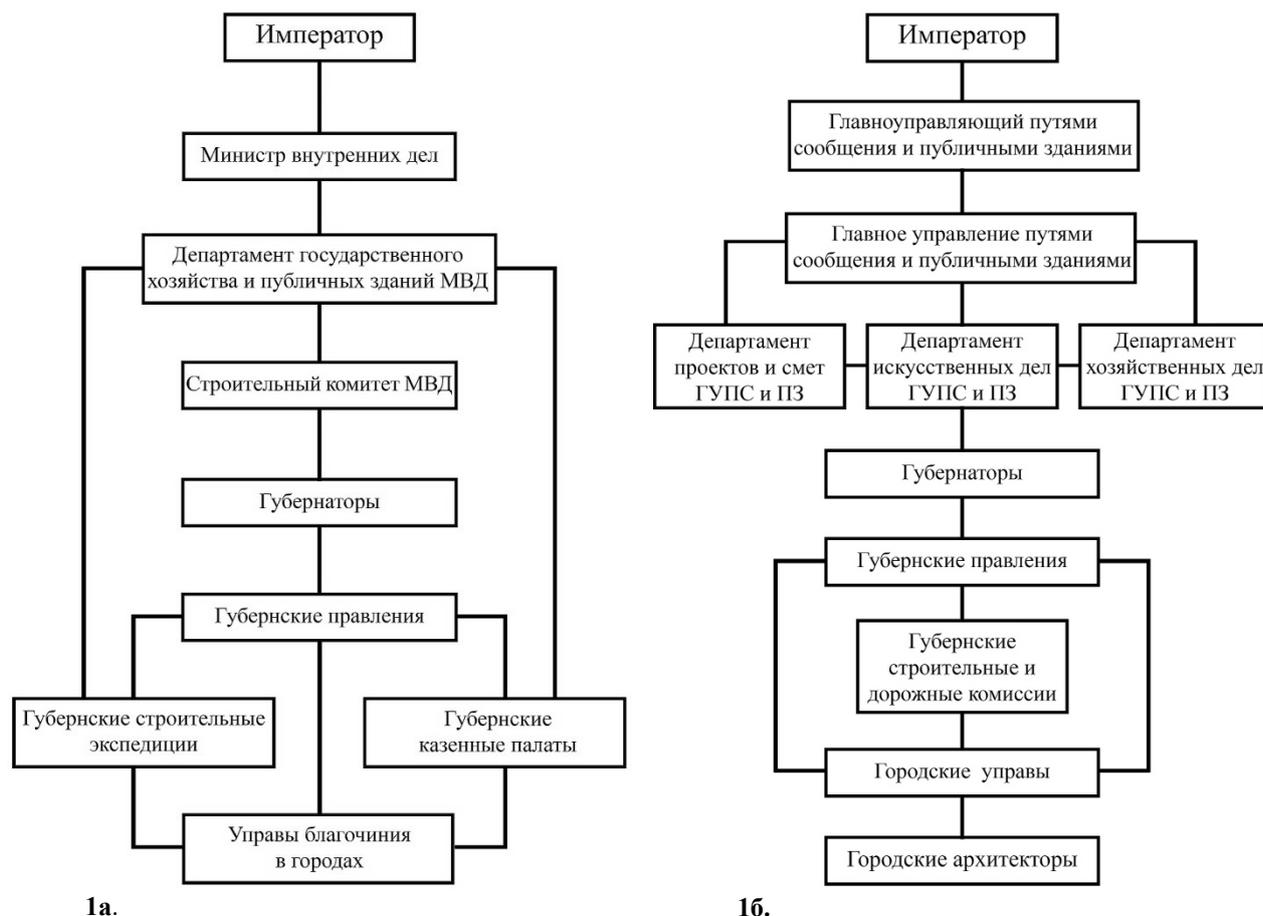


Рис. 1. Соподчинение и взаимодействие государственных учреждений и губернских архитектурно-строительных служб:

1а) Схема взаимодействия в период с 1811 по 1832 гг.;

1б) Схема взаимодействия в период с 1833 по 1865 гг.

Поиски баланса между властной вертикалью и системой губернских и городских учреждений привели к тому, что региональные власти в результате получили некоторую свободу в решении вопросов строительства. Так, например, в 1851 г. ГСДК было «дозволено» минуя губернатора самостоятельно утверждать планы и фасады частных построек в уездных и губернских городах. Однако комиссии, тем не менее, по-прежнему должны были наблюдать, «чтобы фасады эти были согласны с образцовыми» [30, д.90, л.2;

25, т.26, №25803]. Лишь в 1858 г. на законодательном уровне обязательное применение образцовых фасадов, ставших анахронизмом, было отменено [31, с. 111].

В 1859 г. был установлен новый порядок получения разрешения на строительство и ремонт на усадебных местах в уездных и губернских городах. Теперь их выдача должна была осуществляться ГСДК под контролем городских дум [32, д.1760; 25, т. 34, № 34757]. В связи с этим для осуществления лучшего контроля над застройкой городских земель, в 1860 г. на ГСДК была

возложена обязанность «снабжать городские думы копиями городских планов для руководства при отводе земельных участков» [32, д.1815].

Перечисленные новации, позволявшие губернским властям более оперативно принимать решения по вопросам строительства, убедительно свидетельствовали о необходимости дальнейшей трансформации работы архитектурно-строительных служб в стране. Закономерным следствием этой своего рода подготовительной работы стало решение Государственного совета от 29 октября 1864 г., на основании которого в губерниях упразднились строительные и дорожные комиссии [25, т. 39, № 41394]. Вместо них при губернских правлениях создавались строительные отделения, а их функции в значительной степени переходили к органам местного управления. С этого времени архитектура и застройка городов в провинции в большей степени стала определяться деятельностью именно этих органов, что по существу ознаменовало завершение процесса децентрализации системы управления строительством в масштабе государства.

Выводы. Во второй половине XVIII в. произошло становление профессии архитектора и первичных форм управления архитектурно-строительной деятельностью, как в масштабе страны, так и на уровне губерний и отдельных городов. Все это способствовало формированию европеизированного архитектурного облика провинциальных городов Российской империи: от регулярной планировки до формирования в их структуре классических ансамблей и отдельных зданий.

На основе изучения опубликованных и впервые введенных в научный оборот источников в рамках данного исследования сделаны следующие выводы:

- управление архитектурно-строительными процессами в Воронежской губернии в изученный период имело как общие черты с другими регионами России, так и свои уникальные местные особенности;

- было установлено, что Воронеж фактически стал первым из провинциальных городов страны, где появилась должность губернского архитектора;

- первого губернского архитектора Н.Н. Иевского по праву можно считать соавтором И.Е. Старова в разработке первого регулярного плана Воронежа 1774 г.;

- Воронеж стал вторым губернским городом, где была учреждена должность городского архитектора;

- результатом последовательно проводимых в масштабах страны реорганизационных мероприятий по управлению архитектурно-строительным комплексом, стало создание в Воронежской губернии к концу рассматриваемого периода разветвлённой структуры архитектурно-строительной службы, ставшей важной частью местных органов власти.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Власюк А.М. Эволюция строительного законодательства России в 1830-1910-е годы // Памятники русской архитектуры и монументального искусства. Стиль, атрибуции, датировки. Вып. 3. М., 1985. С. 226–239.

2. Кириченко Е.И., Нащокина М.В. Русское градостроительное искусство. Градостроительство России середины XIX – начала XX века. Общая характеристика и теоретические проблемы. Книга I. М.: Прогресс-Традиция, 2001. 340 с.

3. Пирожкова И.Г. история строительного законодательства Российской империи: научная монография. М.: «Канон+», 2008. 288 с.

4. Вайтенс А.Г., Косенкова Ю.Л. Развитие правовых основ градостроительства в России XVIII-начала XXI веков : опыт исторического исследования. Обнинск: Институт муниципального управления, 2006. 523 с.

5. Золотарева М. В. Регулирование архитектурно-строительного процесса в России в XVIII в. : монография. СПб. : СПбГАСУ, 2007. 122 с.

6. Коновалов А.В. Государственное управление развитием городов Поволжья во второй половине XIX века: автореф. дис. ... канд. ист. наук. Самара, 2006. 23 с.

7. Манонина Т.Н. Государственное регулирование застройки городов России в XIX – начале XX века : автореф. дис. ... канд. ист. наук . Томск, 2011. 31 с.

8. Семёнова Н.Л. Организация строительной и дорожной комиссии в Оренбургской губернии в 30–60-е годы XIX века // Вестник Челябинского государственного университета. 2010. №15 (196). История. С. 55–60.

9. Щавинская Л.Б. История формирования инженерно-строительных кадров Томской губернии во второй половине XIX – начале XX в. (постановка проблемы) // Хозяйственное и культурное развитие Урала и Сибири в XIX – начале XX в. Томск, 2011. Вып. 3. С. 312–318.

10. Хомутова О.Ю. Управление градостроительством в провинциальных городах конца XVIII – 60-х гг. XIX вв. на примере Калужской губернии // История: факты и символы. 2019. № 1 (18). С. 104–117.

11. Акинъшин А.Н. Материалы к биографическому словарю воронежских архитекторов (конец XVII – начало XX вв.) // Из истории Воронежского края : сб. статей. Воронеж, 2002. Вып. 10. С. 76–100.

12. Акинъшин А.Н. Материалы к биографическому словарю воронежских архитекторов (конец XVII – начало XX вв.) // Из истории Воронежского края : сб. статей. Воронеж, 2005. Вып. 13. С. 112–135.

13. Акинъшин А.Н. Материалы к биографическому словарю воронежских архитекторов (конец XVII – начало XX вв.) // Труды Воронежского областного краеведческого музея. Воронеж, 1994. Вып. 2. С. 70–89.

14. Полное собрание законов Российской империи. Собр. 1–е. СПб.: Гос. тип. [1649–1825]. 45 т.

15. Ожегов С.С. Типовое и повторное строительство в России в XVIII–XIX веках. М.: Стройиздат, 1984. 168 с.

16. ГАВО. Ф. И–14. Воронежское наместническое правление. Оп. 1.

17. РГИА. Ф. 1293. Техническо-строительный комитет МВД. Оп. 166. Д. 1. Планы уездных городов Воронежской губернии.

18. ГАВО. Ф. И–61. Воронежская городская дума. Оп. 1. Д. 1.

19. Российский государственный архив древних актов. Ф. 1356. Губернские, уездные и городские атласы, карты и планы генерального межевания 1766–1883 гг. (коллекция). Оп. 1. Д. 892.

20. ГАВО. Ф. И–29. Воронежское дворянское депутатское собрание. Оп. 124.

21. Адрес-календарь. Общая роспись начальствующих и прочих должностных лиц по всем

управлениям в Российской империи. 1809. В 2-х ч. Ч. 2. СПб. : Имп. Академия наук, 1809. 496 с.

22. РГИА. Ф. 1285. Департамент государственного хозяйства МВД. Оп. 8.

23. Свод законов Российской империи, повелением гос. имп. Николая Павловича составленный. Т. 12. Ч. 4. Учреждения и уставы путей сообщения, устав строительный и устав пожарный. СПб. : Тип. Второго Отделения Собственной Е.И.В. Канцелярии, 1857. 664 с.

24. ГАВО. Ф. И–18. Воронежская казённая палата. Оп. 1. Д. 182.

25. Полное собрание законов Российской империи. Собр. 2-е. СПб. : Гос.тип. [1830–1884]. 55 т.

26. Адрес-календарь. Общая роспись всех чиновных особ в государстве. 1851. В 2-х ч. Ч. 1. Власти и места Центрального управления и ведомства их. СПб : Имп. Академия наук. 344 с.

27. РГИА. Ф. 200. Штаб корпуса инженеров путей сообщения МПС. Оп. 2.

28. Памятная книжка Воронежской губернии на 1856 г. Воронеж: Изд. Воронеж. губ. стат. ком.; типо-литогр. Губ. прав., 1856. 289 с.

29. Памятная книжка Воронежской губернской гимназии. Воронеж : Высочайшее утвержд.; товарищ. «печатня С. П. Яковлева», 1891. 212 с.

30. РГИА. Ф. 207. Особенная канцелярия Главноуправляющего путей сообщения и публичных зданий. Оп. 17.

31. Хомутова О.Ю. Управление градостроительством в провинциальных городах конца XVIII – 60-х гг. XIX вв. на примере Калужской губернии // История: факты и символы. 2019. № 1(18). С. 104–117.

32. РГИА. Ф. 218. Департамент искусственных дел ГУПС и ПЗ. Оп. 3.

Информация об авторах

Чесноков Владимир Геннадиевич, кандидат исторических наук, доцент кафедры композиции и сохранения архитектурно-градостроительного наследия. E-mail: che.vir@yandex.ru. Воронежский государственный технический университет. Россия, 394006, Воронеж, ул. 20-летия Октября, д. 84.

Чесноков Геннадий Анатольевич, кандидат архитектуры, профессор, заведующий кафедрой композиции и сохранения архитектурно-градостроительного наследия. E-mail: chesnokov@mail.ru. Воронежский государственный технический университет. Россия, 394006, Воронеж, ул. 20-летия Октября, д. 84.

Поступила 13.04.2024 г.

© Чесноков В.Г., Чесноков Г.А., 2024

Chesnokov V.G., *Chesnokov G.A.
Voronezh State Technical University
*E-mail: chesnokov@mail.ru

MANAGEMENT OF ARCHITECTURAL AND CONSTRUCTION PROCESSES IN THE VORONEZH PROVINCE AT THE END OF THE XVIII - 60'S. XIX century

Abstract. We studied how all-Russian legislation and local administration influenced the formation and

work of the architectural and construction service in the Voronezh province during the specified time period. The study is based on archival data, which made it possible to trace changes in the personnel composition of the service and its structure, as well as the work of local provincial and city architects to carry out instructions received from the capital. The example of the province shows the process of gradual transfer of powers for construction management from central authorities to local ones. This led to the creation of an extensive structure of architectural and construction services, integrated into the local government system. It was revealed that in some cases the Voronezh experience was ahead of the all-Russian one. In particular, the creation of the first regular plan of Voronezh in 1774 was studied, which became an example of cooperation between the provincial authorities and the "Commission on the stone structure of St. Petersburg and Moscow." It was also established that the position of provincial architect in Voronezh had existed since 1773, which is a unique case for the province. In addition, Voronezh became one of the first provincial cities where the position of city architect appeared. In 1805 it was occupied by T. S. Kondratiev. The study used previously unpublished materials from the Russian State Historical Archive and the State Archive of the Voronezh Region.

Keywords: general plan of Voronezh, regular planning, block development, provincial architect, architect N.N. Ievsky, architect T.S. Kondratiev.

REFERENCES

1. Vlasyuk A.M. Evolution of Russian construction legislation in the 1830–1910s [Evoluciya stroitel'nogo zakonodatel'stva Rossii v 1830-1910-e gody]. Pamyatniki russkoj arhitektury i monumental'nogo iskusstva. Stil', atribucii, datirovki. No. 3. M., 1985. Pp. 226–239. (rus)
2. Kirichenko E.I., Nashchokina M.V. Russian urban planning art. Urban planning in Russia in the mid-19th – early 20th centuries. General characteristics and theoretical problems. [Russkoe gradostroitel'noe iskusstvo. Gradostroitel'stvo Rossii serediny XIX - nachala XX veka. Obshchaya harakteristika i teoreticheskie problem]. Book I. M.: Progress-Tradition. 2001, 340 p. (rus)
3. Pirozhkova I.G. History of construction legislation of the Russian Empire: scientific monograph. [Istoriya stroitel'nogo zakonodatel'stva Rossijskoj imperii: nauchnaya monografiya]. M.: "Canon+". 2008, 288 p. (rus)
4. Vaytens A.G., Kosenkova Yu.L. Development of the legal foundations of urban planning in Russia in the 18th – early 21st centuries: experience of historical research. [Razvitie pravovyh osnov gradostroitel'stva v Rossii XVIII-nachala XXI vekov : opyt istoricheskogo issledovaniya]. Obninsk: Institute of Municipal Management. 2006, 523 p. (rus)
5. Zolotareva M.V. Regulation of the architectural and construction process in Russia in the 18th century : monograph. [Regulirovanie arhitekturno-stroitel'nogo processa v Rossii v XVIII v. : monografiya]. St. Petersburg. : SPbGASU. 2007, 122 p. (rus)
6. Kononov A.V. State management of the development of Volga region cities in the second half of the 19th century [Gosudarstvennoe upravlenie razvitiem gorodov Povolzh'ya vo vtoroj polovine XIX veka]: abstract. dis. ...cand. history sciences. Samara. 2006, 23 p. (rus)
7. Manonina T.N. State regulation of urban development in Russia in the 19th – early 20th centuries [Gosudarstvennoe regulirovanie zastrojki gorodov Rossii v XIX – nachale XX veka]: abstract. dis. ...cand. history sciences. Tomsk. 2011, 31 p. (rus)
8. Semyonova N.L. Organization of the construction and road commission in the Orenburg province in the 30–60s of the 19th century. [Organizaciya stroitel'noj i dorozhnoj komissii v Orenburgskoj gubernii v 30–60-e gody XIX veka]. Bulletin of the Chelyabinsk State University. 2010. No. 15 (196). Story. Pp. 55–60. (rus)
9. Shchavinskaya L.B. The history of the formation of engineering and construction personnel in the Tomsk province in the second half of the 19th – early 20th centuries. (statement of the problem). [Istoriya formirovaniya inzhenerno-stroitel'nyh kadrov Tomskoj gubernii vo vtoroj polovine XIX – nachale XX v. (postanovka problemy)]. Economic and cultural development of the Urals and Siberia in the 19th – early 20th centuries. Tomsk, 2011. No. 3. Pp. 312–318. (rus)
10. Khomutova O.Yu. Urban planning management in provincial cities of the late XVIII – 60s. XIX centuries on the example of the Kaluga province. [Upravlenie gradostroitel'stvom v provincial'nyh gorodah konca XVIII – 60-h gg. XIX vv. na primere Kaluzhskoj gubernii]. History: facts and symbols. 2019. No. 1 (18). Pp. 104–117. (rus)
11. Akinshin A.N. Materials for the biographical dictionary of Voronezh architects (late 17th – early 20th centuries) [Materialy k biograficheskomu slovarju voronezhskih arhitektorov (konec XVII – nachalo XX vv.)]. Iz istorii Voronezhskogo kraja : sb. statej. Voronezh, 2002. No. 10. Pp. 76–100. (rus)
12. Akinshin A.N. Materials for the biographical dictionary of Voronezh architects (late 17th – early 20th centuries) [Materialy k biograficheskomu slovarju voronezhskih arhitektorov

(konec XVII – nachalo XX vv.). Iz istorii Voronezhskogo kraja : sb. statej. Voronezh, 2005. No. 13. Pp. 112–135. (rus)

13. Akinshin A.N. Materials for the biographical dictionary of Voronezh architects (late 17th – early 20th centuries) [Materialy k biograficheskomu slovaryu voronezhskih arhitektorov (konec XVII – nachalo XX vv.)]. Proceedings of the Voronezh Regional Museum of Local Lore. Voronezh, 1994. No. 2. Pp. 70–89. (rus)

14. Complete collection of laws of the Russian Empire – Collection. 1st. [Polnoe sobranie zakonov Rossijskoj imperii – Sobr. 1–e]. St. Petersburg. : State typ. [1649–1825]. 45 vol. (rus)

15. Ozhegov S.S. Standard and repeated construction in Russia in the 18th-19th centuries. [Tipovoe i povtornoje stroitel'stvo v Rossii v XVIII-XIX vekah]. M.: Stroyizdat, 1984. 168 p. (rus)

16. State Archives of the Voronezh Region [GAVO]. F. I–14. Voronezh viceregal government. Op. 1. (rus)

17. Russian State Historical Archive [RGIA]. F. 1293. Technical and Construction Committee of the Ministry of Internal Affairs. Op. 166. D. 1. Plans of district cities of the Voronezh province.

18. State Archives of the Voronezh Region [GAVO]. F. I–61. Voronezh City Duma. Op. 1. D. 1. (rus)

19. Russian State Archive of Ancient Acts [RGADA]. F. 1356. Provincial, district and city atlases, maps and plans for general surveying of 1766 - 1883. (collection). Op. 1. D. 892. (rus)

20. State Archives of the Voronezh Region [GAVO]. F. I–29. Voronezh noble deputy assembly. Op. 124. (rus)

21. Address-calendar. General list of commanders and other officials for all departments in the Russian Empire. 1809. In 2 parts. Part 2. [Adres-kalendar'. Obshchaya rospis' nachal'stvuyushchih i prochih dolzhnostnyh lic po vsem upravleniyam v Rossijskoj imperii. 1809. V 2-h ch. Ch. 2. St. Petersburg]. SPb. : Imp. Academy of Sciences, 1809. 496 p. (rus)

22. RGIA. F. 1285. Department of State Economy of the Ministry of Internal Affairs. Op. 8. (rus)

23. Code of laws of the Russian Empire, by order of the state. imp. Nikolai Pavlovich compiled. T. 12. Part 4. Institutions and charters of communications, construction regulations and fire regulations. [Svod zakonov Rossijskoj imperii, povoleniem gos. imp. Nikolaya Pavlovicha sostavlennyy. T. 12. CH. 4. Uchrezhdeniya i ustavy putej soobshcheniya, ustav stroitel'nyj i ustav pozharnyj]. SPb. :Type. Second Branch of Own E.I.V. Offices. 1857, 664 p. (rus)

24. State Archives of the Voronezh Region GAVO. F. I-18. Voronezh State Chamber. Op. 1. D. 182. (rus)

25. Complete collection of laws of the Russian Empire. Collection. 2nd. [Polnoe sobranie zakonov Rossijskoj imperii. Sobr. 2–e]. St. Petersburg. : State typ., [1830–1884]. 55 vol. (rus)

26. Address-calendar. General list of all officials in the state. 1851. In 2 parts. Part 1. Powers and places of the Central Administration and their departments. [Adres-kalendar'. Obshchaya rospis' vsekh chinovnyh osob v gosudarstve. 1851. V 2-h ch. CH. 1. Vlasti i mesta Central'nogo upravleniya i vedomstva ih.]. St. Petersburg: Imp. Academy of Sciences. 344 p. (rus)

27. Russian State Historical Archive [RGIA]. F.200. Headquarters of the Corps of Railway Engineers of the Ministry of Railways. Op. 2.

28. Memorial book of the Voronezh province for 1856. [Pamyatnaya knizhka Voronezhskoj gubernii na 1856 g.]. Voronezh: Publishing house. Voronezh. lips stat. com.; typo-lithogr. Lip. rights., 1856. 289 p. (rus)

29. Memorial book of the Voronezh provincial gymnasium. [Pamyatnaya knizhka Voronezhskoj gubernskoj gimnazii]. Voronezh: Highest approval; comrade. "Printing house of S.P. Yakovlev". 1891, 212 p. (rus)

30. Russian State Historical Archive [RGIA]. F. 207. Special office of the Chief Directorate of Railways and Public Buildings. Op. 17.

31. Khomutova O.Yu. Urban planning management in provincial cities of the late XVIII - 60s. XIX centuries on the example of the Kaluga province // History: facts and symbols. 2019. No. 1(18). Pp. 104–117. (rus)

32. Russian State Historical Archive [RGIA]. F.218. Department of Artificial Affairs of GUPS and PZ. Op. 3. (rus)

Information about the authors

Chesnokov, Vladimir G. PhD, Assistant professor. E-mail: che.vir@yandex.ru. Voronezh State Technical University. Russia, 394006, Voronezh, st. 20th anniversary of October, no. 84.

Chesnokov, Gennady A., PhD, Professor. E-mail: chesnokov@mail.ru. Voronezh State Technical University. Russia, 394006, Voronezh, st. 20th anniversary of October, no. 84.

Received 13.04.2024

Для цитирования:

Чесноков В.Г., Чесноков Г.А. Управление архитектурно-строительными процессами в Воронежской губернии в конце XVIII – 60-х гг. XIX в. // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2024. №8. С. 54–65. DOI: 10.34031/2071-7318-2024-9-8-54-65

For citation:

Chesnokov V.G., Chesnokov G.A. Management of architectural and construction processes in the Voronezh province at the end of the XVIII – 60'S. XIX century. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2024. No. 8. Pp. 54–65. DOI: 10.34031/2071-7318-2024-9-8-54-65

DOI: 10.34031/2071-7318-2024-9-8-66-75

Вовженяк П.Ю., Ярош Т.С.Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова***E-mail: polina.vov@mail.ru*

ИНТЕРПРЕТАЦИЯ КАК МЕТОД ИССЛЕДОВАНИЯ В АРХИТЕКТУРНОМ ПРОЕКТИРОВАНИИ

Аннотация. В связи с рефлексивным замешательством архитектурная общественность, наблюдая негативные последствия своих технократических устремлений, заражается искательством, томится жаждой понимания насущных проблем зодчества, его гуманистического предназначения, умения воплощать и выражать присущим ему языком мысли и чувства, на которые только и способен человек, творец и органическая составляющая многосложного мира архитектуры. Как следствие этого - заинтересованное проникновение в его идейно-образные, языковые таинства, задействующие широкий спектр антропологических воззрений. Цель исследования акцентировать внимание на неизученных формах толкования строительства и архитектуры через теоретико-знаковый контекст, который указывает на тесную связь с пониманием и знанием. Дилемма интерпретации архитектурного произведения без использования, по-видимому, может быть решена только с помощью более высокого контекста скрытых применений, которые квалифицируют неиспользуемое здание как произведение архитектуры. Задачи - определить роль интерпретации в разработке и составлении проектной строительной документации, выявить спектр использования знаков в процессах создания архитектурного замысла. Методология обоснования интерпретации в строительстве представлена на примере двух способов онтологии понимания Поля Рикера. В данном случае, отказываясь от рассуждений о методе, мы переносимся в план онтологии конечного сущего, чтобы обнаружить здесь понимание как способ создания архитектурной мысли. Согласно второму методу, аналитика не является альтернативной, вынуждающей нас выбирать между онтологией понимания и эпистемологией интерпретации. Именно стремление к такой онтологии руководит предпринятым исследованием. Для сравнительного исследования использован теоретический подход Нельсона Гудмана, который связывая различные знаковые системы друг с другом исследует функции проектирования и системные свойства в разных областях. Результаты исследования представлены в утверждении, что интерпретация является лишь частью большего спектра употребления знаков в строительстве и составлении проектной документации. Знаковый контекст присутствует в процессах архитектурного эскизирования и развивается между различными средами: модели, эскизы, представления и планы – все они уже сами по себе представляют знаковые системы. Также употребление знаков-символов обнаруживаются во время строительства и эксплуатации здания. В области строительства можно найти множество систем знаков и функций знаков. Все они указывают на процессы интерпретации. Примером является теоретико-знаковая стандартизация архитектурно-строительной документации и учебно-методической базы, которые проверяются с использованием общепризнанных процедур, дорабатываются в специализированных дискуссиях и проверяются экспертными процессами. Если же когнитивная способность к пониманию отсутствует, любые письменные знаковые системы остаются накоплением данных или информации.

Ключевые слова: интерпретация, строительство, архитектура, использование знаков, герменевтика.

Введение. Архитектура как неотъемлемая часть гуманитарной культуры адекватно высвечивает все противоречия, характерные для современного общества. Архитекторы и проектировщики, получая много негативных последствий своих технократических устремлений, естественно часто приходят к замешательству. Множатся признания, что миссия архитектора представляется как никогда ранее опасной, трудной и запутанной [1]. Их труд становится поисковым, томится жаждой понимания насущных проблем зодчества, его гуманистического предназначения, умения воплощать и выражать присущим ему языком

мысли и чувства, на которые только и способен человек, творец и органическая составляющая многосложного мира архитектуры. Как следствие этого – заинтересованное проникновение в его идейно-образные, языковые таинства, задействующие широкий спектр антропологических воззрений. Этим подвигается вывод архитектурной проблематики за догматизированные меж внутренней теории и введение ее в гностически обширную сферу культурологии. Возникает герменевтическая ситуация - имманентное стремление уяснить сущности художественного языка архитектуры, разгадать секреты ее способности

аккумулировать идеи, смыслы, образы культуры посредством самобытных текстов. Интерпретировать, понимать, знать – о познавательной природе архитектуры.

Интерпретация во многом определяет то, как мы относимся к архитектуре: это обстоятельство, безусловно, наиболее заметно, когда историк искусства анализирует старинное здание в его историческом окружении или критик обсуждает последнее творение знаменитого архитектора. Но интерпретация в архитектуре не ограничивается интерпретацией зданий. Вопреки тому, что может показаться на первый взгляд, процессы интерпретации гораздо более распространены в строительстве. Многочисленные процессы интерпретации уже задействованы в процессах проектирования, а также в строительных работах или эксплуатации зданий. Слишком часто эти повседневные интерпретации прикрываются открытой формой интерпретации архитектуры как произведения искусства. Таким образом, цель этой статьи – привлечь внимание к другим формам толкования. Когнитивное измерение архитектуры также раскрывается через теоретико-знаковый контекст. Он указывает на тесную связь с пониманием и знанием, которые будут рассмотрены в конце этой статьи. Будет показано, что интерпретация представляет собой лишь часть обширных знаковых процессов. Если рассматривать их в целом, то становится ясно, в какой мере архитектуру можно считать формой знания.

Герменевтика - направление в философии, которое исследует теорию и практику истолкования, интерпретации, понимания [2].

В феноменологии существует два метода обоснования герменевтики. Короткий путь – это путь онтологии понимания, аналогичный пути, избранному Хайдеггером. Такую онтологию понимания Поль Рикёр называет коротким путем потому, что она, отказываясь от рассуждений о методе, сразу переносит себя в план онтологии конечного сущего, чтобы обнаружить здесь понимание уже не как способ познания, а как способ бытия [3]. В эту онтологию понимания не погружаются постепенно, шаг за шагом углубляя методологические возможности истолкования, истории или психоанализа, — туда переносятся внезапно, резко меняя всю проблематику. Таким образом, герменевтическая проблематика становится областью аналитики того бытия, которое существует, понимая [4].

Жилищная нехватка в послевоенный период, о которой говорит философ, характеризуется диспропорцией между слишком большим количеством людей в сопоставлении со слишком

малым количеством мест для проживания [1]. Тот факт, что количественная диспропорция между людьми и местами проживания превратилась в свою противоположность во времена уменьшающихся городов, ничего не меняет в детерминации человеческого существования. Однако с появлением масштабных вакансий вид квартиры и дома изменился. Очевидно, что требование пригодности архитектурного произведения имеет фатальные последствия ввиду заведомо неиспользуемого жилого фонда, рассматриваемого через призму онтологической детерминации. Ибо как можно доказать полезность пустующего дома, кроме как в гипотезах?

Интерпретация всегда предполагает интерпретацию того, что более точно определено в процессе. То, что интерпретируется, следует понимать ниже под понятием знака [2]. Он не ограничивается письменными обозначениями или фиксированными культурно-историческими символами, но в принципе может включать в себя любой предмет или любое событие. В процессе интерпретации нечто становится знаком. Происходит разрыв с повседневностью, привычностью, рутинной; создается дистанция от того, что должно быть интерпретировано. Интерпретация начинается тогда, когда использование знаков вызывает вопросы и их необходимо читать как знаки. Это может быть сделано из-за необходимости продолжать дальше [3]. Сюда относится, например, случай, когда план не может быть понят сразу – будь то из-за того, что используются незнакомые символы, нельзя выделить их пространственную структуру, или части стали неразборчивыми. Однако это обстоятельство может быть также преднамеренно вызвано, когда что-то исследуется в его знаковых функциях, чтобы установить или подвергнуть сомнению новые референции и связи. Так обстоит дело, например, когда здание исследуется в его рабочем контексте, или его типология, или анализируются его выражение и его разнообразные ссылки.

Толкование знаков следует понимать, как активный процесс, постепенно приближающийся к разрешению. Это требует упорных проб и ошибок; он тестируется и проверяется, после чего вносятся исправления и вариации; пробный запуск начинается снова, пока не будет получен удовлетворительный результат [5]. На этот процесс могут влиять различные факторы: например, следует упомянуть контекстуальные условия, базовые знания, эмпирические знания или усвоенные практики. Предыдущие связи и

более ранние интерпретационные процессы имеют решающее значение, поскольку новая интерпретация всегда осуществляется в связи с устоявшимися знаковыми практиками и функциями. В некотором смысле этот процесс напоминает процесс проектирования. Все начинается с чернового наброска или предварительного проекта, основанного на оригинальной идее и богатом опыте предыдущих строительных проектов. Этот черновик будет уточнен позже. Внесение изменений всегда необходимо, поскольку необходимо учитывать другие факторы. При проектировании необходимо учитывать пожелания заказчика, а также требования специалистов-проектировщиков и законы строительной статики и физики. В творческом процессе эти влияния объединяются, сопоставляются друг с другом и развиваются в функционирующее целое. Прагматические соображения, как правило, ограниченный бюджет и сроки, в конечном итоге приведут к отказу от процесса, чтобы начать строительство [6].

Точно так же, как планирование здания должно соответствовать определенным критериям, чтобы функционировать и быть реализованным в этой форме, существуют также критерии интерпретации, которые должны быть выполнены, чтобы считаться правильной интерпретацией. Следуя соображениям Гудмана и Элгина, поиск правильности можно охарактеризовать как уравнивающий процесс [7]. Рассматриваемый знак приводится в зависимости с существующей знаковой системой; предпринимается попытка подогнать знак и проверить его действие. Здесь проверяется, является ли интерпретация новой знаковой структуры связанной и непротиворечивой, поскольку она не должна противоречить другим употреблением знаков. Если возникает такая ситуация, важно рассмотреть, где вносятся исправления: возможно ли, что интерпретация неверна, или необходимо пересмотреть существующие убеждения и практики? Каков эффект пересмотра? Можно ли решить первоначальную проблему, появляются ли новые идеи? Таким образом, также могут быть обнаружены недоразумения и ошибки.

Процесс интерпретации в строительстве. Насколько обширным становится процесс интерпретации еще не определено. Здесь открывается широкий спектр. По мере знакомства изначально сложные интерпретации могут постепенно становиться все более и более рутинными, пока, наконец, не перейдут в бесспорное применение. За повседневным использованием часто стоят более ранние

интерпретации. Однако даже повседневная рутина может привести к интерпретации, если из-за новых рамочных условий устоявшееся использование уже не может быть реализовано обычным образом. Эти постепенные переходы уже дают представление о том, что интерпретация представляет собой лишь часть более широкого спектра употребления знаков [8].

Но сначала следует сделать краткий обзор теории знаков, на которой основаны эти соображения. Подход Нельсона Гудмана оказался особенно плодотворным для сравнительного исследования. В отличие от известных предшествующих моделей, Гудман может связать различные знаковые системы друг с другом, поскольку он работает с единой основой, а не со специальными типологиями. Таким образом, ему удастся исследовать функции рисования и системные свойства в разных областях. Путь свободен для всеобъемлющей инвентаризации, которая задает вопросы о различиях и сходствах между знаковыми системами, будь то в науке, в повседневной практике или в искусстве [9].

На вопрос о знаке отвечает очень просто. Знак – или символ, оба термина используются Гудманом взаимозаменяемо – следует понимать в общем и бесцветном смысле: как нечто, что символизирует. Знак дается всякий раз, когда что-то указывает. Обозначая нечто иное, образование этого отношения становится, таким образом, основой всех символических процессов. Только установившаяся в языковой практике референция определяет статус, так что в качестве символа может выступать любой объект, будь то буквы, слова, тексты, рисунки, схемы, карты, модели [10].

Символическая функция языка проявляется парадигматически. Слово обозначает предмет, оно обозначает его. Например, произведение искусства: письменный знак, составленный из сочетания букв, относится к предметам — в данном случае к произведениям искусства — через устоявшееся отношение знак и предмет связаны между собой. Таким образом, элементы графики плана относятся к соответствующим им объектам исполнения: две параллельные линии со штриховкой между ними на кирпичной сантиметровой известняковой стене, тонкая линия с присоединенным квадрантом на двери, [8]. Яркие построенные примеры денотативной референции можно найти среди архитектурных безумий: когда вход в оранжерею в поместье Данмор-Касл в Стерлингшире отсылает к плоду в виде гигантского каменного ананаса, искусственные руины находят свое целеустремленное место в сельской местности.

Парки, копии дворцов и замков используются в гостиничных комплексах, затем привлекаются денотативные отсылки; то же самое касается магазина соков в форме апельсина или крыши магазина морепродуктов в форме рыбы; или, если привести более свежий пример, планетарий Сантьяго Калатравы в Валенсии, который вместе со своим отражением делает денотативную ссылку на глаз [11].

Но дело не всегда так ясно и очевидно. Уже с обращением к теоретическим и вымышленным объектам, с метафорическими приложениями и иронией дело обстоит гораздо сложнее. Следовательно, необходимо различать другие типы символических функций. Помимо обозначения, есть еще и экземплификация. Здесь объект отображает определенные качества, которые он воплощает. Доминирующая ссылка в этом случае идет от символа к объекту, о котором идет речь. Стандартным примером экземплификации Гудмана является образец ткани. Как отрезок рулона ткани, он обозначает определенный цвет или узор; но он не соответствует всем своим свойствам: например, размером или формой можно пренебречь [12]. Архитектурная экземплификация происходит, когда демонстрируются определенные характеристики здания. Иногда конструкция здания должна служить примером его несущей конструкции: элемент дизайна, который с удовольствием использовали такие архитекторы, как Норман Форстер. Конструкция иллюстрирует поведение несущей способности и предполагаемое статическое направление сил через свою форму.

Большое количество вариантов может быть получено из двух основных символических функций обозначения и экземплификации. Говорят, что выражение существует, когда экземплификация метафорична, то есть когда референтный ярлык относится к нему метафорически, а не буквально. Примеров тому можно найти множество среди построек: будь то дворец, выражающий величие, или церковный покой и торжественность; когда деконструктивистские здания метафорически относятся к нестабильности и растворению; Национальная галерея выражает ясность и простоту Миса ван дер Роэ через упрощенную конструкцию и простые формы [13].

Если ссылки проходят через несколько стадий и создают сложные отношения, в конечном итоге они представляют собой множественные ссылки. Здесь следует ссылка через целую цепочку отдельных ссылок. Такие сложные процедуры имеют место, когда задействованы недомолвки, ирония и тому

подобное [14]. Когда был построен вышеупомянутый вход в теплицу, ананас стал примером огромных затрат на его выращивание. Таким образом, в переносном смысле здание символизирует роскошь и процветание его владельцев. Форма Новой национальной галереи обозначает греческий храм, который, в свою очередь, относится к храму искусства: дань уважения функции здания как музея современного искусства.

Процессы архитектурного эскизирования имеют множество различных способов проявления знаковых процессов в архитектуре. Они проявляются не только в работе с различными формами записи, но и в техниках и практиках, а также в анализе реализованной структуры. Они охватывают все этапы истории развития здания: от первых набросков идеи и планировочной документации через этап строительства до завершения; от использования, преобразования к сносу или распаду.

На этапе проектирования задействовано большое количество различных систем участников строительства. Их следует читать в контексте, поскольку они дополняют и влияют друг на друга. Этап проектирования здания обычно начинается с первых эскизов идей. Они переводятся во все более и более подробные планы, дополняются моделями, графическими изображениями и другими симуляциями. Процесс проектирования развивается между этими различными средами: модели, эскизы, представления и планы – все они уже сами по себе представляют знаковые системы – взаимно подаются в процесс. Благодаря этому постоянному дальнейшему развитию дизайн становится все более и более точным. Планы различных этапов от предварительного проекта до ввода в планирование реализации становятся все более подробными и сложными с точки зрения их информации. Эти формы представления дополняются словесными описаниями: от описания здания до определения количества до тендерной документации.

Представление плана этажа при планировании работ опирается на различные системы знаков. Здесь характерно графическое изображение, изображающее стены, окна и двери посредством расположения линий. В данном контексте важно не только расстояние между линиями, но и их толщина: они дают информацию о том, изображается ли окно, дверь или несущая стена. Также важно, будет ли линия сплошной или пунктирной, так как ее цвет может нести смысл. В зависимости от ситуации он может обозначать скрытую линию, вид снизу, снос или новое здание. Штриховка указывает на

материалы: они показывают, известна ли стена или кирпич, или где должна быть установлена изоляция. Числовая информация, такая как цепочки размеров, кодирует длину секций стен и размеры проемов, они представляют площади, а также информацию о высоте или масштабе плана. Пиктограммы дают информацию о том, где находится плита и стиральная машина, где установлены унитаз и раковина. Стандартизированные графические символы указывают, где запланированы выключатели, где можно найти подключения к газу, воде и электричеству. Только в контексте все эти знаки дают информацию о размере и оборудовании кухонного помещения [6].

Во время строительства планы должны быть зачитаны. Дополненные тендерной документацией инструкции отправляются на различные торги. Планы и описания теперь должны быть истолкованы, чтобы узнать, насколько глубока яма для раскопок, где находится фундамент или где стены должны быть заложены кирпичом. Каменщик должен прочитать из проектной документации, сколько кирпичей ему нужно заказать, какой тип кирпича и какой раствор он должен использовать, или в какой технике должна быть сделана стена. Чтобы иметь возможность правильно интерпретировать документы планирования, он опирается на обширные практические знания в дополнение к своей практике интерпретации в работе с системами обозначений документов планирования, дополненными устными пояснениями и повторными консультациями с руководством строительства. Если инженер-электрик следует за оболочкой, он должен правильно интерпретировать не только чертежи, но и результат работы каменщиков, чтобы знать, где должны быть подключены кабели и выключатели. Таким образом, в практической реализации замысла пересекаются самые разные интерпретации.

Большая часть использования зданий является рутинной и автоматической, что в лучшем случае косвенно относится к более ранним интерпретациям. Но в новых контекстах, в незнакомых местах или в изменившейся жизненной ситуации может понадобиться переосмысление. Как дверь представляет собой вход в соседнюю комнату или выход наружу; как пользоваться дверями с их ручками и замками, обращаться с окнами и стенами. Как ориентироваться в незнакомых зданиях, потому что планы этажей знакомы и следуют схожим схемам. Расположение кухни и жилых комнат, частных зон и душевых обычно следует схожим схемам, так что гостиную обычно легко

найти даже в незнакомом таунхаусе. Однако поиск главного входа в неизвестное здание, например, может привести к обширным процессам интерпретации. Затем производится поиск заметных элементов дизайна, которые могли бы указать путь, а также дополнительных знаков и информационных щитов. Чтобы найти туалет в ресторане, необходимо искать дверь возле столовой, отмеченную соответствующими пиктограммами.

Типологизированная последовательность комнат и разделение комнат помогают ориентироваться в комнате. Структурирование комнат часто показывает, скрыт ли за проемом офис, лестница эвакуации или шахта лифта. Подкрепляясь приметами, расспросами и опытом обращения с эксплуатацией зданий, удастся найти комнату офицера в начальстве, равномерно расположенную вдоль длинного коридора, опознать раздевалку в бассейне.

Дилемма интерпретации архитектурного произведения без использования, по-видимому, может быть решена только с помощью более высокого контекста скрытых применений, которые квалифицируют неиспользуемое здание как произведение архитектуры. Потому что, хотя оно не используется условно, здание не выделяется из контекста вещей, которые сопровождают и формируют человеческое существование, но которые в первую очередь определяются человеческим существованием. Следовательно, скрытые контексты употребления обнаруживаются в областях, определяемых человеческим существованием [15].

Имеются в виду ситуации, в которых произведение архитектуры оказывается полезным, поскольку оно интегрировано в контекст использования, который конституируется при условии, что в здание нельзя войти (что не более странно, чем отличить внутреннее от внешнего и предположить, что люди в первую очередь используют внутреннее пространство – в частном порядке в своем доме, публично в музее и т. д.) [16]. В соответствии с характером дела на данном этапе нельзя пытаться описать такие контексты употребления общеобязательным образом и обобщить их в типологических моделях. Кажется более уместным в нескольких словах обрисовать каркас – материальный каркас, реализующий человеческое существование, как, вероятно, выразился бы Хайдеггер, в квадрате, чем жизнь между произведениями архитектуры и с ними [17].

Возникает вопрос, означает ли это для того, кто интерпретирует архитектурное произведение

в свете его полезности и таким образом хочет придать ему смысл, закрывать глаза на большую часть произведения, а именно на его интерьер. Для него это, вероятно, скорее означало бы дедуцировать использование традиционно неиспользуемого произведения из контекстов, в которые оно интегрировано, как часть более широкого контекста, который мы называем - город. Он автоматически перевернул бы обычные отношения и понял бы внешний вид здания не как зеркало нежилого интерьера, а как часть улицы, по которой он идет, часть двора, в котором он живет, часть сада, по которому он бродит [17]. Таким образом, он сможет придать смысл как снаружи, так и внутри здания, которое он знает (потому что оно похоже на многие другие здания), или догадывается, или которое остается для него закрытым. Для того, чтобы раскрыть этот смысл в контексте интерпретации условно неиспользуемого произведения, как представляется, требуются некоторые инструменты [18]. Мы хотим описать его как феноменологию улицы, двора, сада и вскоре как феноменологию города, частью которого остаются условно неиспользуемые произведения архитектуры. По сравнению с тем, кто обнаруживает полезность архитектурного произведения, живя во внутреннем пространстве, сооружение этих вспомогательных средств выглядит импровизацией. Ибо расширенное понимание полезности архитектурного произведения кажется слишком нетрадиционным, чтобы его можно было безоговорочно приравнять к общепринятому использованию, хотя в обоих случаях мы являемся бесспорными интерпретаторами партитуры, которая является одновременно выражением и результатом сосуществования людей с миром материи [19].

Итак, в области строительства можно найти множество систем знаков и функций знаков. Все они указывают на процессы интерпретации. В то же время мы получили представление о различных аспектах, которые могут принимать процессы рисования. Интерпретации могут превратиться в рутинные приложения, если будут предлагаться все более бесспорные решения проблем. Но когда процесс интерпретации требует наибольших усилий и включает в себя длительные попытки решения, требующие высокой степени творчества и изобретательности, тогда происходит переход к изобретательству и творчеству [20]. Таким образом, интерпретации представляют собой лишь малую часть большого спектра употребления знаков. Использование знаков варьируется от изобретения, открытия и создания

с помощью целенаправленных процессов интерпретации до повседневного применения.

Сейчас также становится ясно, в какой степени можно говорить о познавательной природе архитектуры. Потому что все эти знаковые процессы являются познавательными процессами. Гудман и Элгин отмечают, что с помощью знаков мы можем исследовать и изобретать, различать и находить, соединять и уточнять, упорядочивать и организовывать, принимать, исследовать, отбрасывать [2].

Поэтому они предлагают суммировать эти процессы в целом под понятием понимания. Всякий раз, когда мы имеем дело со знаками, когда мы их используем, когда мы связываем их друг с другом, комбинируем их друг с другом или создаем новые способы использования, тогда задействованы когнитивные способности. Мы пытаемся структурировать и систематизировать для создания структур и весов или для развития связей и взаимодействий. Цель состоит в том, чтобы достичь эпистемического восхождения с помощью этих процессов [21]. Если усилия по пониманию увенчались успехом, то нам удалось, например, обрести новое понимание, найти решение существующих проблем или ответить на острые вопросы.

Если знание рассматривать как результат познавательных процессов, передающих достоверные знания о нашем мире, то теперь обнаруживается и связь между знанием и пониманием. Понимание проявляется как непрерывный процесс, в постоянном стремлении осваивать и проникать в мир, находить свой путь и действовать. Результаты этих процессов, представляющие собой мимолетный отрывок из продолжающегося процесса, можно описать как знание. Таким образом, понимание становится предпосылкой знания, которое можно различать в двух отношениях. На индивидуальном уровне знание – это то, что возникает в процессе понимания; То, что я понял. Появилось что-то новое; теперь он связан, структурирован, находится в исходной структуре; модифицированная система временно стабилизировалась и дает новые идеи, решения проблем или приложения. Это знание теперь доступно для дальнейших попыток понимания – при условии, что оно культивируется и сохраняется.

В узком, но очень обыденном смысле, знание включает в себя свои проявленные формы. В первую очередь мы имеем в виду основные справочники, журнальные статьи и стандартные работы, а также учебные материалы: они были проверены с использованием общепризнанных процедур, доработаны в специализированных

дискуссиях и положительно проверены экспертными процессами. За этим кратким изложением скрываются обширные процессы понимания. Составленные в строго стандартизированных и абстрактных знаковых системах, эти формы служат для проверки, исправления и опосредования. Применительно к архитектуре это означает, что формы манифеста включают в себя планы, описания зданий и изделий, директивы, а также юридические статьи, изображения и модели, а также сами здания – и это лишь несколько примеров.

Этим можно объяснить потерю знаний. При отсутствии когнитивной способности к пониманию, существование любых письменных знаковых систем остается всего лишь сбором данных либо информации. Все еще могут существовать манифестные формы, которые больше не понимаются. Это может быть вызвано, например, сменой интересов, сменой парадигмы или разрывом традиции интерпретационной практики. Здесь круг замыкается: если знаки больше нельзя интерпретировать, прежнее знание больше недоступно. Говоря о познавательной природе архитектуры, мы предполагаем функционирующие знаковые процессы, которые в любой момент могут быть вновь утрачены.

Выводы. В статье показано, что в области строительства можно найти множество систем знаков и функций знаков. Все они указывают на процессы интерпретации. В то же время этот обзор также дает представление о различных аспектах, которые могут принимать процессы эскизирования. Интерпретации могут превратиться в рутинные приложения, если будут предлагаться все более бесспорные решения проблем. Но когда процесс интерпретации требует наибольших усилий и включает в себя длительные попытки решения, требующие высокой степени творчества и изобретательности, тогда происходит переход к изобретательству и творчеству. Таким образом, интерпретации представляют собой лишь малую часть большого спектра употребления знаков. Использование знаков варьируется от изобретения, открытия и создания с помощью целенаправленных процессов интерпретации до повседневного применения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Габричевский А.Г. Морфология искусства. М.: Аграф, 2002. 864 с.
2. Иконников А.В. Архитектура и градостроительство. Энциклопедия. Москва: Стройиздат, 2001. 688 с.
3. Гудмен Н. Способы создания миров. М.: Идея-Пресс-Праксис, 2001. 482 с.
4. Есаулов Г.В., Лежава И.Г., Любовный В.Я., Юсин Г.С. Градостроительная доктрина Российской Федерации. М.: Эконинформ, 2014. 30 с.
5. Лола Г.Н. Дизайн-код. Культура креатива. СПб.: Элмор, 2011. 140 с.
6. Даниленко Е.П., Кононов А.А., Спеваков Б.С. Организация территорий общего пользования города Белгород: проекты и решения // Вектор геонаук. 2021. № 4. Том 4. С. 39–47. DOI: 10.21112/2619-0761-2021-4-39-47.
7. Дерябин Ю.С. Северная Европа. Регион нового развития: монография. Москва: Весь Мир, 2008. 508 с.
8. Voroncova O.N., Ajukasova L.K., Lekareva N.A. Typology of depressive communal areas in a Russian town // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020. Vol. 775. 012061. Pp. 1–5. DOI: 10.1088/1757-899X/775/1/012061.
9. Головин А. Компактный город как система управляемого развития // Уфа: взгляд в будущее: отчет о результатах рабочей сессии по стратегии развития города 2013. URL: <http://urbanbairam.ru/2013> (дата обращения 15.08.2022 г.).
10. Ахмедова Е.А., Лекарева Н.А. Градозкономические аспекты оценки городских земель с позиций инвестиционной привлекательности // Приволжский научный журнал. 2016. № 4(40). С. 149–154.
11. Лекарева Н.А., Заславская А.Ю. Территориально-пространственные ресурсы. Градостроительные стратегии города // LAP LAMBERT Academic Publishing. 2014. 104 с.
12. Мубаракшина М.М., Воронцова О.Н., Лекарева Н.А. Оценка качества городской среды на примере города Оренбурга // Вестник гражданских инженеров. 2020 №2(79). С. 22–28.
13. Попрядухин Р.Н. Делать город не просто. Пенза.: Типография ИП Поповой М.Г. «Копи-Ризо», 2012. 300 с.
14. Официальный сайт «Moderna Museet Malmo». [Электронный ресурс]. URL: <https://www.modernamuseet.se/malmo/en/category/moderna-museet-malmo-2/> (дата обращения: 17.04.2020).
15. Archdaily: Moderna Museet Malmo - Tham & Videgard Arkitekter. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.archdaily.com/55428/moderna-museet-malmo-tham-videgard-arkitekter> (дата обращения: 17.08.2022).
16. Иорданов С. «Порт Севкабель»: Новая жизнь после открытия. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.the-village.ru/city/city->

guide/326053-port-sevkabel-2-0 (дата обращения: 15.08.2022)

17. Бабенко Г.В. Социально-экономические реалии и перспективы развития исторических центров российских городов и методическое обеспечение решения данной задачи // Экономические проблемы регионов и отраслевых комплексов. 2013. № 9. С. 241–245.

18. Девятова Ю.А. Комплексный подход к архитектурному проектированию в исторической городской среде // Архитектон: известия вузов. 2016. № 53. С. 48–52.

19. Крогиус В.Р. Исторические города России как феномен ее архитектурного наследия. М.: Прогресс-Традиция, 2009. 312 с.

20. Пасечник И.Л., Марушина Н.В. Категория ценности в теории и практике сохранения исторической городской среды (в контексте сохранения рядовой исторической застройки) // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2019. Т. 21. № 3. С. 9–19

21. Барановский Г.В. Архитектурная энциклопедия второй половины XIX века. Москва: Изд-во В. Шевчук, 2015. 290 с.

Информация об авторах

Вовженяк Полина Юрьевна, старший преподаватель кафедры архитектуры и градостроительства. E-mail: polina.vov@mail.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

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

Поступила 08.10.2023 г.

© Вовженяк П.Ю., Ярмош Т.С., 2024

***Vovzhenyak P.Yu., Yarmosh T.S.**

Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov

**E-mail: polina.vov@mail.ru*

INTERPRETATION AS A RESEARCH METHOD IN ARCHITECTURAL DESIGN

Abstract. *Due to the reflexive confusion, the architectural community, observing the negative consequences of its technocratic aspirations, becomes infected with search, longs for understanding the pressing problems of architecture, its humanistic purpose, the ability to embody and express in its inherent language thoughts and feelings, which are only capable of man, the creator and the organic component of the complex world of architecture. As a result, there is an interested penetration into his ideological, figurative, linguistic mysteries, involving a wide range of anthropological views. The purpose of the study is to focus on unexplored forms of interpretation of construction and architecture through a theoretical and symbolic context, which indicates a close connection with understanding and knowledge. The dilemma of interpreting an architectural work without use can apparently only be solved by using a higher context of hidden applications that qualify an unused building as a work of architecture. The tasks are to determine the role of interpretation in the development and compilation of design construction documentation, to identify the range of use of signs in the processes of creating an architectural design. The methodology of justification of interpretation in construction is presented by the example of two ways of ontology of understanding the Riker Field. In this case, abandoning the reasoning about the method, we are transferred to the plan of the ontology of finite existence in order to find understanding here as a way of creating architectural thought. According to the second method, analytics is not an alternative, forcing us to choose between the ontology of understanding and the epistemology of interpretation. It is the desire for such an ontology that guides the research undertaken. For a comparative study, the theoretical approach of Nelson Goodman was used, which, by linking various sign systems with each other, explores design functions and system properties in different fields. The results of the study are presented in the statement that interpretation is only part of a larger spectrum of the use of signs in construction and preparation of project documentation. The iconic context is present in the processes of architectural sketching and develops between different environments: models, sketches, representations and plans – all of them already represent iconic systems in themselves. The use of symbolic signs is also detected during the construction and operation of the building. In the field of construction, many sign systems and sign functions can be found. They all point to processes of interpretation. An example is the theoretical and symbolic standardization of architectural and construction documentation and educational and methodological base,*

which are checked using generally recognized procedures, finalized in specialized discussions and verified by expert processes. If there is no cognitive ability to understand, any written sign systems remain an accumulation of data or information.

Keywords: *interpretation, construction, architecture, use of signs, hermeneutics.*

REFERENCES

1. Gabrichevsky A.G. Morphology of art [Morfologiya iskusstva]. M.: Agraf, 2002. 864 p.
2. Ikonnikov A.V. Architecture and Urban planning [Arhitektura i gradostroitel'stvo]. Encyclopedia. Moscow: Stroyizdat, 2001. 688 p. (rus)
3. Goodman N. Ways of creating worlds [Sposoby sozdaniya mirov]. M.: Idea-Press-Praxis, 2001. 482 p. (rus)
4. Yesaulov G.V., Lezhava I.G., Lyubov V.Ya., Yusin G.S. Urban planning doctrine of the Russian Federation [Gradostroitel'naya doktrina Rossijskoj Federacii]. Moscow: Ekon inform, 2014. 30 p. (rus.)
5. Lola G.N. Design code. Culture of creativity [Dizajn-kod. Kul'tura kreativita]. St. Petersburg: Elmore, 2011. 140 p. (rus)
6. Danilenko E.P., Kononov A.A., Spivakov B.S. Organization of common use territories of the city of Belgorod: projects and solutions [Organizaciya territorij obshchego pol'zovaniya goroda Belgorod: proekty i resheniya]. Vector geosciences. 2021. No. 4. Vol. 4. Pp. 39–47. DOI: 10.21112/2619-0761-2021-4-39-47. (rus.)
7. Deryabin Yu.S. Northern Europe. The region of new development [Severnaya Evropa. Region novogo razvitiya]: a monograph. Moscow: The Whole World, 2008. 508 p. (rus)
8. Voroncova O.N., Ajukasova L.K., Lekareva N.A. Typology of depressive communal areas in a Russian town. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020. Vol. 775. 012061. Pp. 1–5. DOI: 10.1088/1757-899X/775/1/012061.
9. Golovin A. Compact city as a system of managed development [Kompaktnyj gorod kak sistema upravlyaemogo razvitiya]. Ufa: a look into the future: report on the results of the working session on the city development strategy 2013. URL: <http://urbanbairam.ru/2013> (accessed 07.05.2022). (rus.)
10. Akhmedova E.A., Lekareva N.A. Urban economic aspects of urban land assessment from the standpoint of investment attractiveness [Gradoekonomicheskie aspekty ocenki gorodskih zemel' s pozicij investicionnoj privlekatel'nosti]. Volga Scientific Journal. 2016. No. 4(40). Pp. 149–154. (rus)
11. Lekareva N.A., Zaslavskaya A.Yu. Territorial and spatial resources. Urban planning strategies of the city [Territorial'no-prostranstvennye resursy. Gradostroitel'nye strategii goroda]. LAP LAMBERT Academic Publishing. 2014. 104 p. (rus.)
12. Mubarakshina M.M., Vorontsova O.N., Lekareva N.A. Assessment of the quality of the urban environment on the example of the city of Orenburg [Ocenka kachestva gorodskoj sredy na primere goroda Orenburga]. Bulletin of Civil Engineers. 2020. No. 2(79). Pp. 22–28. (rus)
13. Popryadukhin, R.N. It's not easy to make a city [Delat' gorod ne prosto]. Penza.: Printing house of IP Popova M.G. "Copy-Rizo", 2012. 300 p. (rus)
14. The official website of "Moderna Museet Malmo". URL: <https://www.modernamuseet.se/malmo/en/category/moderna-museet-malmo-2/> (accessed: 04/17/2020). (rus.)
15. Archdaily: Moderna Museet Malmo - Tham & Videgard Arkitekter. URL: <https://www.archdaily.com/55428/moderna-museet-malmo-tham-videgard-arkitekter> (date of reference: 17.04.2020).
16. Iordanov S. "Port Sevkabel": A new life after the opening [Novaya zhizn' posle otkrytiya]. URL: <https://www.the-village.ru/city/city-guide/326053-port-sevkabel-2-0> (date of reference: 19.10.2020) (rus)
17. Babenko G.V. Socio-economic realities and prospects for the development of historical centers of Russian cities and methodological support for solving this problem [Social'no-ekonomicheskie realii i perspektivy razvitiya istoricheskikh centrov rossijskikh gorodov i metodicheskoe obespechenie resheniya dannoj zadachi]. Economic problems of regions and industrial complexes. 2013. No. 9. Pp. 241–245. (rus)
18. Devyatova Yu.A. An integrated approach to architectural design in a historical urban environment [Kompleksnyj podhod k arhitekturnomu proektirovaniyu v istoricheskoy gorodskoj srede] Arhitekton: izvestiya vuzov. 2016. No. 53. Pp. 48–52. (rus)
19. Krogius V.R. Historical cities of Russia as a phenomenon of its architectural heritage [Istoricheskie goroda Rossii kak fenomen ee arhitekturnogo naslediya]. M.: Progress-Tradition, 2009. 312 p. (rus)
20. Pasechnik I.L., Marushina N.V. The category of value in the theory and practice of preserving the historical urban environment (in the context of preserving ordinary historical buildings) [Kategoriya cennosti v teorii i praktike sohraneniya istoricheskoy gorodskoj sredy (v kontekste sohraneniya ryadovoj istoricheskoy zastrojki)] Bulletin of the Tomsk State University of Architecture and Civil Engineering. 2019. Vol. 21. No. 3. Pp. 9–19. (rus)
21. Baranovsky G.V. Architectural encyclopedia of the second half of the XIX century [Arhitekturnaya enciklopediya vtoroj poloviny XIX veka]. Moscow: V. Shevchuk Publishing House, 2015. 290 p. (rus)

Information about the authors

Vovzhenyak, Polina Yu. Senior lecturer of the Department of Architecture and Urban Planning. E-mail: polina.vov@mail.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Yarmosh, Tatiana S. Candidate of Sociological Sciences, Associate Professor of the Department of Architecture and Urban Planning. E-mail: grand-tanya@yandex.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Received 08.10.2023

Для цитирования:

Вовженяк П.Ю., Ярмош Т.С. Интерпретация как метод исследования в архитектурном проектировании // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2024. №8. С. 66–75. DOI: 10.34031/2071-7318-2024-9-8-66-75

For citation:

Vovzhenyak P.Yu., Yarmosh T.S. Interpretation as a research method in architectural design. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2024. No. 8. Pp. 66–75. DOI: 10.34031/2071-7318-2024-9-8-66-75

DOI: 10.34031/2071-7318-2024-9-8-76-84

Касимова А.Р., Копылова Э.Р.Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет***E-mail: adema-23352@inbox.ru*

ВЛИЯНИЕ ПРИРОДНЫХ ФАКТОРОВ НА АРХИТЕКТУРНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ ОБЪЕКТОВ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО ТУРИЗМА НА ОСОБО ОХРАНЯЕМЫХ ПРИРОДНЫХ ТЕРРИТОРИЯХ КАМЧАТСКОГО КРАЯ

Аннотация. Камчатский край обладает значительным потенциалом для развития экологического туризма на особо охраняемых природных территориях (ООПТ). Однако, в настоящее время наблюдается недостаточное развитие научно-теоретической базы в области архитектурной организации туристских объектов данного направления, в особенности с учетом сохранения и развития уникальных природных систем. На основании этого целью исследования служит выявление приемов архитектурного проектирования объектов экологического туризма на ООПТ Камчатского региона. Задачи исследования направлены на рассмотрение специфики местных природных условий. Методы, применяемые в научной работе – анализ туристских зданий со схожими природными характеристиками и изучение влияния факторов окружающей среды на архитектурное проектирование объектов туризма. В рамках статьи рассмотрены природно-климатические и ландшафтные условия Камчатского края, такие как различные формы рельефа, особенности температурного режима, количество атмосферных осадков и ветровой режим в зависимости от части полуострова. Кроме того, были изучены примеры туристских зданий, размещаемые в искомым или подобных природных условиях. В результате исследования были выявлены различные приемы архитектурного проектирования туристских зданий и сооружений на ООПТ края, среди которых средства формирования генерального плана комплекса, подходы к созданию функционально-планировочной и объемно-пространственной организации структур, а также выбор эффективных конструктивных решений и инженерных технологий эксплуатации объектов. Сделан вывод о том, что предложенные приемы архитектурного проектирования зданий и комплексов будут способствовать формированию объектов экологического туризма на ООПТ Камчатского края с учетом сохранения уникальных природных комплексов региона.

Ключевые слова: Камчатский край, особо охраняемые природные территории, природно-климатические и ландшафтные условия, туристские здания и сооружения, архитектурные приемы проектирования объектов.

Введение. Как известно, огромное влияние на формирование архитектуры имеют природно-климатические и ландшафтные условия местности, а для объектов экологического туризма, размещаемых непосредственно на особо охраняемых природных территориях (ООПТ) данные факторы в совокупности с экологическим критерием, являются определяющими.

В настоящее время в России насчитывается более 13 тысяч ООПТ, что составляет 13,94 % от всей территории [1]. Однако, количество туристских объектов на ООПТ, имеющих как образовательную, так и рекреационную направленность невелико. Во многом это связано с тем, что экологический туризм – развивающееся направление, которое в настоящий момент характеризуется недостаточным развитием научно-теоретической базы, отсутствием методик проектирования зданий и сооружений в уникальных природных условиях. Также, организация туристической деятельности на ООПТ сопряжена с высоким риском нарушения экологического баланса природных систем. К примеру, это подтверждается острой проблемой деградации природных

ландшафтов горного массива Вачкажец Камчатского края вследствие разрушительного антропогенного воздействия [2].

Камчатский край занимает особое место в отечественной системе территорий с природоохранными ограничениями. Структура ООПТ региона характеризуется большим разнообразием и уникальностью природных объектов (Рис.1). В частности, объединение 6 ООПТ, а именно Кроноцкого заповедника, Южно-Камчатского заказника и природных парков «Налычево», «Южно-Камчатский», «Быстринский» и «Ключевской» составляет объект Всемирного наследия ЮНЕСКО – «Вулканы Камчатки» [3]. Другие же природные комплексы, такие как Долина Гейзеров, Авачинский вулкан, Авачинская бухта, Вилючинский перевал, вулкан Горелый и др. стали знаковыми достопримечательностями для всей страны [4]. Отсюда, рассмотрение влияния природных факторов на архитектуру объектов экологического туризма в рамках ООПТ Камчатского края представляется актуальным.

Общим вопросам проектирования и строительства объектов экологического туризма по-

священы работы Али Аль-Самаветли, А.В. Скопинцева, Е.А. Макуриной, П.А. Казанцева, В.А. Савостенко [5, 6]. В исследованиях А.С. Николаевой, Д.И. Дергачевой, Е.Ю. Прокофьевой, А.В. Лабезной, С.Б. Поморова, Ю.Г. Поморовой, В.В. Соколовой и специалистов Агентства стратегических инициатив рассматриваются объекты, непосредственно размещаемые на ООПТ как внутри городских пространств, так и вне их, к примеру – Арктической зоне, Алтайском регионе, природных ландшафтах озера Байкал [7, 8, 9, 10, 11]. Данные работы, как правило, сосредоточены на выявлении принципов формирования

туристских комплексов на ООПТ для отдельных регионов или общих рекомендаций для проектирования объектов инфраструктуры экологического туризма. Среди них выделяется диссертационная работа А.С. Николаевой, одним из результатов которой явились предложенные типичные архитектурные решения для туристско-рекреационных комплексов в природных ландшафтах Байкала, что близко к теме исследования, однако рекомендовано для региона с отличающимися природно-климатическими и ландшафтными характеристиками [7].

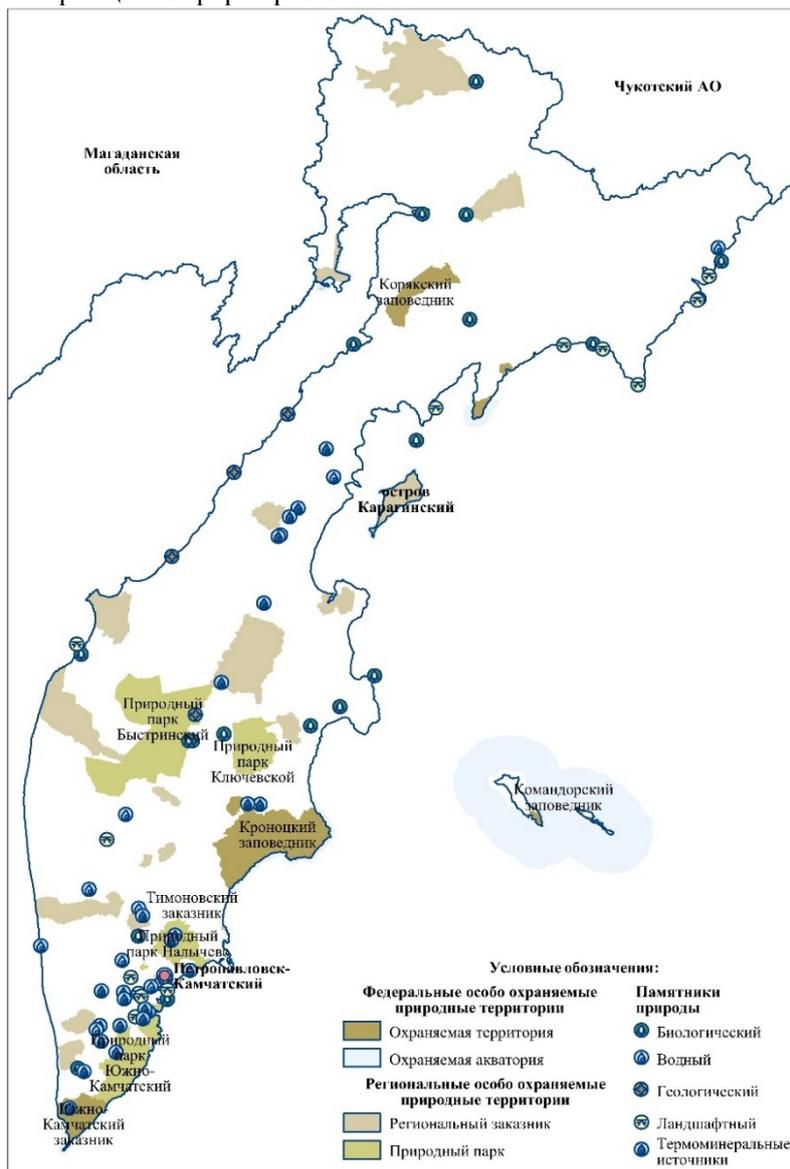


Рис.1. Карта ООПТ Камчатского края

Таким образом, целью исследования является выявление приемов архитектурного проектирования объектов экологического туризма на ООПТ Камчатского края, сложившихся под влиянием природных факторов. Задачей исследования служит – изучение природно-климатических и ландшафтных особенностей Камчатского края,

а также анализ существующих архитектурных решений туристских зданий.

Материалы и методы. Методами исследования являются изучение природно-климатических и ландшафтных особенностей Камчатского края, влияющих на архитектурное проектирова-

ние зданий и анализ архитектурных решений туристских объектов в искомым или схожих условиях.

Основная часть. Камчатский край расположен на полуострове, являющийся частью вулканической горной цепи Большой Курильской гряды [12]. Данная гряда является одной из самых активных вулканических зон на Земле, так из более чем 300 вулканов Камчатки около 30 из них активны. Кроме вулканов, на территории исследуемого региона присутствуют и другие формы рельефа, такие как горные хребты, плато, долины и озера. Особенности Камчатского рельефа оказывают влияние прежде всего на размещение объектов экологического туризма в долинах, у подножья вулканов и сопок, так и на более высоких участках с учетом сейсмостойчивости опорных конструкций зданий. При определении облика зданий и сооружений в подобных условиях обычно применяют архитектурные решения, вписанные в контекст природной среды путем активной интеграции объемов в рельеф местности, включение растительных компонентов в структуру зданий и т.п. В частности, интересными примерами активного включения зданий в

окружающую среду служат спа-комплекс «Blue Lagoon» и визит-центр «Snaefellsstofa» в Исландии (рис. 2) [13, 14].

Спа-комплекс «Blue Lagoon» построен непосредственно в разрезе вулканического ландшафта в геопарке Рейкьянес. Он органично вписывается в изрезанную местность геотермальной лагуны, утопая в ее трещинах и разломах. Лавовые породы используются в различных формах как экстерьерного, так и интерьерного пространства начиная от наружных стеновых панелей и заканчивая стойкой отеля, выполненной из лавы, добытой на месте строительства [13]. Это позволяет создать эффект проникновения природы во внутреннее пространство здания. В концепции визит-центра «Snaefellsstofa» лежит образ ледника. Архитекторами было задумано, что посетители это альпинисты, поднимающиеся на ледник пешком, т.к. здание стоит вдалеке от автостоянки, которая визуальна отделена от объема за счет растительности и ландшафта. Визит-центр органично вписан в рельеф местности за счет спускающихся уровней-этажей, фасад здания отделан панелями из местной лиственницы, а крыша здания озеленена [14].



Рис. 2. Аналоги объектов, вписанные в контекст природной среды:
а – спа-комплекс «Blue Lagoon»; б – визит-центр «Snaefellsstofa»

В части конструктивных решений зданий и сооружений, размещаемых в местах разнообразного рельефа в том числе сейсмически активного, применяют устройство конструктивных систем зданий с жесткими или гибкими амортизаторами, организацию фундаментов на свайном основании, разделение при сложной форме части объектов антисейсмическими швами, выполнение стен из дерева и др.

Результатом вулканической активности региона являются многочисленные гейзеры, горячие источники и термальные ванны, в связи с

этим целесообразно активно включать в функциональный состав комплексов бассейны с термальной водой, бани, купели. К примеру, это наблюдается в комплексе гостевых домов на кордоне «Центральный» природного парка Налычево в Камчатском крае и в вышеупомянутом спа-комплексе «Blue Lagoon» [13, 15]. Также стоит отметить мощный энергоэффективный потенциал территории для использования альтернативных источников энергии, к примеру тепловой энергии вулканов и гейзеров, которые воз-

можно использовать для формирования автономных инженерных систем удаленных туристских комплексов.

Климат Камчатского края вследствие географического положения и влияния океана имеет уникальные особенности [12]. В центральной части полуострова континентальный климат с холодной зимой и теплым летом, на побережье – океанический климат с мягкой зимой и прохладным летом. Вследствие влияния холодного Охотского моря на западе полуострова температуры в зимний и летний период ниже, чем на востоке. В январе в северной и центральной части полуострова температура может достигать от -35°C до -40°C , в то время как на юго-восточном побережье она колеблется в пределах от -5°C до -10°C и редко падает ниже -20°C . В июле в центральной части полуострова температура днем может достигать до $+30^{\circ}\text{C}$, а на юго-востоке региона быть от $+20^{\circ}\text{C}$ до $+15^{\circ}\text{C}$. Зима на Камчатке длится с ноября по март, на крайнем севере полуострова — с октября по апрель.

Температура и продолжительность сезонов влияют на разделение объектов экологического туризма по сезонности работы. Например, в центральной и западной части полуострова возможно создание объектов экологического туризма, работающих преимущественно в зимний или летний период. Для теплого периода здания в данных объектах могут быть представлены легкими каркасными конструкциями с небольшим утеплением либо сборными типовыми объемами. Для холодного периода при строительстве подобных объектов следует учитывать следующие аспекты: формирование объемно-пространственных структур зданий, тяготеющих к компактным сферическим или шарообразным формам для повышения их энергоэффективности; использование для конструкций стен древесины, позволяющей создавать комфортный микроклимат в помещениях; уменьшение площади остекления для снижения теплопотерь через оконные проемы. Объекты, располагающиеся на юге и востоке полуострова, тяготеющие к побережью, могут быть круглогодичными, однако к ним предъявляются схожие требования. Воплощением построек, отвечающих сложным климатическим условиям, являются купола кемпинга на озере Начикинское в одноименном заказнике Камчатского края [16]. Купола имеют шатровую каркасно-тентовую конструкцию.

Атмосферные осадки в Камчатском крае значительны, так в среднем в год выпадает более 1000 мм, тогда как на юго-восточном побережье полуострова до 2500 мм [12]. Количество осадков зависит от местности, так в центральной и за-

падной части полуострова большая часть осадков приходится на зимний период в виде снега, тогда как на юге и востоке на летний - в виде дождя. В южной части полуострова, где в основном сосредоточены населенные пункты высота снежного покрова достигает 2,5-3 м, тогда в предгорьях может достигать до 13-14 м, а в некоторых районах на горных вершинах лежит «вечный снег». По этой причине стоит острая необходимость в защите строительных конструкций от снеговой нагрузки и снегоуборки территорий. Например, объемно-пространственное решение туристских зданий должно иметь простую форму без выступов, углублений и переломов, крыши должны быть скатными, уровень первого этажа объемов должен быть значительно приподнят над уровнем земли при помощи опор и столбов для предотвращения снеготаносов. В летний период возможно размещение сборных типовых блоков (контейнеры) на подобных столбах и опорах, тогда как зимой необходима их транспортировка на малозаснеженные участки. Поднятие зданий на опоры позволяет сохранять почвенно-растительный слой местности, что отвечает принципам устойчивой архитектуры. Для территорий на местности с высоким снежным покровом применяются различные приемы сокращения площади ее затененности для активного таяния снега - угловая и дуговая планировочная конфигурация здания, скошенные торцы и углы построек, раскрытие объемов в сторону юга и т.п. Удачными примерами противостояния зданий значительным атмосферным осадкам за счет формы, конструктивного и технологического решения служат туристский приют «House for the Heart» и отель «Ion» в Исландии (Рис.3) [17, 18].

Туристский приют «House for the Heart» представляет собой автономный модульный дом, который спроектирован для местности с экстремальными условиями. Здание имеет г-образную планировку и совместно с террасой образует квадрат в плане. Приют противостоит суровым условиям местности за счет компактной формы, расположения объема на свайном фундаменте неглубокого заложения, выполнения стен дома из деревянных панелей с утеплением и формированием односкатной крыши с организацией сбора дождевой и талой воды. Также концепцией здания предполагается формирование замкнутой системы энерго и водоснабжения [17]. Отель «Ion», располагающийся недалеко от национального парка Тингвеллир словно вырастает из земли, возвышаясь над горным массивом на колоннах [18]. Объемно-пространственное решение постройки характеризуется пересечением трех параллелепипедов, часть из которых имеет

двухскатную крышу, а часть плоскую. Здание собрано из экологически безвредных панелей mnmMOD, запатентованных архитектурным бюро «Minarc» [19]. Помимо этого, при строительстве объекта были широко использованы пе-

реработанные строительные и отделочные материалы – моренная древесина, базальт, резина и т.д. Инженерная геотермальная система здания основана на многочисленных горячих источниках, расположенных вокруг здания.



Рис. 3. Аналоги объектов, архитектурное решение которых соответствует значительным снеговым нагрузкам:
а – туристский приют «House for the Heart»; б – отель «Ion»

Камчатский край характеризуется активным ветровым режимом со среднегодовой скоростью ветра 1–2 м/сек во внутренних районах, 5–6 м/сек на западном и 6–9 м/сек восточном побережье. Максимальная скорость ветра наблюдается в холодный период года, так на востоке полуострова она достигает 40 м/сек и на западе 25–35 м/сек., летом же ветровой поток уменьшается, но не значительно [12]. Ветровая нагрузка определяет ряд архитектурных решений объектов экологического туризма, среди которых: застройка малоэтажными зданиями; компактные, обтекаемые формы сооружений с равными пропорциями объемов; устройство легких построек на свайных фундаментах с закрытием цокольной части; скатная кровля зданий и компоновка зданий и соору-

жений без дополнительных стыковочных элементов – переходов и без перепадов по высоте. Также, при наличии господствующих ветров один из скатов крыши должен быть ориентирован таким образом, чтобы ветер сносил с кровли снег. Примерами структур, способных выдержать мощную ветровую нагрузку служат сферические модули в глэмпингах Камчатского края «Tolbachik camp» в природном парке Ключевской и «Vilyuchik camp» в Южно-Камчатском природном парке (рис. 4) [20]. Конструкция шатров представляет собой геодезический купол, в основе каркаса которой лежат треугольные связи, образующие прочную архитектурную сеть. Каркас обтягивается светопрозрачными материалами для тентов.



Рис. 4. Аналоги объектов, архитектурное решение которых соответствует значительным ветровым нагрузкам:
а – глэмпинг «Tolbachik camp»; б – глэмпинг «Vilyuchik camp»

В результате исследования были определены основные архитектурные приемы проектирования объектов экологического туризма на

ООПТ, сложившиеся под влиянием природных факторов Камчатского края (рис. 5).

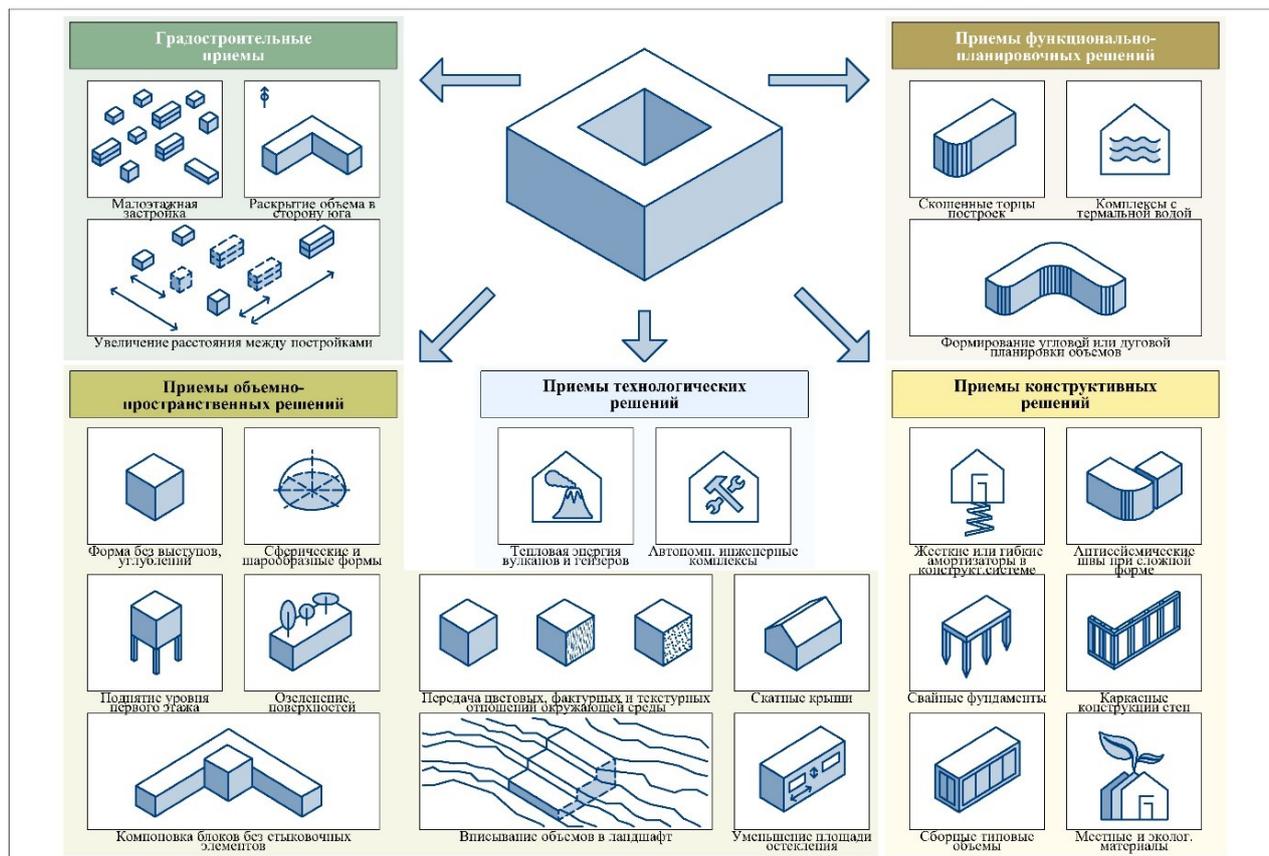


Рис. 5. Приемы архитектурного проектирования объектов экологического туризма на ООПТ, сложившиеся под влиянием природных факторов Камчатского края

Выводы. Уникальная природа Камчатского края является важнейшим фактором, определяющим градостроительные, функционально-планировочные, объемно-пространственные, конструктивные и технологические решения объектов экологического туризма на ООПТ. Среди основных архитектурных приемов проектирования были выделены следующие:

- в части генерального плана туристского комплекса: застройка территории малоэтажными зданиями и раскрытие объемов в сторону юга, а также увеличение расстояния между постройками для сокращения площади затененности участка проектирования;

- в части функционально-планировочного решения туристских зданий: формирование угловой или дуговой планировочной конфигурации объема, создание скошенных торцов построек и включение в состав комплексов – бассейнов, баней и купелей с термальной водой;

- в части объемно-пространственного решения туристских зданий: организация простой формы строения без выступов, углублений и переломов, стремление к формированию компактных сферических или шарообразных структур,

вписывание объемов в контекст природной среды как посредством формы, так и включением озелененных поверхностей и максимальной передачи цветовых, фактурных и текстурных отношений окружающей среды, при компоновке отдельных блоков соединение их без дополнительных стыковочных элементов, значительное поднятие уровня первого этажа с закрытием цокольной части сооружения, уменьшение площади остекления здания и устройство скатных крыш;

- в части конструктивного решения туристских зданий: устройство конструктивных систем зданий с жесткими или гибкими амортизаторами, разделение сложной формы строений антисейсмическими швами, организация фундаментов на свайном основании, применение каркасных конструкций стен, как правило из древесины с малым утеплением, использование сборных типовых объемов (контейнеров) для сокращения сроков строительства и внедрение местных и экологически чистых строительных материалов в экстерьер и интерьер объектов;

- в части технологического решения туристских зданий: активное внедрение инженерных систем, использующих тепловую энергию

вулканов и гейзеров, а также автономных комплексов электро и водоснабжения.

Данные приемы архитектурного проектирования туристских зданий и комплексов будут способствовать формированию объектов экологического туризма на ООПТ Камчатского края с учетом сохранности природных комплексов и оптимального взаимодействия окружающей среды и архитектуры.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Лебедева С.А., Паткина Е.В. Барьеры развития экологического туризма и пути их преодоления // Экономика, предпринимательство и право. 2021. Т.11. № 5. С. 1271–1288. DOI: 10.18334/epp.11.5.112046
2. Примак Т.И. Камчатка: неконтролируемое антропогенное воздействие на природные комплексы // Наука и образование: отечественный и зарубежный опыт: труды международной научно-практической конференции Белгород, 31 августа 2021 года. Белгород: издательство ООО ГиК. 2021. С. 129–136.
3. Вулканы Камчатки. [Электронный ресурс]. URL: <https://whc.unesco.org/ru/list/765> (дата обращения 12.04.2024).
4. Якубова Н.И. Камчатка. Путеводитель. М.: Бомбора, 2021. 200 с.
5. Али Аль-Самаветли, Скопинцев А.В. Формирование архитектуры туристических объектов в водно-болотной местности Южного Ирака // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2023. № 9. С. 62–72. DOI: 10.34031/2071-7318-2023-8-9-62-72
6. Макурина Е.А., Казанцев П.А., Савостенко В.А. Основные принципы формирования архитектуры для экологического туризма // Архитектура и дизайн: история, теория, инновации: материалы третьей международной научной конференции Владивосток, 17-19 апреля 2017 года. Владивосток: издательство ДФУ. 2017. № 2. С. 123–129.
7. Николаева А.С. Архитектура туристско-рекреационных комплексов в природных ландшафтах озера Байкал: дис. ... канд.арх.: 2.1.12 / А.С. Николаева. – Нижний Новгород. 2023. 314 с.
8. Дергачева Д.И. Проблемы формирования общественных пространств на особо охраняемых природных территориях, включенных в структуру города // Пространственные данные: наука и технологии. 2021. № 12. С. 117–123. DOI: 10.30533/scidata-2021-12-117-123
9. Прокофьева Е.Ю., Лабезная А.В. Принципы формирования туристско-рекреационных кластеров на особо охраняемых природных территориях в Арктической зоне // Academia. Архитектура и строительство. 2021. № 1. С. 48–57. DOI: 10.22337/2077-9038-2021-1-48-57
10. Поморов С.Б., Поморова Ю.Г., Соколова В.В. Принципы формирования визит-центров в составе особо охраняемых природных территорий в Алтайском регионе // Ползуновский альманах. 2023. Т.1. № 2. С. 74–80.
11. Руководство по проектированию объектов инфраструктуры на ООПТ / под ред. Глобова К. М.: издательство АНО «Агентство стратегических инициатив по продвижению новых проектов». 2019. 362 с.
12. Камчатка. Большая российская энциклопедия. [Электронный ресурс]. URL: <https://bigenc.ru/c/kamchatka-042ba4> (дата обращения 12.04.2024).
13. Уединение в Голубой лагуне Исландии [Электронный ресурс]. URL: <https://www.archdaily.com/985770/the-retreat-at-blue-lagoon-iceland-basalt-architects> (дата обращения 13.04.2024).
14. Визит-центр «Snaefellsstofa». [Электронный ресурс]. URL: <https://www.archdaily.com/93050/snaefellsstofa-visitor-center-arkis-architects> (дата обращения 13.04.2024).
15. Инфраструктура природного парка «Нальчево». [Электронный ресурс]. URL: https://vulkanikamchatki.ru/territoriya/klaster_nalyshevskij/infrastruktura_parka/ (дата обращения 13.04.2024).
16. Кемпинг на озере Начикинское. [Электронный ресурс]. URL: <https://nachikinskoe.ru/> (дата обращения 12.03.2024).
17. Исландский отель «House for the Heart» предлагает уникальный экологически чистый микротуризм [Электронный ресурс]. URL: <https://architizer.com/blog/practice/details/house-for-the-heart/> (дата обращения 13.04.2024).
18. Отель «Ion». [Электронный ресурс]. URL: https://www.archdaily.com/451811/ion-hotel-minarc?ad_source=search&ad_medium=projects_tab (дата обращения 13.04.2024).
19. Обзор mnmMOD. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.prefabreview.com/blog/mnmmod-review> (дата обращения 13.04.2024).
20. Глэмпинг на Камчатке. [Электронный ресурс]. URL: <https://landofbears.ru/glamping/> (дата обращения 13.04.2024).

Информация об авторах

Касимова Адема Рамазановна, кандидат архитектуры, доцент кафедры архитектуры. E-mail: adema-23352@inbox.ru. Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет. Россия, 129337, Москва, Ярославское шоссе, д. 26.

Копылова Эвелина Романовна, магистр кафедры архитектуры. E-mail: ev.kopic08@mail.ru. Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет. Россия, 129337, Москва, Ярославское шоссе, д. 26.

Поступила 17.04.2024 г.

© Касимова А.Р., Копылова Э.Р., 2024

***Kasimova A.R., Kopylova E.R.**

National research Moscow state University of civil engineering

**E-mail: adema-23352@inbox.ru*

THE INFLUENCE OF NATURAL FACTORS ON THE ARCHITECTURAL DESIGN OF ECOTOURISM FACILITIES IN SPECIALLY PROTECTED NATURAL TERRITORIES OF THE KAMCHATKA TERRITORY

Abstract. *The Kamchatka Territory has significant potential for the development of ecological tourism in specially protected natural areas (protected areas). However, currently there is insufficient development of the scientific and theoretical base in the field of architectural organization of tourist facilities in this area, especially taking into account the preservation and development of unique natural systems. Based on this, the purpose of the study is to identify methods of architectural design of ecotourism facilities in protected areas of the Kamchatka region. The objectives of the study are aimed at considering the specifics of local natural conditions. The methods used in scientific work are the analysis of tourist buildings with similar natural characteristics and the study of the influence of environmental factors on the architectural design of tourism facilities. The article considers the natural, climatic and landscape conditions of the Kamchatka Territory, such as various landforms, temperature conditions, precipitation and wind conditions depending on the part of the peninsula. In addition, examples of tourist buildings placed in the desired or similar natural conditions were studied. As a result of the study, various methods of architectural design of tourist buildings and structures in the protected areas of the region were identified, including means of forming a master plan of the complex, approaches to creating functional planning and spatial organization of structures, as well as the choice of effective design solutions and engineering technologies for the operation of facilities. It is concluded that the proposed methods of architectural design of buildings and complexes will contribute to the formation of ecotourism facilities in the protected areas of the Kamchatka Territory, taking into account the preservation of the unique natural complexes of the region.*

Keywords: *Kamchatka Territory, specially protected natural territories, climatic and landscape conditions, tourist buildings and structures, architectural techniques for designing objects.*

REFERENCES

1. Lebedeva S.A., Patkina E.V. Barriers to ecotourism development and ways to overcome them [Bareri razvitiya ekologicheskogo turizma i puti ikh preodoleniya]. *Ekonomika, predprinimatelstvo i pravo*. 2021. T. 11. No. 5. Pp. 1271–1288. DOI: 10.18334/epp.11.5.112046. (rus)
2. Primak T.I. Kamchatka: uncontrolled anthropogenic impact [Kamchatka: nekontroliruemoe antropogennoe vozdeistvie]. *Nauka i obrazovanie: otechestvennii i zarubezhnii opit: trudi mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii*, Belgorod, 31 avgusta 2021 goda. Belgorod: izdatelstvo OOO GiK. 2021. Pp. 129–136. (rus)
3. Volcanoes of Kamchatka [Vulkani Kamchatki]. URL: <https://whc.unesco.org/ru/list/765> (accessed 12.04.2024)
4. Yakubova N.I. Kamchatka. A travel guide [Kamchatka. Putevoditel]. Moscow: Bombora. 2021. 200 p. (rus)
5. Ali Al-Samawetli, Skopincev A.V. Formation of the architecture of tourist objects in the wetland of Southern Iraq. [Formirovanie arkhitekturi turisticheskikh obektov v vodnopolotnoi mestnosti Yuzhnogo Iraka]. *Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov*. 2023. No. 9. Pp. 62–72. DOI: 10.34031/2071-7318-2023-8-9-62-72. (rus)
6. Makurina E.A., Kazantsev P.A., Savostenko V.A. Main principles of formation architectures for ecotourism [Osnovnie printsiipi formirovaniya arkhitekturi dlya ekologicheskogo turizma]. *Arkhitektura i dizain: istoriya, teoriya, innovatsii: materialy tretei mezhdunarodnoi nauchnoi konferentsii Vladivostok, 17-19 aprelya 2017 goda*. Vladivostok: izdatelstvo DFU. 2017. No. 2. Pp. 123–129. (rus)

7. Nikolaeva A.S. Architecture of tourist and recreational complexes in the natural landscapes of Lake Baikal [Arkhitektura turistsko-rekreacionnikh kompleksov v prirodnikh landshaftakh ozera Baikal]: dissertatsiya kandidata arhitektury: 2.1.12. Nizhnij Novgorod. 2023. 314 p. (rus)

8. Dergacheva D.I. Problems of the formation of public spaces in specially protected natural areas included in the structure of the city [Problemi formirovaniya obshchestvennikh prostranstv na osobo okhranyaemikh prirodnikh territoriyakh, vklyuchennikh v strukturu goroda]. Prostranstvennie dannie: nauka i tekhnologii. No. 12. Pp. 117–123. DOI: 10.30533/scidata-2021-12-117-123. (rus)

9. Prokofyeva E. Yu., Labeznaya A.V. The formation principles of the tourist recreational clusters located at special protection areas of the Arctic zone [Printsipi formirovaniya turistsko-rekreacionnikh klasterov na osobo okhranyaemikh prirodnikh territoriyakh v Arkticheskoi zone]. Academia. Arkhitektura i stroitelstvo. 2021. No. 1. Pp. 48–57. DOI: 10.22337/2077-9038-2021-1-48-57. (rus)

10. Pomorov S.B., Pomorova Yu.G., Sokolova V.V. Principles of the formation of business centers as part of specially protected natural areas in Altai region [Printsipi formirovaniya vizit-tsentrov v sostave osobo okhranyaemikh prirodnikh territorii v altaiskom regione]. Polzunovskii almanakh. 2023. T. 1. No. 2. Pp. 74–80. (rus)

11. Guidelines for the design of infrastructure facilities in protected areas [Rukovodstvo po proektirovaniyu obektov infrastrukturi na OOPT]. pod red. Globova K. Moscow: izdatelstvo ANO Agentstvo strategicheskikh initsiativ po prodvizheniyu novikh proektov. 2019. 362 p. (rus)

12. Kamchatka. The Great Russian Encyclopedia [Kamchatka. Bolshaya rossiiskaya entsiklopediya]. URL: <https://bigenc.ru/c/kamchatka-042ba4> (accessed 12.04.2024). (rus)

13. The Retreat at Blue Lagoon Iceland [Uedinenie v Goluboi lagune Islandii]. URL: <https://www.archdaily.com/985770/the-retreat-at-blue-lagoon-iceland-basalt-architects> (accessed 13.04.2024)

14. Snaefellsstofa Visitor Center [Vizit-tsentr Snaefellsstofa]. URL: <https://www.archdaily.com/93050/snaefellsstofa-visitor-center-arkis-architects> (accessed 13.04.2024)

15. Infrastructure of the Nalychevo Nature Park [Infrastruktura prirodnogo parka Nalichevo]. URL: https://vulkanikamchatki.ru/territoriya/klaster_nalychevskij/infrastruktura_parka/ (accessed 13.04.2024). (rus)

16. Camping on Lake Nachikinskoe [Kemping na ozere Nachikinskoe]. URL: <https://nachikinskoe.ru/> (accessed 13.04.2024). (rus)

17. Iceland's house for the heart offers a unique, eco-friendly micro-tourism experience [Islandskii otel «House for the Heart» predlagaet unikalnii ekologicheskii chistii mikroturizm]. URL: <https://architizer.com/blog/practice/details/house-for-the-heart/> (accessed 13.04.2024)

18. Ion Hotel [Otel Ion]. URL: https://www.archdaily.com/451811/ion-hotel-minarc?ad_source=search&ad_medium=projects_tab (accessed 13.04.2024)

19. mnmMOD review [Obzor mnmMOD]. URL: <https://www.prefabreview.com/blog/mnmmod-review> (accessed 13.04.2024)

20. Glamping in Kamchatka [Glamping na Kamchatke]. URL: <https://landofbears.ru/glamping/> (accessed 13.04.2024). (rus)

Information about the authors

Kasimova, Adema R. PhD, Assistant professor. E-mail: adema-23352@inbox.ru. National research Moscow state University of civil engineering, Russia, 129337, Moscow, Yaroslavskoe shosse, 26.

Kopylova, Evelina R. Master. E-mail: ev.kopic08@mail.ru. National research Moscow state University of civil engineering, Russia, 129337, Moscow, Yaroslavskoe shosse, 26.

Received 17.04.2024

Для цитирования:

Касимова А.Р., Копылова Э.Р. Влияние природных факторов на архитектурное проектирование объектов экологического туризма на особо охраняемых природных территориях Камчатского края // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2024. №8. С. 76–84. DOI: 10.34031/2071-7318-2024-9-8-76-84

For citation:

Kasimova A.R., Kopylova E.R. The influence of natural factors on the architectural design of ecotourism facilities in specially protected natural territories of the Kamchatka territory. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2024. No. 8. Pp. 76–84. DOI: 10.34031/2071-7318-2024-9-8-76-84

DOI: 10.34031/2071-7318-2024-9-8-85-97

Орехов А.Н.

Южный федеральный университет

E-mail: orehov_alexander44@mail.ru

КИРПИЧНЫЙ «СТИЛЬ» В АРХИТЕКТУРЕ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ РОСТОВА-НА-ДОНУ КОНЦА XIX – НАЧАЛА XX ВЕКОВ

Аннотация. Здания учебных заведений в период конца XIX – начала XX веков являются одним из важнейших элементов формирования архитектурной среды провинциальных городов, в том числе Ростова-на-Дону. Здания гимназий, коммерческих, приказческих, технических училищ нередко составляли своеобразный пространственный каркас центральной части города, являясь уникальными объектами. Начальные училища, имевшие общие типичные черты, были частью центрального ядра отдельных жилых районов, в том числе периферийных. Вне зависимости от статуса и уровня учебного заведения, количества учащихся и его места в структуре города, большинство учебных зданий начального, среднего и средне-специального образования были построены в кирпичном «стиле». При этом следует отметить многообразие художественных приемов, определяющих облик учебных зданий различного типа. Помимо так называемого «усредненного кирпичного "стиля"» в архитектуре большинства начальных училищ широко распространены более сложные приемы решения фасадов: обращение к стилизованным формам средневековой и древнерусской архитектуры, решение в кирпиче классических деталей, сочетания упрощенного геометризованного декора с формами в стиле модерн, сочетание светлого и красного кирпича. На основе исследования автором сформирована схема расположения и схема современного состояния учебных заведений в Ростове и Нахичевани выполненных в кирпичном «стиле».

Ключевые слова: кирпичный «стиль», архитектура Ростова-на-Дону, Ольгинское 4 городское женское училище, Мужская классическая гимназия, здание соединенного среднего механико-химико-технического и ремесленного училища, Ростовское Городское коммерческое училище.

Введение. Первые постройки в Ростове-на-Дону, относящиеся к кирпичному «стилю», были исключительно утилитарного назначения: «Фабричные здания и склады, мельницы и конторы, массовое строительство которых относится к 1860–1900-м гг., сооружались, как правило, в кирпичном "стиле"» [1]. Эта популярность обусловлена быстрыми сроками возведения, экономичностью, доступностью и долговечностью материала. Здания транспортной архитектуры – такие как вокзалы – способствовали проникновению кирпичного «стиля» в архитектуру общественных зданий так как приоритетным строительством было в кирпичном исполнении [2]. «В архитектуру общественных и жилых зданий Ростова кирпичный "стиль" приходит несколько позже (1880-90-е гг.), при этом утратив лаконичность форм и скупость декора. Яркими примерами стали: Дом трудолюбия Максимова, здание классической гимназии (1877), коммерческое училище (1902-1904 гг.), дом Д. Мартина (1893 г.) - все это работы Н.М. Соколова» [3]. Главный признак кирпичного «стиля» – выявление эстетических характеристик строительного материала, открытой кирпичной кладки – отвечал и практическим устремлениям заказчиков не только утилитарных зданий. Разные по назначению здания демонстрируют разнообразие подходов к декора-

тивному убранству фасадов. Так, например, архитектурное убранство главного восточного фасада Дома трудолюбия Максимова в Ростове-на-Дону выражено многочисленным кирпичным декором. «Оконные проемы полуциркулярной конфигурации украшены килевидными кокошниками. Пилястры, расположенные в простенках на северном ризалите, декорированы нишами в верхней части и стилизованной профилированной венчающей капителью. (...) На центральной раскреповке южной части главного восточного фасада расположены встроенные подоконные ниши, своеобразный портал из полуколонн с капителями-кубышками и щипцеобразным фронтоном с вставкой в форме креста над ним» [4]. А вот корпуса Николаевской городской больницы, также принадлежащие авторству архитектора Н.М. Соколова, расположенные рядом с Домом трудолюбия, характеризуются большей сдержанностью декоративного решения, простотой форм кирпичного «стиля».

Кирпичный «стиль» получил широкую популярность среди архитектуры разной типологии и сегодня в значительной степени формирует облик исторических центров не только Ростова-на-Дону, но и других городов Юга России [5].

К настоящему времени исследователями региональной архитектуры были описаны многие здания, относящиеся к кирпичному «стилю»,

была сформулирована периодизация распространения признаков кирпичного «стиля» в архитектуре зданий различного назначения [3]. Вместе с тем возможно уточнение временных границ отдельных этапов распространения кирпичного «стиля» с учетом введения в научных оборот новых данных и расширения круга изученных объектов. Актуальной является и конкретизация художественных приемов, применяемых в рамках кирпичного «стиля» для декорирования фасадов зданий различных типологических групп.

Цель данного исследования – выявление особенностей художественных приемов кирпичного «стиля», определяющих облик учебных зданий Ростова-на-Дону различного типа: начальных училищ, гимназий, специализированных учебных заведений среднего и средне-специального образования. Были составлены следующие *задачи исследования*: 1) выявить и изучить количество, локализацию и типы учебных заведений в кирпичном «стиле»; 2) проанализировать архитектурно-художественные решения объектов; 3) рассмотреть наиболее показательные объекты.

Объектом исследования выступают объемно-пространственные и архитектурно-декоративные решения учебных заведений в кирпичном «стиле» в Ростове и Нахичевани на Дону.

Методология. Достижение поставленной цели потребовало всестороннего изучения ряда объектов учебной архитектуры Ростова-на-Дону. Основанием послужили архивные материалы ГАРО, историческая литература ДГПБ, и результаты визуального обследования изучаемых объектов. Рассматриваемые объекты изучались в сравнении с аналогичными объектами архитектуры в других городах региона и страны в целом. Были изучены учебные заведения в Таганроге, Новочеркасске, Краснодаре (Екатеринодаре). Применялись методы историко-архивных и натуральных исследований, выполнен сравнительный анализ некоторых произведений и их характерных деталей, искусствоведческий и графический анализ учебных зданий. Также был использован сравнительный анализ с материалами предыдущих исследований, что помогло сформировать достоверные выводы.

Основная часть. Архитектура Юга России наполнена историческими объектами, относящимися к кирпичному «стилю». Практицизм заказчиков среди купечества и промышленников, потребность в новых типах утилитарной архитектуры, наличие материально-сырьевой базы, а также популярность направления среди региональных архитекторов, приобретенная в ходе их профессиональной подготовки в том числе в столичных учебных заведениях (в первую очередь –

в Институте гражданских инженеров в Санкт-Петербурге) оказали влияние и предопределили перспективы дальнейшего развития кирпичного «стиля» в регионе.

«В последней четверти XIX в. намного раньше других общественных зданий начинается массовое сооружение в кирпичном "стиле" учебных заведений. Гимназии, училища, школы, образование которых относится к 1870-1880-м гг., когда при наличии ограниченных финансовых возможностей ведется одновременное сооружение целого ряда значительных учебных заведений, получают собственные здания, относящиеся как, правило к "кирпичной" архитектуре. Наряду с требованиями функционального удобства здания, ведущими в школьной архитектуре становятся также экономичность, прочность, удобство эксплуатации, чему во многом соответствует кирпичный "стиль"» [6].

Бурный рост отмечается и кирпичного производства, который приходится на вторую половину XIX в. Стоит отметить, за вторую половину XIX в. изменялось и административно-территориальное деление, однако этот факт не сыграл большой роли при определении динамики развития кирпичных предприятий. Так по состоянию на 1846 г. зафиксировано 3 кирпичных и известковых производства в Ростове [7]. К 1900 г. – в Ростове и Нахичевани насчитывается по 9 кирпичных заводов [8], а к 1914 г. – 17 на Ростов и Нахичевань вместе [9]. На территории Области Войска донского же на 1900 г. отмечалось 261 завод по производству кирпичной и черепичной продукции [10], а к 1913 г. - 419 производств [11].

С 1911 г. в Ростове начинают выпускать силикатный кирпич, который довольно быстро стал применяться в строительстве общественных зданий, в частности и для учебных заведений [12]. Силикатный кирпич расширил художественные возможности решений кирпичных фасадов. Ярким примером такого использования является Женская гимназия Филиппьевой (1915 г.).

«Быстрое увеличение населения и необходимость высококвалифицированных специалистов на производствах приводят к увеличению учебных заведений разного уровня. Формируется целая сеть учебных заведений, часть которой возводится в кирпичном «стиле». Строятся народные одноклассные училища, реальное училище, мужская и женская гимназии. Крупные учебные заведения обретают собственные специально спроектированные по заказу здания» [13]. Одной из ведущих характеристик архитектуры зданий множества крупных учебных заведений в регионе стало использование эстетических свойств открытой кирпичной кладки и кирпичного декора: Петровское реальное училище

(1877 г.), Классическая гимназия, Мужская гимназия Степанова (1915 г.), Женская гимназия Филипповой (1915 г.), городское коммерческое училище (1902–1905 гг.) и Железнодорожное техническое училище (1882 г.) в Ростове; Мариинская женская гимназия (1875 г.) и Коммерческое училище (1908 г.) в Таганроге; Здание городских училищ (1891 г.), Екатерининская женская гимназия (1893 г.) и Мужская гимназия (1912 г.) в Нахичевани; Александровское реальное училище (1907 г.) и Духовное училище в Новочеркасске (1898–1902 гг.) [6].

Современниками отмечалось, что народное образование в Ростове наладилось к периоду 1900–1910-х гг., когда на его нужды город стал выделять свыше 10 процентов своего бюджета [14].

Исследователями отмечалось, что внутри кирпичного «стиля» выделялась еще и манера решения кирпичных фасадов, получившая название «усредненного», которому свойственны были готические, русские и ренессансные мотивы [15]. При данной манере архитектурные элементы фасадов упрощались и обобщались, подгоняя размеры под кратность кирпича.

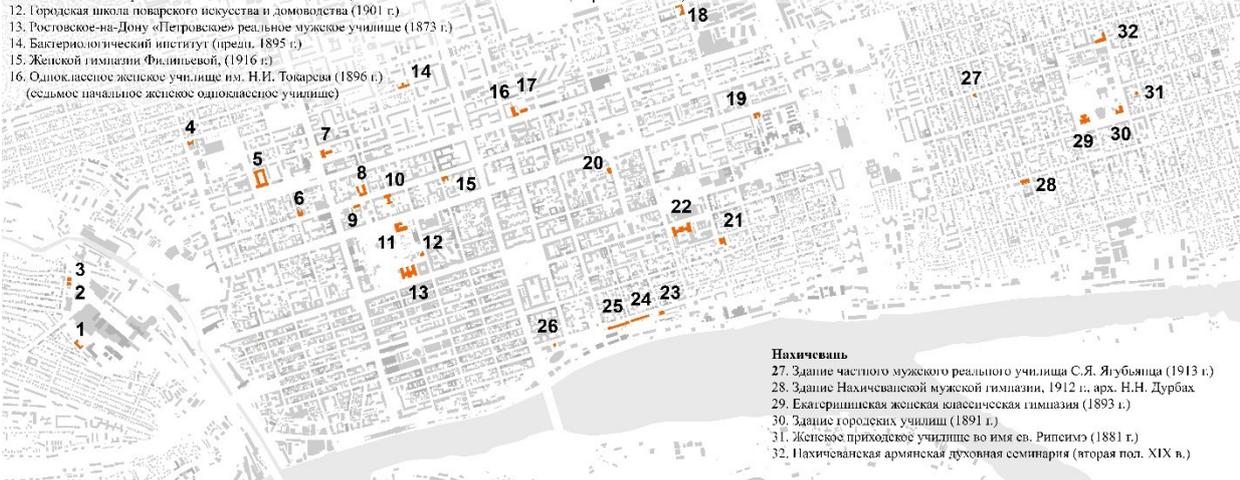
Усредненный кирпичный «стиль» нашел отражение и в архитектуре учебных заведений, в первую очередь, например, в зданиях училища на богатом Источнике (1894–1895 гг.), Торговой школы (1905 г.), Ростовской Екатерининской женской гимназии (1896 г.), Мужской гимназии учр. Н.П. Степановым (1915 г.), а также Главного корпуса Ростовского н/Д соединенного училища дальнего плавания и судовых механиков, торгового флота имени Наследника Цесаревича Алексея Николаевича, августейшего атамана всех казачьих войск, с приготовительной Школой имени графа Коцебу (1914 г.).

Сохранившиеся и изученные данные позволяют составить классификацию образовательных учреждений Ростова-на-Дону, построенных в кирпичном «стиле», и проследить их локализацию в структуре города (рис. 1) [16, 17]. К началу XX в. это средние учебные заведения, женские учебные заведения, технические и ремесленные школы, низшие учебные заведения, женские народные школы, медицинские школы, школы изящных искусств, а также разные спецкурсы и школы.

Ростов

1. Одноклассная Мужская церковно-приходская школа имени Шаховых (предл. 1889 г.)
2. Воскресная школа при Иоанно-Предтеченской церкви (к. XIX в.)
3. Церковно-приходская школа при Иоанно-Предтеченской церкви (к. XIX в.)
4. Городское Новооселенское училище (Здание 7-го городского училища) (к. XIX в.)
5. Ростовское-на-Дону соединенное среднее механико-химико-техническое и ремесленное училище (1896, 1912–1914 гг.)
6. Ростовская на Дону женская гимназия Т.Г. Берберовой (1912 г.)
7. Мужская классическая гимназия (1887–1888 гг.) (Мужская казенная гимназия)
8. Мужская гимназия учр. Н.П. Степановым (1915 г.)
9. Ростовское н/Д Техническое железнодорожное училище (после 1880 г.) (позже Политехникум путей сообщения)
10. Торговая школа (мужская и женская) (1905 г.)
11. Ростовская Екатерининская женская гимназия (1896 г.)
12. Городская школа поварского искусства и домоводства (1901 г.)
13. Ростовское-на-Дону «Петровское» реальное мужское училище (1873 г.)
14. Бактериологический институт (предл. 1895 г.)
15. Женской гимназии Филипповой, (1916 г.)
16. Одноклассное женское училище им. Н.И. Токарева (1896 г.) (сельское начальное женское одноклассное училище)

17. Здание ремесленного училища (позже Общество попечения о детях) к. XIX в.
18. Здание Ольгинского (4-го городского) женского училища
19. Кафедра патологической анатомии донского университета Николаевской городской больницы (1890–1893 гг.)
20. Здание народного училища (к. XIX в.) (Ростовское высшее начальное училище)
21. Училище на богатом Источнике (ныне Лицей №2) (1894–1895 г.) (2-е мужское городское начальное училище)
22. Городское коммерческое училище (1902–1905 гг.) (Ростовское н/Д 8-ми классное коммерческое училище)
23. Мореходные классы им. Генерала адъютанта графа П.Е. Коцебу. Общежитие (1896 г.)
24. Мореходные классы им. Генерала адъютанта графа П.Е. Коцебу. Здание учебных мастерских (предл. 1876 г.)
25. Ростовское н/Д соединенное училище дальнего плавания и судовых механиков, торгового флота имени Наследника Цесаревича Алексея Николаевича, августейшего атамана всех казачьих войск, с пригот. школой имени графа Коцебу. Главный корпус (1914 г.)
26. Начальное училище при Евангелическо-лютеранской церкви с жильными помещениями пастора и органиста (вторая пол. XIX в.)



Нахичевань

27. Здание частного мужского реального училища С.Я. Ягубянца (1913 г.)
28. Здание Нахичеванской мужской гимназии, 1912 г., арх. Н.Н. Дурбах
29. Екатерининская женская классическая гимназия (1893 г.)
30. Здание городских училищ (1891 г.)
31. Женское приходское училище во имя св. Рипсиме (1881 г.)
32. Нахичеванская армянская духовная семинария (вторая пол. XIX в.)

Рис. 1. Схема расположения учебных заведений в Ростове и Нахичевани выполненных в кирпичном «стиле».

Схема автора

Образовательные учреждения находились в подчинении Ростовскому-на-Дону окружному училищному совету в составе Ведомства министерства народного просвещения. Стоит отметить, что большинство учебных зданий располагалось в угловой или торцевой части квартала, занимая важное место в городской застройке, что влияло на восприятие объекта и предполагало

«достойный» внешний вид, узнаваемость и привлекательность художественного образа здания. Поэтому большинство крупных образовательных зданий были построены по уникальным проектам, выполненным ведущими архитекторами своего времени. Среди таких объектов выделяются Ростовское-на-Дону соединенное среднее механико-химико-техническое и ремесленное

училище, Городская школа поварского искусства и домоводства (1901 г.), одноклассное женское училище им. Н.И. Токарева (1896 г.), городское коммерческое училище (1902–1905 гг.), здание общежития мореходных классов им. Генерала адъютанта графа П.Е. Коцебу (1896 г.), главный корпус Ростовского н/Д соединенного училища дальнего плавания и судовых механиков, торгового флота имени Наследника Цесаревича Алексея Николаевича, августейшего атамана всех казачьих войск, с приготовительной Школой имени графа Коцебу (1914 г.) в Ростове, а также Екатерининская женская гимназия (1893 г.) и здание городского начального училища (к. XIX в.) в Нахичевани.

Примечательно, что в обоих городах – как Ростове, так и Нахичевани одни из первых крупных учебных зданий располагались в центральной части города в наиболее крупном квартале. Так в Ростове вблизи городского сада, расположились сразу два крупных образовательных заведения – Петровское реальное училище (1877 г.) и Ростовская Екатерининская женская гимназия (1896 г.) [18]. В Нахичевани же на Бульварной площади были построены Здание городских училищ (1891 г.), Нахичеванская Екатерининская женская гимназия (1893 г.) [19]. Эти объекты стали центрами градостроительных ансамблей. Здания же городского коммерческого училища (1902–1905 гг.) и соединенного среднего механико-химико-технического и ремесленного училища (1896, 1912 гг.) выделялись по своей выразительности и масштабам, но расположены были на удалении от основной концентрации объектов кирпичного «стиля» среди учебных заведений.

В объемно-композиционном решении таких зданий учитывается возможность восприятия издали, чему соответствует организация сильно выступающих ризалитов, активный силуэт здания.

В решения фасадов зданий кирпичного «стиля», относимого к периоду эклектики, прибегали к использованию и комбинированию деталей различных прошлых архитектурных стилей, переработанным в соответствии с возможностями кирпича, как декоративного материала, что приводило к интересным решениям.

В архитектуре многих учебных зданий в кирпичном «стиле» встречаются детали, использующие формы академических стилей, что ассоциативно связывается с идеями просвещения [20]. В первую очередь это касается зданий классических гимназий и начальных училищ (Ростовская Екатерининская женская гимназия, Второе городское начальное мужское училище на Богатом источнике, Нахичеванская мужская гимназия). В академических формах строились многие

учебные заведения (как и большинство других светских зданий) Нахичевани, что связано с исторически сложившимся доминированием архитектуры классицизма. «Исследователи архитектуры характеризуют город как классицистический не только благодаря его регулярной планировочной системе, но и во многом потому, что подавляющее большинство его доминантных построек были выполнены в стиле классицизма или тяготели к нему» [21].

Здания специализированных учебных заведений строились с использованием стилизованных форм средневековой западноевропейской и древнерусской архитектуры. В Ростове-на-Дону формы допетровской архитектуры получили распространение после строительства театра Асмолова по проекту архитектора В.О. Шервуда (между 1884 и 1889 гг.). В архитектуре здания училища Н.И. Токарева (Ткачева, архит. Н.М. Соколов, 1896 г.) отмечаются художественные приемы, которые были использованы В.О. Шервудом в его проектах и теоретических работах [22, 23]. Это такие характеристики, как «сложная силуэтность здания, единство отдельных объемов; с башенными, шатровыми, бочкообразными завершениями; сильно выступающие элементы фасадов; сочетание прямых и криволинейных линий; использование декоративных элементов архитектуры допетровского периода» [24]. Мотивы древнерусского зодчества, но стилизованные уже в соответствии с характером неорусского направления модерна, были использованы в архитектуре Городской школы поварского искусства и домоводства в Ростове-на-Дону (1901 г.).

В начале XX века приемы декорирования, основанные на главном принципе кирпичного «стиля», сочетаются с приемами классической архитектуры и упрощенным декором модерна. Так, например, композиция фасада и элементы декора, характерные для позднего рационального модерна сочетаются в решении фасадов ростовских гимназий Берберовой (1912 г.) и Филипповой (1916 г.) с упрощенными формами классической архитектуры и эстетикой открытой кладки, сочетающей светлый и красный кирпич.

Наиболее ярким примером сочетания форм романтического и рационального направлений модерна со свойствами открытой кирпичной кладки стала мужская гимназия Степанова в Ростове-на-Дону (1915 г.). Автор проекта, архитектор П.Я. Любимов «создал образ нового учебного заведения на основе сочетания принципов проектирования рационалистического направления модерна, декоративных форм иррационализма и стилизации мотивов архитектуры пред-

шествующих эпох, характерной для неоромантизма» [25]. Художественные средства кирпичного «стиля» выражены в первую очередь в использовании эстетики открытой кирпичной кладки, а также в стремлении к ортогональному геометризму декоративных форм, что соответствует форме кирпича. Вместе с тем черты романтического направления модерна проявились в примененном автором подходе к стилизации

средневековых форм архитектуры: «автор сохраняет в целом узнаваемость стилизуемой исторической формы, видоизменяя ее пропорции и очертания с помощью средств раннего модерна» [25].

На основе визуального обследования объектов учебного назначения составлена схема современного состояния, из которой видно, что лишь три здания имеют не искаженный аутентичный исторический облик (рис. 2.).



Рис. 2. Схема современного состояния учебных заведений в Ростове и Нахичевани выполненных в кирпичном «стиле». Схема автора

Для выявления особенностей декоративного убранства учебных зданий различной типологической направленности, выполненных в кирпичном «стиле», стоит более подробно рассмотреть несколько примеров – это Здание Ольгинского (4-го городского) женского училища, Мужская классическая гимназия, здание соединенного среднего механико-химико-технического и ремесленного училища, Городское коммерческое училище в Ростове-на-Дону.

Мужская классическая гимназия (ныне МБОУ школа № 43). Это одно из наиболее ранних учебных заведений, построенных в Ростове-на-Дону на основании уникального проекта в 1887–1888 годах (рис. 4). Возведено было здание по проекту архитектора Н.А. Дорошенко. Здание было расположено на периферии центральной части города, что позволило достаточно свободно использовать прилегающую территорию для организации рекреационных площадок для отдыха школьников и их занятий спортом в теплое время года. Расположено в торце квартала и выходит главным фасадом на проспект Буденновский (ранее пр. Таганрогский) с отступлением от красной линии. Первоначально трехэтажное с небольшим подвалом здание гимназии представляло собой Т-образный симметричный объем с церковью (1889 г.). Трехчастная компо-

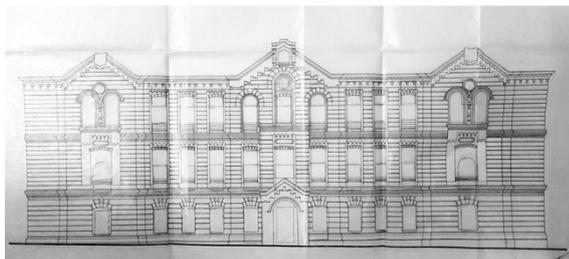
зиция главного фасада сформирована тремя ризалитами и соответствует общей планировочной структуре здания. Центральный ризалит, более значительный по размерам и характеру декора, включает парадный вход.

Декоративное убранство гимназии решено благодаря стилизации форм архитектуры европейского средневековья, академических стилей, Ренессанса и древнерусского зодчества, а также выявления эстетики открытой кирпичной кладки в сочетании с белокаменными деталями и оштукатуренными фрагментами стены. Основной мотив – это стена, покрытая рустом, напоминающим образцы архитектуры Ренессанса. Ризалиты завершены высокими треугольными фронтонами с карнизами зубчатой формы. Они увенчаны стилизованными слуховыми окнами, оформленными белокаменными фигурными колонками. Боковые ризалиты оформлены окнами-бифориями третьего этажа с центральными фигурными наборными колонками в формах древнерусской архитектуры.

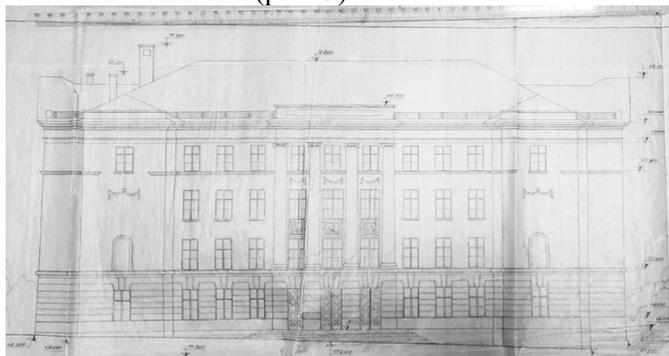
В годы Великой Отечественной войны здание сильно пострадало – «подверглось разрушениям и ... сохранились только фундаменты и стены ... все остальные конструкции ... уничтожены полностью» [26]. В ходе восстановления был надстроен четвертый этаж с целью разместить школу на 800 чел., а фасад оштукатурен и

решен в тенденциях послевоенного времени (рис. 3) [27]. Обновленная школа переродилась в

неоклассическое здание в стиле советской неоклассики (рис. 5).



(а) - Исходный фасад гимназии



(б) - Проектное предложение

Рис. 3. (а) Исходный уцелевший главный фасад и (б) проектное предложение 1949–1953 гг. здания Мужской классической гимназии [26, 27]



Рис. 4. Историческое состояние здания бывш. Мужской классической гимназии [28]

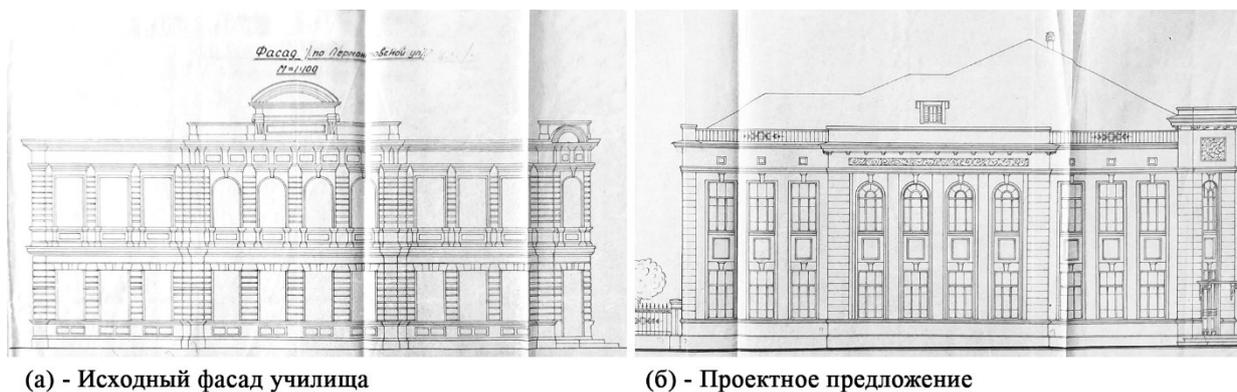


Рис. 5. Современное состояние здания бывш. Мужской классической гимназии. (Фото автора, 2024 г.)

Здание Ольгинского (4-го городского) женского училища (ныне СОШ № 4), построенное в 1895–1897 гг., является примером начального училища (рис. 7). Наименование «Ольгинское» увековечило рождение царской дочери Великой Княжны Ольги Николаевны [29]. Г-образное в плане здание расположено по адресу ул. Лермонтовская, 231 (до 1885 г. ул. Навозная) на пересечении с пер. Крепостным занимало угловое положение в квартале. Здание было расположено на периферии городского центра. Оно имело внутренний двор, предназначенный для проведения свободного времени ученицами в теплое время года. В угловой части здания был расположен парадный вход, относительно которого здание имело симметричную композицию. Композиция каждого из фасадов решена в соответствии с принципами «структурного рационализма» — «визуальной тектоничности» [30]. Важнейшим композиционным элементом были рустованные простенки, которые подчеркивают несущую основу стены. Монотонность метрической композиции обогащается благодаря центральным слабо выступающим раскреповкам с

пилястрами и венчающими аттиками. Кирпичный декор выполнен в стилизованных упрощенных формах академических стилей — это оконные проемы прямоугольной и полуциркульной формы с простыми наличниками, упрощенные пилястры и лопатки, подоконные вставки, подоконные геометрические филенки, междуэтажный пояс и карнизы упрощенного профиля.

Здание училища сильно пострадало во время военных действий 1942 г. Уцелели только фундаменты и стены, но уже в декабре 1945 г. было обследовано, а в 1946 г. — составлен проект на восстановление (рис. 6). Сохранились документальные подтверждения облика в ходе послевоенного обследования объекта и проектного предложения по восстановлению и реконструкции здания училища [31]. Позднее здание бывшего училища надстроили на один этаж. Также был пристроен четырехэтажный корпус со стороны ул. Филимоновской. В результате этих работ здание было оштукатурено и потеряло качества кирпичного «стиля». В 2020-х гг. здание училища было отремонтировано, выполнен навесной фасад, скрывающий и без того искаженный исторический вид (рис. 7).



(а) - Исходный фасад училища

(б) - Проектное предложение

Рис. 6. Исходный фасад по ул. Лермонтовской здания Ольгинского (4-го городского) женского училища и проектное решение 1946 г. [31]



Рис. 7. Историческое состояние здания бывш. Здание Ольгинского (4-го городского) женского училища [32]



Рис. 8. Современное состояние здания бывш. Здание Ольгинского (4-го городского) женского училища. (Фото автора, 2024 г.)

Ростовское-на-Дону соединенное среднее механико-химико-техническое и ремесленное училище (ныне ГБПОУ РО колледж радиоэлектроники, информационных и промышленных технологий) (1896, 1912 гг.) является объектом культурного наследия регионального значения. Расположено по адресу ул. Красноармейская, 11/128, пер. Халтуринский (ранее пересечение до 1885 г. ул. Степная, а позже ул. Скобелевской и пер. Никольский) и занимает почти половину квартала. С принятием в 1888 г. основного положения о промышленных школах в Ростове был поднят вопрос об открытии такого заведения и в 1895 г. на заседании городской думы было одобрено решение об открытии ремесленной и среднетехнической школы. Участок под строительство был отведен бесплатно из состава городских земель, а возведение осуществлялось на средства города. В 1896 г. завершилось строительство ремесленного училища и в сентябре состоялось его открытие. Под нужды среднего технического училища изначально задумывалось возвести отдельное здание. Однако затянулись споры между ростовскими и нахичеванскими чиновниками об расположении учебного заведения до 1898 г., ко-

гда пришли к решению об объединении среднетехнического и ремесленного училищ. Со стороны города среднему техническому училищу уделялось достаточное внимание – в попечительский совет училища входили достаточно известные и почетные предприниматели и деятели Ростова. В разное время в составе совета находились Д.Н. Епифанов, И.С. Кошкин, Е.Г. Кундури, И.Д. Кукса, Д.А. Пастухов, Н.И. Токарев, Н.И. Чурилин [33, 34].

В связи с бурным развитием промышленности открытие подобного учебного заведения было особенно актуальным, позволяющее подготовить будущих специалистов техников. В связи с ростом и необходимостью в новых площадях в 1912 году Г.Н. Васильев возводит второй корпус для нужд училища. [34, 35].

Современная форма двухэтажного здания приближена к прямоугольной конфигурации. Главный фасад имеет четкую осевую симметрию относительно парадного входа, которая усиливается сильно выступающим центральным и крайними ризалитами, которые обогащены угловыми лопатками с рядами ширинок, пилястрами на пьедестале и треугольными фронтонами. Центральный ризалит с примыкающими частями

имеют аттики сложного очертания барочного типа с картушами. Над венчающим карнизом расположены тумбы парапета, которые дополняют сложный силуэт фасада [36, 37].

Фасад обогащен широким междуэтажным карнизом, а второй уровень решен в ордерном декоре. Оконные проемы второго уровня выполнены прямоугольными с подоконными геометрическими вставками, а первого – арочными полуциркульными с рустованными архивольтами и подоконным поясом из квадратных и прямоугольных ниш.

Архитектурно-планировочная организация представлена коридорной системой с расположением учебных классов, аудиторий и кабинетов по



Рис. 9. Здание бывш. Ростовское-на-Дону соединенное среднее механико-химико-техническое и ремесленное училище. (Фото автора, 2023 г.)

Городское коммерческое училище (ныне корпус ДГТУ) построено в **1902–1905 гг.** по проекту архитектора Николая Матвеевича Соколова – одного из ведущих мастеров кирпичного «стиля» в Ростове-на-Дону. Здание было построено на участке, расположенном по адресу проспект Богатыревский Спуск, 32/162, занимая значительную часть квартала. Здание располагалось в центральной части города и имело Н-образную ассиметричную конфигурацию в плане. Главный фасад обращен в сторону улицы Социалистической (ранее Никольская) и построен с отступлением от красной линии застройки.

Училище относилось к числу специальных учебных учреждений, где получали образование в основном дети купцов и богатых коммерсантов. Участок под застройку был выделен городом бесплатно. В решении фасадов были использованы стилизованные мотивы западноевропейских стилей, таких как Ренессанса и романской архитектуры с добавлением белокаменного декора. Строительство велось под руководством арх. П.Я. Любимова [38]. Интересной особенностью является тот факт, что фасадные решения выполнены в формах эклектики, стилизующей мотивы средневековой архитектуры, а объемно-

одну или по обе стороны. Кроме обычных базовых помещений были учтены «физический, чертежный, геодезический и механический кабинеты, рисовальный класс, электро-техническая лаборатория и механическая мастерская» с хорошим оборудованием [33].

В настоящее время утрачен основной характерный признак кирпичного «стиля» — это фасады здания покрыты множеством слоев фасадных красок белого и светло-терракотового цвета, цоколь оштукатурен, некоторые оконные проемы торцевых фасадов заложены (рис. 9.).

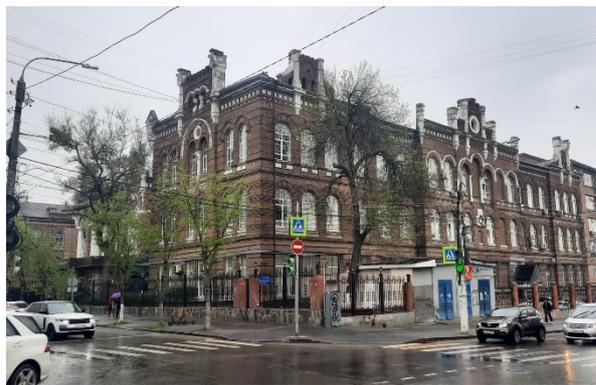


Рис. 10. Здание бывш. Городского коммерческого училища. (Фото автора, 2023 г.)

пространственное планировочное решение демонстрирует признаки рациональности, следование новым приемам проектирования учебных зданий. Так, например, отчетливо выявлены во внешнем объеме характеристики помещений. Высокие арочные оконные проемы второго и третьего этажей центрального ризалита с мощными замковыми камнями и широкими рустованными архивольтами соответствовали двухсветному пространству актового зала. В том же планировочном блоке размещены парадный вестибюль и парадная трехмаршевая лестница. В восточной части здания было выявлено пространство домового храма училища. Также этот эффект достигнут благодаря сильно выступающим боковым и центральному ризалитам, конфигурацией и размерами оконных проемов [39].

От предшествующих рассмотренных примеров здание Коммерческого училища отличается богатством, выразительностью и многообразием декоративных форм, стилизующих в красном кирпиче мотивы средневековой западноевропейской архитектуры. Арочные полуциркульные оконные проемы подчеркнуты рустованными архивольтами. В третьем уровне присутствует рельефные подоконные вставки. Сдвоенные арочные полуциркульные окна с полуколоннами

между ними в третьем уровне крайних ризалитов главного фасада объединены архивольтами. Архитектурно-художественный облик дополняется раскреповками по бокам центральной части и центрам боковых ризалитов училища. Интересно решены и аттики раскреповок с круглыми ложными люкарнами в центральном ризалите и с трифориями и бифориями с прорезями аттика, как в средневековых крепостях, которые фланкированы декоративными лопатками с зубчатыми завершениями в крайних ризалитах главного и бокового фасадов соответственно. Среди горизонтальных элементов стоит отметить профилированный кордон цоколя, рустовку простенков, междуэтажные и подоконные пояса, обширный фризовый пояс со включением в места ширинок каменных геометризованных рельефных вставок, профилированный карниз [40].

Дворовые фасады решены проще, чем главный. Декоративные элементы – это рустовка простенков, междуэтажные и подоконные пояса, прямоугольные оконные проемы, фриз с геометрическими вставками как на главном фасаде (рис. 10).

Выводы.

Здания учебных заведений, которые занимали традиционно важное место в структуре городской застройки Ростова-на-Дону, начиная с середины XIX века, можно классифицировать как по назначению и особенностям организации учебного процесса в учебном заведении, так и по численности учащихся. Статус и направленность учебного заведения определяет и его расположение в городской застройке, и характер декоративного решения здания.

Учебные заведения разного уровня образования и специализации, рассмотренные в статье, демонстрируют несколько вариантов прочтения возможностей кирпичного «стиля» для формирования эстетически выразительных и, в то же время, экономически выгодных фасадных решений.

Здания Мужской классической гимназии и Ростовского-на-Дону соединенного среднего механико-химико-технического и ремесленного училища декорированы в формах академических стилей и Ренессанса с достаточно широким спектром использованных декоративных мотивов (разнообразное решение оконных проемов и их обрамления, руст, аттики разнообразной формы, профилированные тяги и карнизы, лопатки и пилястры), что подчеркивало значение и масштаб этих учреждений.

Здание Ольгинского (4-го городского) начального женского училища также декориро-

ванное в формах классической архитектуры, демонстрирует упрощение и геометризацию декора, свойственную кирпичному «стилю».

Наиболее сложное декоративное решение характеризует здание Городского коммерческого училища, отличающегося богатой пластикой фасадов, сложной силуэтностью и обилием форм кирпичного декора, стилизующего формы средневековой западноевропейской архитектуры.

Несмотря на то, что многие сохранившиеся объекты учебной архитектуры конца XIX – начала XX вв., построенные в кирпичном «стиле», получили охранный статус объекта культурного наследия, большинство из них в ходе предшествующих ремонтов и реконструкций, проведенных в XX веке, утратило важнейшую стилистическую характеристику – выявление эстетики открытой кирпичной кладки. Их фасады были окрашены и оштукатурены.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Иванова-Ильичева А.М. Предпосылки возникновения и развития рационалистических тенденций в архитектуре городов Нижнего Дона и Приазовья во второй половине XIX - начале XX вв. // Архитектурное наследие. Вып. 45. Москва, 2003. С. 214–219.
2. Батырев, В.М. Вокзалы / В.М. Батырев. М.: Стройиздат, 1988. С. 216.
3. Есаулов Г.В., Черницына В.А. Архитектурная летопись Ростова-на-Дону. Ростов-на-Дону: Изд-во Малыш, 1999. С. 289.
4. Петрусенко Ю.В., Иванова-Ильичева А.М. Дом трудолюбия в Ростове-на-Дону // Проект Байкал. 2021. Т.18, №68. С. 164–167. DOI: 10.51461/projectbaikal.68.1818.
5. Есаулов Г.В. Архитектура Юга России: от истории к современности. Очерки. Монография. Москва: Архитектура-С, 2016. С. 568.
6. Иванова-Ильичева А.М. Рационалистические тенденции в архитектуре городов Нижнего Дона и Приазовья второй половины XIX – начала XX вв. (На примере Таганрога, Ростова-на-Дону и Нахичевани-на-Дону, Новочеркаска): дис. ... канд. архитектуры: 18.00.01. защищена 26.12.2000: утв. 08.06.2001. Москва. 2000.
7. Скальковский А.А. Ростов на Дону. Вып. 28. Из "Журн. М-ва вн. дел". Санкт-Петербург: тип. М-ва вн. дел, 1847. 74 с.
8. Вся область Войска Донского на 1900 г. Изд. А.И. Теръ-Абрамиан, 1900. 555 с.
9. Весь Ростов и Нахичевань н/Д 1914 г. Изд. Элькин Ф.С. и Кулькес П.М. Ростов-на-Дону, 1914640 с.
10. Вся Донская область и Северный Кавказ на 1903 г. А.И. Теръ-Абрамиан, 1903. 645 с.

11. Памятная книжка Области Войска донского на 1915 г. Изд. Областной войска Донского статистический комитет. Новочеркасск, 1915. 595 с.
12. Чеботарев Г.А. Ростов-Нахичевань на Дону. Справочная книжка. Ростов-на-Дону, 1911-12. 391 с.
13. Есаулов Г.В., Иванова-Ильичева А.М., Исаенко Н.Г. Основные этапы архитектурно-градостроительного развития Ростова-на-Дону в 1750-1910 годах // Известия Ростовского государственного строительного университета. №2. 1998. С. 13–19.
14. Краснянский М.Б. Хроника открытия учебных заведений в городе Ростове с 1810 по 1908 г. Записки Ростовского-на-Дону Общества истории, древностей и природы. Т. 1 Ростов-на-Дону, 1912. 292 с.
15. Пилявский В.И., Славина Т.А., Тиц А.А. История русской архитектуры. Учебник для вузов по направлению и специальности "Архитектура". Под общ. ред. Ушакова Ю.С., Славинной Т.А, Санкт-Петербург: Стройиздат СПб., 1994. 600 с.
16. ГАРО. СИФ. Весь Ростов и Нахичевань на Дону. 1914 г. Ростов-на-Дону: Изд-е Элькина Ф.С. и Кулькеса П.М., 2014. 640 с.
17. Весь Ростов и Нахичевань на Дону, 1913 г. [Электронный ресурс]. URL: https://rusneb.ru/catalog/000202_000006_703313%7CD12B5D15-EB35-4B51-9582-10E02BB403EF/ (дата обращения 26.01.2024).
18. Волошинова Л.Ф. Два века городского сада. // Судьбы улиц, площадей, парков. Дон. изд. дом. Ростов-на-Дону, 2013. 144 с.
19. Волошинова Л.Ф. Бульварная площадь Ростов-на-Дону // Судьбы улиц, площадей, зодчих. Дон. изд. дом. Ростов-на-Дону, 2001. 168 с.
20. Кириченко Е.И. Русская архитектура 1830-1910-х годов. М.: Изд-во Искусство, 1982. С. 399.
21. Баева О.В., Иванова-Ильичева А.М. Культурно-исторический контекст формирования архитектурного образа Нахичевани-на-Дону (конец XVIII - начало XX в.) // Известия УФУ. Серия 2: Гуманитарные науки. Т. 20, №3 (178). 2018. С. 228–243. DOI: 10.15826/izv2.2018.20.3.058.
22. Шервуд В.О. Пояснительная записка к проекту под девизом "Отечество" для здания музея имени Государя Наследника Цесаревича. Москва. 1875. 55 с.
23. Шервуд В.О. Опыт исследования законов искусства. Живопись, скульптура, архитектура и орнаментика. Москва: Университетская типография. 1895. 235 с.
24. Иванова-Ильичева А.М., Орехов Н.В., Орехов А.Н. Влияние произведений В.О. Шервуда на формирование "кирпичного стиля" в Ростове-на-Дону // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2020. №7. С. 75-83. DOI: 10.34031/2071-7318-2020-5-7-75-83.
25. Есаулов Г.В., Иванова-Ильичева А.М. Архитектура модерна на примере классической гимназии и доходного дома П.В. Хохладжева в городе Ростове-на-Дону // Региональная архитектурно-художественная школа. Материалы юбилейной научно-практической конференции. Ростов-на-Дону: РАИ. 1998. С. 64–68
26. ГАРО. Ф. Р-4038. Оп.1. Д.466.
27. ГАРО. Ф. Р-4038. Оп.1. Д.467.
28. Мужская классическая гимназия. Официальный сайт сообщества PastVu. [Электронный ресурс]. URL: <https://pastvu.com> (дата обращения: 21.01.2024).
29. Историческая справка. Основные сведения – МБОУ «Школа № 4» [Электронный ресурс]. URL: shkola4-rostov.ru (дата обращения 28.01.2024).
30. Иванова-Ильичева А.М. Принципы «структурного рационализма» в европейской архитектуре первой половины XX века // Вопросы всеобщей истории архитектуры. Вып. 16. № 1. Гл. ред. и сост. А.Ю. Казарян. Москва; Санкт-Петербург: Изд-во Нестор-История, 2021. С. 273-286.
31. ГАРО. Ф. Р-4038. Оп.1. Д.154.
32. Школа № 4. Официальный сайт сообщества PastVu. [Электронный ресурс]. URL: <https://pastvu.com> (дата обращения: 21.01.2024).
33. Ильин А.М. История города Ростова-на-Дону. Ростов-на-Дону: Изд-во Пар. тип. С. Я. Авакова, 1909. 153 с.
34. Наследие архитектора. Ростовский берег. [Электронный ресурс]. URL: http://www.rostovbereg.ru/publ/istorija_donskogo_kraja/ljudi_izvestnye_i_ne_ochen_nasledie_arkhitek_tora/10-1-0-598 (дата обращения: 25.01.2024).
35. Городской архитектор начала XX века – Григорий Николаевич Васильев. Донской современник [Электронный ресурс]. URL: http://donvrem.dspl.ru/Files/article/m19/2/art.aspx?art_id=370 (дата обращения: 01.04.2024).
36. Сведения из Единого государственного реестра ОКН. Здание Ростовского соединенного среднего механико-химико-технического и ремесленного училища [Электронный ресурс]. URL: <https://opendata.mkrf.ru/opendata/7705851331-egrkn/51/166280> (дата обращения: 12.04.2024).
37. Грудев В.П., Солнышкин Ю.Н., Волошинова Л.Ф. Проект зон охраны застройки г. Ро-

стова-на-Дону. Натурные исследования. – Северо-Кавказское дочернее предприятие проектного института по реставрации памятников истории и культуры. Кн. 15. «Спецпроектреставрация» - Ростов-на-Дону, 1982. С. 36.

38. Петрусенко Ю.В. Творчество архитектора Николая Матвеевича Соколова: дис. ... канд. Арх.: 2.1.11. защищена 12.12.2022: утв. 12.12.2022. Ростов-на-Дону, 2022.

39. Грудев В.П., Солнышкин Ю.Н., Волошинова Л.Ф. Проект зон охраны застройки г. Ро-

стова-на-Дону. Натурные исследования. – Северо-Кавказское дочернее предприятие проектного института по реставрации памятников истории и культуры. Кн. 6. «Спецпроектреставрация» - Ростов-на-Дону, 1982. 50 с.

40. Охранное обязательство №611410096030005 на ОКН регионального значения «Здание городского коммерческого училища» по адресу: Ростовская область, г. Ростов-на-Дону, ул. Социалистическая, д. 162.

Информация об авторах

Орехов Александр Николаевич, аспирант. E-mail: orehov_alexander44@mail.ru. Южный федеральный университет. Академия архитектуры и искусств. Россия, 344082, г. Ростов-на-Дону, пр. Буденновский, д. 39.

Поступила 23.03.2024 г.

© Орехов А.Н., 2024

Orehov A.N.

Southern Federal University, Academy of architecture and arts

E-mail: orehov_alexander44@mail.ru

BRICK “STYLE” IN THE ARCHITECTURE OF EDUCATIONAL INSTITUTIONS IN ROSTOV-ON-DON IN THE END OF THE 19TH – EARLY 20TH CENTURIES

Abstract. *The buildings of educational institutions in the period of the late XIX - early XX centuries are one of the most important elements in the formation of the architectural environment of provincial cities, including Rostov-on-Don. The buildings of gymnasiums, commercial, clerk, and technical schools often formed a kind of spatial framework of the central part of the city, being unique objects. Primary schools, which had common typical features, were part of the central core of individual residential areas, including peripheral ones. Regardless of the status and level of the educational institution, the number of students and its place in the structure of the city, most educational buildings of primary, secondary and secondary specialized education were built in the brick “style”. At the same time, it should be noted the variety of artistic techniques that determine the appearance of educational buildings of various types. In addition to the so-called “average brick “style””, more complex techniques for solving facades are widespread in the architecture of most primary schools: turning to the stylized forms of medieval and Old Russian architecture, solving classical details in brick, combining simplified geometric decor with forms in the Art Nouveau style, combining light and red brick. Based on the research, the author has formed a layout diagram and a diagram of the current state of educational institutions in Rostov and Nakhichevan, built in brick “style”.*

Keywords: *brick “style”, architecture of Rostov-on-Don, Olginskoe 4th city women's school, Men's classical gymnasium, building of the combined secondary mechanical-chemical-technical and vocational school, Rostov City Commercial School.*

REFERENCES

1. Ivanova-Ilyicheva A.M. Prerequisites for the emergence and development of rationalistic trends in the architecture of the cities of the Lower Don and Azov region in the second half of the 19th - early 20th centuries. [Predposylki vozniknoveniya i razvitiya racionalisticheskikh tendencij v arhitekture gorodov Nizhnego Dona i Priazov'ya vo vtoroj polovine XIX - nachale XX vv.]. Architectural heritage [Arhitekturnoe nasledstvo]. Vol. 45. Moscow, 2003. Pp. 214–219. (rus)
2. Batyrev, V.M. Stations [Vokzaly]. M.: Strojidat, 1988. 216 p. (rus)
3. Esaulov G.V., Chernitsyna V.A. Architectural chronicle of Rostov-on-Don. [Arhitekturnaya

letopis' Rostova-na-Donu]. Rostov-on-Don: Malyshev Publishing House, 1999. 289 p. (rus)

4. Petrusenko Yu.V., Ivanova-Ilyicheva A.M. House of Diligence in Rostov-on-Don. [Dom trudolyubiya v Rostove-na-Donu]. Project Baikal. 2021. Vol. 18, No. 68. Pp. 164–167. DOI: 10.51461/projectbaikal.68.1818. (rus)

5. Esaulov G.V. Architecture of the South of Russia: from history to modernity [Arhitektura YUga Rossii: ot istorii k sovremennosti]. Essays. Monograph. M: Architecture-S, 2016. 568 p. (rus)

6. Ivanova-Ilyicheva A.M. Rationalist tendencies in the architecture of the cities of the Lower Don and the Sea of Azov in the second half of the 19th and early 20th centuries (on the example

of Taganrog, Rostov-on-Don and Nakhichevan-on-Don, Novocherkassk) [Ratsionalisticheskiye tendentsii v arkhitekture gorodov Nizhnego Dona i Priazov'ya vtoroy poloviny XIX nachala XXvv. (na primere Taganroga, Rostova-na-Donu i Nakhichevani-na-Donu, Novocherkasska)]: dis. ...cand. architecture: 18.00.01. protected 12/26/2000: approved. 06/08/2001. Moscow. 2000. (rus)

7. Skal'kovskij A.A. Rostov on Don [Rostov na Donu]. Vol. 28. Journal of the Ministry of Internal Affairs. Sankt-Peterburg: tip. Ministry of Internal Affairs, 1847. 74 p. (rus)

8. The entire region of the Don Army in 1900 [Vsya oblast' Vojska Donskogo na 1900 g.]. Ed. A.I. Ter-Abramian, 1900. 555 p. (rus)

9. All Rostov and Nakhichevan n/a 1914 [Ves' Rostov i Nahichevan' n/D 1914 g.]. Ed. Elkin F.S. and Kulkes P.M. Rostov-on-Don, 1914. 640 p. (rus)

10. The entire Don region and the North Caucasus in 1903 [Vsya Donskaya oblast' i Severnyj Kavkaz na 1903 g.] A.I. Ter-Abramian, 1903. 645 p. (rus)

11. Memorial book of the Don Army Region for 1915 [Pamyatnaya knizhka Oblasti Vojska donskogo na 1915 g.] Ed. Regional Don Troops Statistical Committee. Novocherkassk, 1915. 595 p. (rus)

12. Chebotarev G.A. Rostov-Nakhichevan on Don [Rostov-Nahichevan' na Donu]. Reference book. Rostov-on-Don, 1911-12. 391 p. (rus)

13. Esaulov G.V., Ivanova-Ilyicheva A.M., Isaenko N.G. The main stages of architectural and urban development of Rostov-on-Don in 1750-1910. [Osnovnye etapy arhitekturno-gradostroitel'nogo razvitiya Rostova-na-Donu v 1750-1910 godah]. News of the Rostov State University of Civil Engineering. [Izvestiya Rostovskogo gosudarstvennogo stroitel'nogo universiteta]. No. 2. 1998. Pp. 13–19. (rus)

14. Krasnyanskij M.B. Chronicle of the opening of educational institutions in the city of Rostov from 1810 to 1908 [Hronika otkrytiya uchebnyh zavedenij v gorode Rostove s 1810 po 1908 g.]. Notes of the Rostov-on-Don Society of History, Antiquities and Nature [Zapiski Rostovskogo-na-Donu Obshchestva istorii, drevnostej i prirody]. Vol. 1 Rostov-on-Don, 1912. 292 p. (rus)

15. Pilyavskij V.I., Slavina T.A., Tic A.A. History of Russian architecture [Istoriya russkoj arhitektury]. Textbook for universities in the direction and specialty "Architecture". Under the editorship of Ushakov Yu.S., Slavinoj T.A, St. Petersburg: Stroyizdat SPb., 1994. 600 p. (rus)

16. GARO. CIF. All Rostov and Nakhichevan on Don. 1914. [Ves' Rostov i Nahichevan' na Donu, 1914 g.]. Rostov-on-Don: Publishing house Elkin F.S. and Kulkesa P.M., 2014. 640 p. (rus)

17. All Rostov and Nakhichevan on Don, 1913 [Ves' Rostov i Nahichevan' na Donu, 1913 g.]. URL: https://rusneb.ru/catalog/000202_000006_703313%7CD12B5D15-EB35-4B51-9582-10E02BB403EF/ (date of treatment: 01/26/2024). (rus)

18. Voloshinova L.F. Two centuries of the city garden [Dva veka gorodskogo sada]. The fate of streets, squares, parks [Sud'by ulic, ploshchadej, parkov]. Don. pub. house. Rostov-on-Don, 2013. 144 p. (rus)

19. Voloshinova L.F. Boulevard Square Rostov-on-Don [Bul'varnaya ploshchad' Rostov-na-Donu]. The fate of streets, squares, architects [Sud'by ulic, ploshchadej, zodchih Don. pub. house. Rostov-on-Don, 2001. 168 p. (rus)

20. Kirichenko E.I. Russian architecture of the 1830s-1910s. [Russkaya arhitektura 1830-1910-h godov]. M.: Publishing house Art, 1982. 399 p. (rus)

21. Baeva O.V., Ivanova-Ilyicheva A.M. Cultural and historical context of the formation of the architectural image of Nakhichevan-on-Don (late XVIII - early XX centuries). [Kul'turno-istoricheskij kontekst formirovaniya arhitekturnogo obraza Nahichevani-na-Donu (konec XVIII - nachalo XX v.)]. Izvestia. Ural Federal University Journal. Series 2: Humanities. Vol. 20, No.3 (178). 2018. Pp. 228–243. DOI: 10.15826/izv2.2018.20.3.058. (rus)

22. Sherwood V.O. Explanatory note to the project under the motto "Fatherland" for the building of the museum named after the Sovereign Heir Tsar-evich. [Poyasnitel'naya zapiska k proyektu pod devizom "Otechestvo" dlya zdaniya muzeya imeni Gosudarya Naslednika Tsesarevicha]. Moscow. 1875. 55 p. (rus)

23. Sherwood V.O. Experience in researching the laws of art. Painting, sculpture, architecture and ornamentation. [Opyt issledovaniya zakonov iskusstva. Zhivopis', skulptura, arhitektura i ornamentika]. Moscow: University Printing House. 1895. 235 p. (rus)

24. Ivanova-Ilyicheva A.M., Orekhov N.V., Orekhov A.N. Influence of V.O. Sherwood's works on the formation of the "brick style" in Rostov-on-Don. [Vliyanie proizvedenij V.O. SHervuda na formirovanie "kirpichnogo stilya" v Rostove-na-Donu]. Bulletin of the BSTU named after. V.G. Shukhov. 2020. No. 7. Pp. 75–83. DOI: 10.34031/2071-7318-2020-5-7-75-83. (rus)

25. Esaulov G.V., Ivanova-Ilyicheva A.M. Modern architecture using the example of a classical gymnasium and an apartment building by P.V. Khokhladzheva in the city of Rostov-on-Don. [Arhitektura moderna na primere klassicheskoy gimnazii i dohodnogo doma P.V. Hohladzheva v gorode Rostove-na-Donu]. Regional architectural and art school. Materials of the anniversary scientific and practical conference. [Regional'naya arhitekturno-

hudozhestvennaya shkola. Materialy yubilejnoj nauchno-prakticheskoj konferencii]. Rostov-on-Don: RAI. 1998. 64-68 pp. (rus)

26. GARO. F. R-4038. Op.1. D.466.

27. GARO. F. R-4038. Op.1. D.467.

28. Men's classical gymnasium. Official PastVu community site. [Muzhskaya klassicheskaya gimnaziya. Ofic. sajt soobshchestva PastVu]. URL: <https://pastvu.com> (date of treatment: 01/21/2024). (rus)

29. Historical information. Basic information - MBOU "School No. 4" [Istoricheskaya spravka. Osnovnye svedeniya – MBOU «SHkola № 4»]. URL: shkola4-rostov.ru (date of treatment: 01/28/2024). (rus)

30. Ivanova-Ilyicheva A.M. Principles of “structural rationalism” in European architecture of the first half of the 20th century. [Principy «strukturnogo racionalizma» v evropejskoj arhitekture pervoj poloviny XX veka]. Questions of the history of world architecture. Vol. 16. No. 1. Ch. ed. and comp. A.Yu. Kazaryan. Moscow; St. Petersburg: Nestor-History Publishing House, 2021. P. 273-286. (rus)

31. GARO. F. R-4038. Op.1. D.154.

32. School No. 4. Official. PastVu community site. [SHkola № 4. Ofic. sajt soobshchestva PastVu.]. URL: <https://pastvu.com> (date of treatment: 01/21/2024). (rus)

33. Ilyin A.M. History of the city of Rostov-on-Don. [Istoriya goroda Rostova-na-Donu. Rostov-na-Donu]. Rostov-on-Don: Publishing house Par. type. S. Ya. Avakova, 1909. 153 p. (rus)

34. The legacy of the architect. Rostov coast. [Nasledie arhitekтора. Rostovskij bereg]. URL: http://www.rostovbereg.ru/publ/istorija_donskogo_kraja/ljudi_izvestnye_i_ne_ochen_nasledie_arhitekтора/10-1-0-598 (date of treatment: 01/25/2024). (rus)

35. City architect of the early twentieth century – Grigory Nikolaevich Vasiliev [Gorodskoj

arhitektor nachala HKH veka — Grigorij Nikolaevich Vasil'ev]. Don vremennik. URL: http://donvrem.dspl.ru/Files/article/m19/2/art.aspx?art_id=370 (date of treatment: 04/01/2024). (rus)

36. Information from the Unified State Register of Cultural. The building of the Rostov United Secondary Mechanical-Chemical-Technical and Trade School [Zdanie Rostovskogo soedinennogo srednego mekhaniko-himiko-tekhnicheskogo i remeslennogo uchilishcha]. URL: <https://opendata.mkrf.ru/opendata/7705851331-egrkn/51/166280> (date of treatment: 04/12/2024). (rus)

37. Grudev V.P., Solnyshkin YU.N., Voloshinova L.F. Project of development protection zones in Rostov-on-Don. Field studies. [Proekt zon ohrany zastrojki g. Rostova-na-Donu. Naturnye issledovaniya]. North Caucasian subsidiary of the design institute for the restoration of historical and cultural monuments. Book 15. “Special project restoration” - Rostov-on-Don, 1982. 36 p. (rus)

38. Petrusenko Yu.V. The work of architect Nikolai Matveevich Sokolov. [Tvorchestvo arhitekтора Nikolaya Matveevicha Sokolova]: dis...cand. Arch.: 2.1.11. protected 12/12/2022: approved. 12/12/2022. Rostov-on-Don, 2022. (rus)

39. Grudev V.P., Solnyshkin YU.N., Voloshinova L.F. Project of development protection zones in Rostov-on-Don. Field studies. [Proekt zon ohrany zastrojki g. Rostova-na-Donu. Naturnye issledovaniya]. North Caucasian subsidiary of the design institute for the restoration of historical and cultural monuments. Book 6. “Special project restoration” - Rostov-on-Don, 1982. 50 p. (rus)

40. Security obligation №611410096030005 to the Cultural Heritage Site of regional significance “Building of the City Commercial School” [Zdanie gorodskogo kommercheskogo uchilishcha] at the address: Rostov region, Rostov-on-Don, st. Socialist, no. 162. (rus)

Information about the authors

Orekhov, Alexander N. Postgraduate student. E-mail: orehov_alexander44@mail.ru. South Federal University. Academy of Architecture and Arts. Russia, 344082, Rostov-on-Don, Budenny Ave., 39.

Received 23.03.2024

Для цитирования:

Орехов А.Н. Кирпичный «стиль» в архитектуре учебных заведений Ростова-на-Дону конца XIX – начала XX веков // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2024. №8. С. 85–97. DOI: 10.34031/2071-7318-2024-9-8-85-97

For citation:

Orekhov A.N. Brick “style” in the architecture of educational institutions in Rostov-on-Don in the end of the 19th – early 20th centuries. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2024. No. 8. Pp. 85–97. DOI: 10.34031/2071-7318-2024-9-8-85-97

МАШИНОСТРОЕНИЕ И МАШИНОВЕДЕНИЕ

DOI: 10.34031/2071-7318-2024-9-8-98-110

Качаев А.Е.

Коломенский институт (филиал) Московского политехнического университета

E-mail: doctor_cement@mail.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИЧИН ПРЕЖДЕВРЕМЕННОЙ ПОЛОМКИ КОРОНКИ СТОЙКИ РЫХЛИТЕЛЯ, ПРОИЗВЕДЕННОЙ С ПОМОЩЬЮ ТЕХНОЛОГИЙ ПРЯМОГО РЕИНЖИНИРИНГА

Аннотация. При испытаниях импортозамещенных коронок рыхлителей для бульдозерной техники наблюдался их преждевременный выход из эксплуатации. В процессе исследования нагружения коронки контактным давлением скальных грунтов в $P = 11,5$ МПа выяснилось, что только плотная беззазорная установка коронки на посадочную часть стойки рыхлителя обеспечивает надежную эксплуатацию и защиту стойки от износа и способствует ее долговременной работе в условиях дробления скальных пород. Установлено, что условие прочности для коронки выполняется только в том случае, когда посадочная часть самой коронки максимально касается посадочной части стойки рыхлителя, то есть контакт коронки со стойкой осуществляется по максимальной площади соприкосновения – контакта. В этом случае наблюдаются эквивалентные напряжения меньше напряжений текучести для стали, которая предложена в исследовании в качестве износостойкой к работе на скальных грунтах. В исследовании проведены численные расчеты напряжений и перемещений в коронках при различных способах их закрепления на посадочной части стойки рыхлителя. В первом рассматриваемом случае исследования наблюдается обеспечение условия прочности при работе коронки на скальных грунтах, во втором рассматриваемом случае наблюдается отсутствие соблюдения условия прочности и показаны характерные места, в которых коэффициент запаса прочности меньше 1,3 (30 %). По результатам исследования для этого случая (численного моделирования) было принято решение об увеличении поперечного сечения места перехода консольной части коронки к посадочной ее части на 10 %. При этом, определено расчетным путем, что с увеличением площади поперечного сечения места перехода консольной части коронки к посадочной ее части на 10 % эксплуатационная надежность возрастает на 20-30 % при работе рыхлителя на скальных грунтах. В результате исследования экспериментально подтверждена возможность использования стали марки 27ХН2МФЛ+Се для изделий типа коронка.

Ключевые слова: стойка, коронка, рыхлитель, бульдозер, рабочее давление, перемещение, эквивалентные напряжения

Введение. Для производства строительных и дорожных работ на сегодняшний день активно используется карьерная (землеройная) техника различных производителей, в том числе и иностранных. В настоящее время эксплуатация такой техники сопряжена с рядом технических неудобств и опасностей [1]. Запасные детали для такой техники, работающей в тяжелых климатических условиях и на различных грунтах, являются труднодоступными для сервисных организаций, которые осуществляют её техническое обслуживание и ремонт.

В связи с отсутствием оригинальных запасных частей на импортную карьерную (землеройную) технику в нашей стране стали активно использоваться технологии реверсивного инжиниринга. С помощью компьютерного и математического моделирования передовые, развивающиеся в условиях санкций предприятия по выпуску запасных деталей для карьерной техники решают вопросы, связанные с насыщением рынка необ-

ходимой товарной продукцией (в частности, коронками рыхлителей, зубьями ковшей экскаваторов и погрузчиков, др.). Исчезновение с рынка оригинальных запасных частей «западного» производства (например, Caterpillar), ведущих производителей Японии и Южной Кореи (Komatsu, Hyundai) подтолкнуло российских ученых к совершенствованию износостойких материалов (сталей и чугунов) запасных частей для данного класса машин [2].

Однако помимо влияния материаловедческой составляющей на качество литых запасных деталей в условиях импортозамещения не мало важную роль играет еще и конструктивное исполнение этих деталей, особенности их установки на рабочие поверхности бульдозеров и экскаваторов (погрузчиков). Подчас именно характер сопряжения литых деталей (например, коронки рыхлителя на бульдозере) с деталями (например, стойки рыхлителей (для бульдозеров), ножи экскаваторов), которые воспринимают высокие тяговые и ударно-стирающие

нагрузки определяет начальные условия эксплуатации основных частей карьерной техники [3]. Безусловно, самые изнашиваемые поверхности основных узлов карьерной техники необходимо защитить от интенсивного износа в процессе ее эксплуатации [4].

В горной промышленности при открытой разработке какого-либо месторождения полезных ископаемых или строительстве объекта инфраструктуры активно используются экскаваторы, бульдозеры, погрузчики различной производительности [5] и потребляемой мощности. Для некоторых из них уже сегодня предприятиями с литейными цехами выпускаются отдельные виды литых запасных частей. Так, например, общество с ограниченной ответственностью «Воскресенский завод «Машиностроитель» (ООО «ВЗМ») производит широкий спектр запасных деталей для бульдозерной и экскаваторной иностранной техники. Номенклатура коронок рыхлителей и зубьев ковшей огромна: от легких бульдозеров среднего класса D8 производства Caterpillar (США) до тяжелых бульдозеров типа 776 от фирмы Liebherr (аналог бульдозера D11 производства Caterpillar).

На предприятии в процессе освоения производства и испытания коронок для бульдозеров и изготовлении различной номенклатуры их опытных партий были выявлены два основных замечания:

– преждевременные поломки коронок рыхлителей (для некоторых видов бульдозеров) по типу хрупкого разрушения в местах нагружения и контактах с посадочной поверхностью стойки рыхлителя;

– есоразмерное посадочного места коронки с носиком стойки рыхлителя в виду того, что стойка рыхлителя представляла собой оригинальную деталь иностранного производства, а коронка была отлита в условиях ООО «Воскресенский завод «Машиностроитель».

На основании вышеизложенного сделаем предположение о том, что в процессе реверсивного инжиниринга литых деталей карьерной техники особенно необходимо обращать внимание

на конструктивные параметры посадочных мест коронок (зубьев). Именно через посадочные места этих деталей передаются тяговые усилия бульдозера на стойку рыхлителя, ударно-истирающие воздействия зубьев ковшей экскаваторов и погрузчиков на места их крепления к ним. Важно конструктивно предусмотреть оптимальное сопряжение запасных быстроизнашиваемых деталей с деталями, которые подвергаются защите от повышенного износа в среде горных пород. Также необходимо помимо производства литых запасных быстроизнашиваемых деталей в будущем предусмотреть замену иностранных стоек рыхлителей на изделия отечественного производства. Это позволит избежать возможных вопросов с сопряжением импортозамещенных деталей между собой.

В связи с указанной выше проблемой исследование оптимального контакта посадочного места коронки рыхлителя с посадочным местом стойки рыхлителя представляется весьма актуальным. Результаты исследования позволят эффективно использовать запасные литые быстроизнашиваемые детали отечественного производства на иностранной карьерной и строительной технике.

Целью настоящего исследования является подтверждение основной причины преждевременной поломки коронки рыхлителя, установленной на стойке бульдозера, путем численного моделирования условий нагружения изделия в процессе его эксплуатации по средствам возможностей программного продукта SolidWorks Simulation 2022. Это исследование призвано подтвердить особенности сопряжения посадочных мест коронок для любого типоразмера бульдозера с поверхностями контакта, расположенными на стойке рыхлителя (бульдозера).

Методы и оборудование. Объектом исследования является коронка стойки рыхлителя для бульдозера D375 (производитель Komatsu, Япония), так как именно на ней было выявлено максимальное количество случаев ее преждевременной поломки. Натуральные изделия показаны на рис. 1.



Рис. 1. Натурные изображения коронок стоек рыхлителя:

а) образец коронки D375 иностранного производства (Япония); б) отечественная коронка D375 (Россия)

С помощью технологий реверсивного инжиниринга (трехмерного сканирования) по иностранному образцу изделия была выполнена работа по воссозданию натурального образца – аналога, его распознаванию с помощью специализированного комплекса программ GomInspect Pro.

По результатам совмещения сканированного образца с трехмерной моделью изделия была выполнена оптимизация геометрии коронки стойки рыхлителя. После чего получили расчетную твердотельную модель для исследования, показанную на рис. 2.

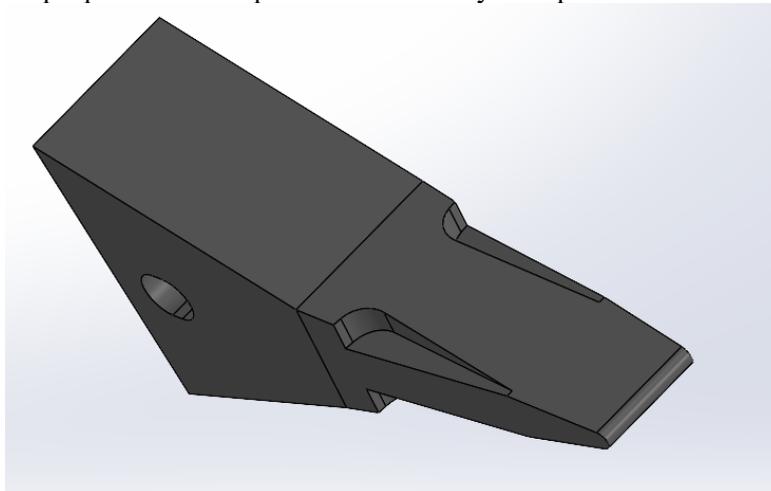


Рис. 2. Твердотельная модель коронки стойки рыхлителя бульдозера D375, созданная в среде SolidWorks 2022 для численного исследования процесса нагружения

При этом иностранный образец коронки был взвешен на промышленных платформенных весах ВСП4-150.2 А9 (750×750) с точностью ± 25 г. Его вес по результатам взвешивания составил 23950 г (23,95 кг). Проектный вес твердотельной модели коронки рыхлителя для бульдозера D375 составляет 24050 г (24,05 кг). Расхождение между иностранным образцом коронки и ее трехмерной моделью составляет 100 г (0,1 кг) – перевес твердотельной модели составляет в процентах – 0,4 %. Рентгеноструктурный анализ иностранной коронки показал, что сталь, из которой

отлито изделие, по своим характеристикам приближается к отечественному аналогу – стали Гадфильда 110Г13Г. Данная сталь обладает превосходными износостойкими характеристиками для инструмента, работающего в толще твердых горных пород [6].

С помощью метода конечных элементов программа SolidWorks Simulation 2022 создала сетку из различных конечных элементов, которая представлена на рис. 3.

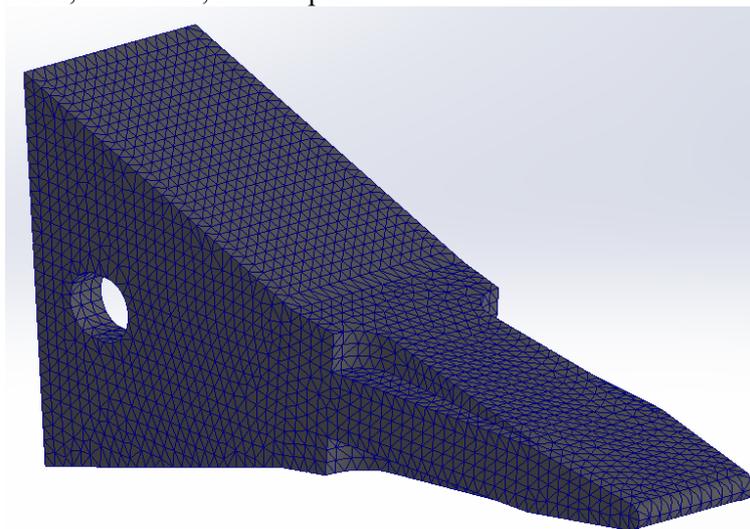


Рис. 3. Расчетная модель коронки рыхлителя, построенная по методу конечных элементов

Сущность методики численного определения деформаций в деталях и узлах механизмов и машин заключается в разбиении некоторой обла-

сти, в которой интересующий нас параметр изменяется по сложному закону, на множество подобластей, связанных между собой в точках соприкосновения [7]. Закон изменения неизвестного

параметра в этих подобластях предполагаем известным [8].

С точки зрения прочностного расчета областью служит объем исследуемой детали. Множество подобластей в этом случае – конечно-элементная сетка (Mesh), показанная на рис. 3, состоящая из треугольных пирамидок – конечных элементов, связанных между собой в вершинах, которые называются узлами сетки (Node). А неизвестным параметром являются перемещения каждой точки этой детали под действием нагрузки. Результатом расчета, соответственно, будет положение каждого узла сетки, которые соответствуют реальному перемещению этой точки детали под действием нагрузки. Опираясь на эти результаты в дальнейшем можно получить

значения деформаций (перемещений) и эквивалентных напряжений для каждого конечного элемента или узла.

Основная часть. Исследование посвящено выявлению факторов, снижающих надежность и долговечность при эксплуатации коронок рыхлителей для бульдозерной техники (на примере коронки для бульдозера D-375 Komatsu, Япония).

При изучении структуры и свойств импортозамещаемого образца коронки для рыхлителя бульдозера D-375 особое внимание обращалось на физико-механические характеристики стали и модуль ее зерна. При исследовании стали оригинальной коронки были определены следующие характеристики, показанные в табл. 1.

Таблица 1

Физико-механические характеристики оригинального образца коронки D-375 (Komatsu, Япония)

Наименование характеристики	Единица измерения	Величина
Марка стали	-	близкая к типу Гадфильда (110Г13Л)
Модуль упругости	Па	$2,0 \cdot 10^{11}$
Коэффициент Пуассона	-	0,27
Модуль сдвига	Па	$7,75 \cdot 10^{10}$
Массовая плотность	кг/м ³	7820
Предел прочности при растяжении	Па	$4,80 \cdot 10^8$
Предел текучести	Па	$3,30 \cdot 10^8$
Коэффициент теплового расширения	1/К	$1,05 \cdot 10^{-5}$
Теплопроводность	Вт/(м·К)	37,2
Удельная теплоемкость	Дж/(кг·К)	455

Стали типа Гадфильда хорошо зарекомендовали себя в горной, цементной и химической промышленности [9]. Однако технологические сложности подготовки стали и отливки из нее запасных частей в условиях отечественного локального производства не представляется возможным в виду ограничений по выплавке таких сталей на технологической линии для фуран-процесса (в условиях конкретного предприятия, в частности ООО «ВЗМ»).

В рамках импортозамещения и снижения затрат на выплавку стали типа Гадфильда была предложена сталь марки 27ХН2МФЛ+Се, раскисленная с помощью церия и дополнительно термообработанная в дуговой печи. При отливке коронки на отечественном предприятии (ООО «ВЗМ») были получены ее следующие физико-механические характеристики, указанные в табл. 2.

Таблица 2

Физико-механические характеристики импортозамещенного образца коронки D-375

Наименование характеристики	Единица измерения	Величина
Марка стали	-	27ХН2МФЛ+Се.
Модуль упругости	Па	$1,95 \cdot 10^{11}$
Коэффициент Пуассона	-	0,26
Модуль сдвига	Па	$7,8 \cdot 10^{10}$
Массовая плотность	кг/м ³	7870
Предел прочности при растяжении	Па	$4,48 \cdot 10^8$
Предел текучести	Па	$2,4128 \cdot 10^8$
Коэффициент теплового расширения	1/К	$1 \cdot 10^{-5}$
Теплопроводность	Вт/(м·К)	38
Удельная теплоемкость	Дж/(кг·К)	440

Модуль (размер) зерна в стали оригинальной коронки D-375 соответствовал $(14-17) \cdot 10^6$ м, полученной отливки на отечественном предприятии (ООО «ВЗМ») – $(13-15) \cdot 10^6$ м. Модуль (размер) зерна определялся в соответствии с методикой [10]. При сравнении физико-механических характеристик сталей и размеров зерен их структур можем заключить, что данные марки сталей аналогами не являются, однако, прочностные параметры работы этих сталей в целом совпадают и могут обеспечить необходимую эксплуатационную надежность при использовании импортозамещенных коронок из стали 27ХН2МФЛ+Се.

Следует учитывать, что не только материал определяет эксплуатационные свойства отливок изнашиваемых запасных частей, но и технология его отливки и термообработка изделий после литья. Поэтому на предприятиях страны совершенствуются технологии реинжиниринга не только получения изделий на стадии конструкторской документации, но и проводятся работы по отработке технологий их производства [11].

Необходимо отметить, что конструкция стойки рыхлителей бульдозеров, рабочая часть которой защищается коронкой, может быть составной и представлять собой сборную конструкцию из разнородных материалов (рис. 4). Такая конструкция стоек хорошо зарекомендовала себя на различных участках горных работ как у нас в стране, так и за рубежом [12]. Крепление составных частей 1 к 2 стойки осуществляется посредством электродуговой сварки.

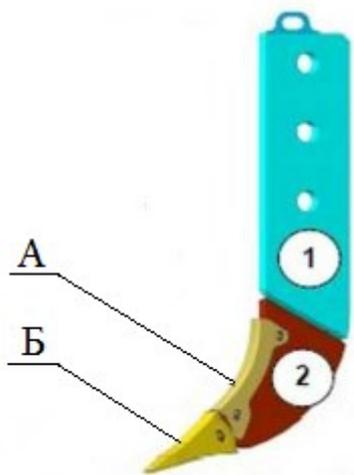


Рис. 4. Конструкция составной стойки рыхлителя для бульдозера D-375 (Komatsu, Япония):

- 1 – шахтная часть; 2 – адаптер; А – протектор;
Б – коронка

В процессе эксплуатации коронки на стойке бульдозера при разработке каменных или скальных пород эти износостойкие и защитные детали могут преждевременно выходить из строя. Это связано с различными факторами:

трудно дробимые горные породы; разнопеременная вскрыша горной породы; низкая квалификация бульдозериста; дефекты при отливке коронок и др. [13]. С целью минимизации влияния негативных факторов на настоящее исследование отбросим квалификацию бульдозериста, дефекты при отливке и прочие факторы. При реверс инжиниринге литых изделий для иностранной техники важно понимать влияние конструктивных особенностей изделия на его продолжительность эксплуатации. В конечном счете это сказывается на простоях бульдозера и может приводить к его серьезным поломкам.

На рис. 5 представлено изображение посадочной части коронки D-375, ее преждевременного разрушения – после 1,5 часов работы. Данные по долговечности работы коронок рыхлителей представлены в работе [14] и в среднем соответствуют 8–10 часам непрерывной работы на каменных грунтах и около 6–7 часов работы на скальных грунтах. Место разрушения коронки свидетельствует о хрупком изломе.



Рис. 5. Расколовшаяся посадочная часть коронки на стойке бульдозера D-375

Отколотая консольная часть коронки D-375 показана на рис. 6. Как видно из изображения, консольная часть коронки имеет незначительный поверхностный износ, что может тоже являться некоторой косвенной причиной в преждевременном разрушении детали. Это связано с уменьшением поперечного сечения коронки, что при постоянных нагрузках может приводить к такому результату. Поэтому необходимо при проектировании коронки закладывать определенный запас прочности конструкции (не менее 30 %) с помощью увеличения поперечного сечения места, в котором произошло разрушение коронки.



Рис. 6. Отколотая консольная часть коронки для бульдозера D-375 (ее посадочная часть показана на рисунке 5)

При визуальном осмотре разрушенной коронки было обнаружено, что между вершиной носовой части стойки рыхлителя и самой коронкой наблюдался относительный зазор в 3-4 мм, что свидетельствует о неплотном контакте лобовой посадочной поверхности коронки с лобовой посадочной поверхностью стойки. Следовательно, происходит снижение величины контакта между стойкой и коронкой. Это в дальнейшем может послужит одной из главных причин преждевременного выхода из строя коронок рыхлителей, которая будет рассмотрена в работах ниже.

Этот негативный фактор снижения долговечности работы коронок связан с неправильной посадкой на стойку и неправильной геометрией посадочной части стойки рыхлителя. Такие особенности могут возникать при некачественной отливке коронок и неточном изготовлении стоек

рыхлителей в результате прямого реверс инжиниринга детали.

Так на рис. 7 показано, что коронка должна плотно устанавливаться на посадочную часть стойки и контакт между ними должен осуществляться по всей боковой посадочной поверхности коронки. Таким образом, конструкция представляет собой единое целое и нагрузки через коронку, защищающую стойку от износа, полнее передаются на посадочное место стойки рыхлителя. Это очень важное условия для эксплуатации стоек рыхлителей и коронок.

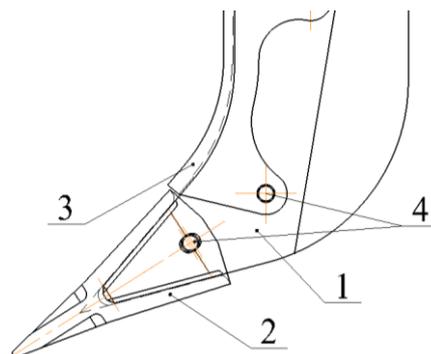


Рис. 7. Принципиальная схема посадки коронки и протектора на стойку рыхлителя: 1 – стойка рыхлителя; 2 – коронка; 3 – протектор; 4 – фиксаторы.

С помощью программного комплекса SolidWorks Simulation 2022 произведем расчет коронок по действующим на них нагрузкам. Величины нагрузок будем определять в соответствии с методикой, указанной в [15] в соответствии с рис. 8.

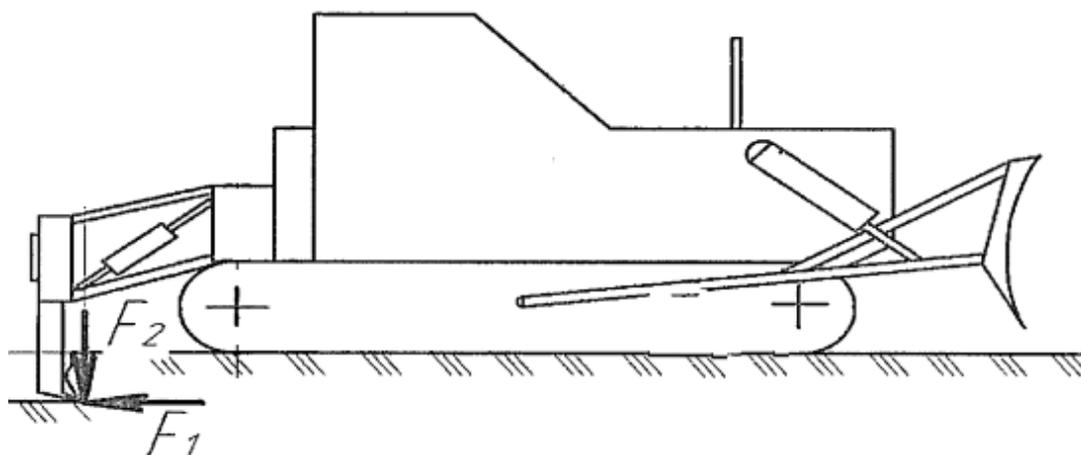


Рис. 8. Схематическое изображение сил, действующих на стойку рыхлителя: F_1 – горизонтальная составляющая результирующей силы рыхлению, кН; F_2 – вертикальная составляющая результирующей сил сопротивления рыхлению, кН

Для расчета нагрузок на коронку рыхлителя необходимо предварительно рассчитать исходные данные. Рассмотрим процесс нагружения коронки давлением сопротивления со стороны

скального грунта. На стойку рыхлителя, защищенную коронкой, действуют две основные силы F_1 и F_2 . Данные величины определяются следующим образом [15]:

$$F_1 = T_H \cdot K_T, \quad (1)$$

где T_H – номинальное тяговое усилие бульдозера – рыхлителя (для D-375 $T_H = 505$ кН), кН; K_T – коэффициент использования тягового усилия рыхлителя, $K_T = 0,8$.

$$F_2 = F_1 \cdot tg(\nu), \quad (2)$$

Здесь ν – угол наклона результирующей сил сопротивления рыхлению, данный параметр принимается в зависимости от типа грунта (для немерзлых грунтов 0° ; для мерзлых грунтов – 20° ; для скальных пород – 30°). В исследовании закладываем условия расчета при рыхлении грунта, представляющего скальные породы, т.е. $\nu = 30^\circ$. Тогда при вычислении давления на рабочую поверхность коронки для настоящего исследования получим, что $F_1 = 404$ кН, $F_2 = 233$ кН. Рабочая контактная поверхность S_k коронки при соприкосновении ее с грунтом составляет $40,5 \cdot 10^{-3}$ м². Суммарную силу сопротивления рыхлению для коронки определяем из выражения [15]:

$$\begin{aligned} \sum F &= \sqrt{(F_1)^2 + (F_2)^2} = \sqrt{404^2 + 233^2} = \\ &= \sqrt{217505} = 466 \text{ кН} \end{aligned} \quad (3)$$

Зная суммарную нагрузку, действующую на коронку в слое скальных пород и площадь контакта ее с породой, определим по формуле давление, приходящееся на ее рабочую контактную поверхность по формуле [16]:

$$P = \frac{\sum F}{S_k}, \quad (4)$$

где S_k – рабочая контактная площадь коронки в слое скального грунта, м² (численное значение приводится выше в тексте статьи).

Таким образом для исследования получаем расчетное контактное давление P , действующее на коронку со стороны скального грунта, равное 11,5 МПа. Данное расчетное контактное давление на такую относительно малую величину площади представляет собой значение, оказывающее решающее воздействие при восприятии коронкой и стойкой сопротивления скального грунта. При этом отметим, что консольная часть коронки работает на изгиб с истиранием и частичным ударным воздействием.

Зная все необходимые данные для расчета, рассмотрим два случая нагружения коронок. Первый случай: когда коронка своей посадочной внутренней поверхностью максимально контактирует с посадочным местом стойки рыхлителя, то есть контакт осуществляется по трем поверхностям (двум плоским и одной криволинейной), как показано на рис. 9. Выше высказанное пред-

положение о том, что плотная контактная посадка коронки на посадочное место стойки рыхлителя обеспечивает повышенный ресурс работы самой коронки и стойки, необходимо подтвердить рассмотрев несколько случаев: первый как показано на рис. 9 и второй, как показано на рис. 10.

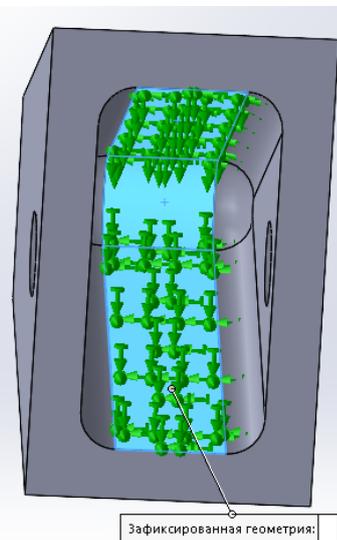


Рис. 9 Для расчета первого случая: поверхности максимального контакта посадочных мест коронки со стойкой рыхлителя

Второй случай (рис. 10): когда коронка своей посадочной внутренней поверхностью контактирует с посадочным местом стойки рыхлителя только по двум плоским поверхностям. Данная расчетная модель представлена для численного моделирования этого случая зафиксированной геометрий, изображенной на рис. 10. Этот случай рассматривается по причине производства коронок различными предприятиями с отличными друг от друга допусками на отливки, а также самостоятельным изготовлением самих стоек рыхлителей, конструкторская документация на которые получена, как и в случае с коронкой, с помощью прямого реверсивного инжиниринга. По результатам расчетов в программе SolidWorks Simulation 2022 были получены следующие результаты.

По первому случаю: на рис. 11 показано положение нагрузки в виде распределенного контактного давления P по площади S_k (такое же распределение давления по площади будет рассматриваться и во втором случае).

Результаты численного моделирования представим в виде эпюр эквивалентных напряжений, перемещений и мест с коэффициентом запаса прочности менее 1,3. На рис. 12 показана эпюра эквивалентных напряжений для первого случая нагружения.

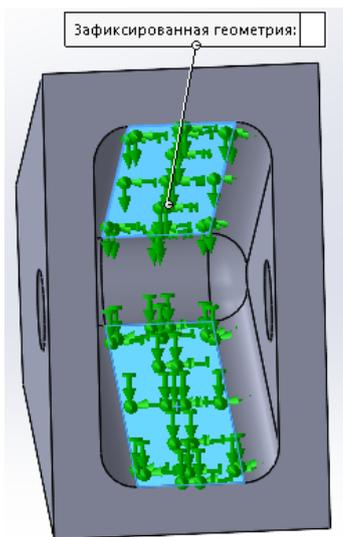


Рис. 10 Для расчета второго случая: плоскости контакта посадочных поверхностей коронки со стойкой рыхлителя при относительном зазоре между ними в 3–4 мм

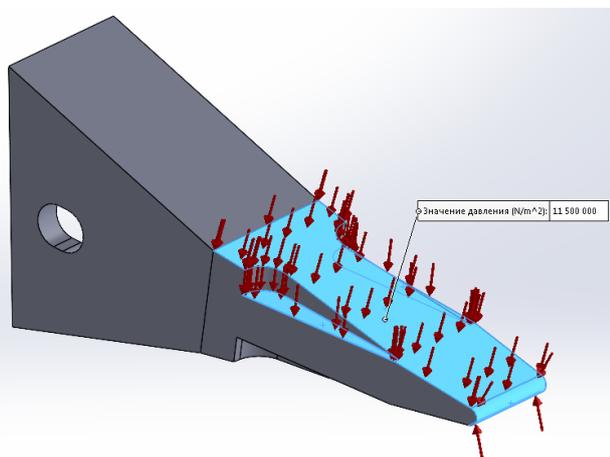


Рис. 11 Схема распределения контактного давления P по контактной со скальным грунтом поверхности S_к

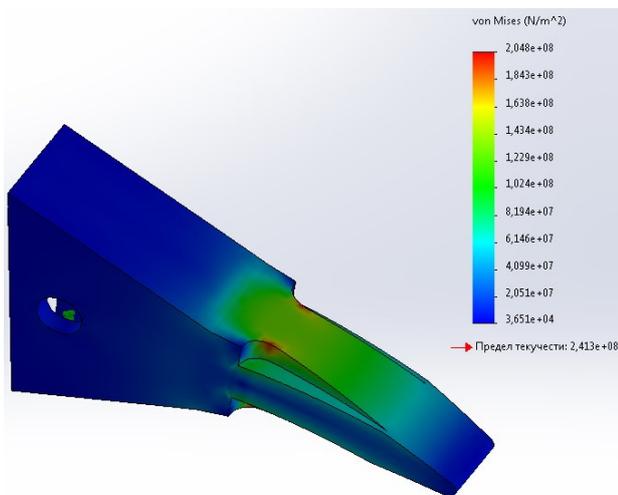


Рис. 12. Эпюра эквивалентных напряжений (на консольной части коронки) при первом случае ее нагружения контактным давлением P = 11,5 МПа

Из результатов расчета видно, что сталь марки 27ХН2МФЛ+Се удовлетворяет требованиям эксплуатации коронки: предел текучести стали 241,3 МПа, максимальные эквивалентные напряжения для этой стали не превышают 204,8 МПа. В данном случае условия прочности выполняется. Однако, необходимо обратить внимание на место разрушения коронки, показанное на рис. 5 - 6. Именно в этом месте наблюдаются максимальные значения эквивалентных напряжений (эпюра эквивалентных напряжений представлена на рис. 13).

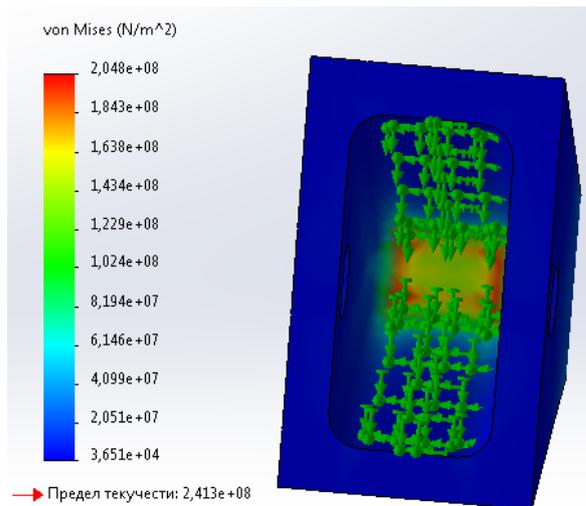


Рис. 13. Эпюра эквивалентных напряжений посадочной части коронки при первом случае ее нагружения контактным давлением P = 11,5 МПа

Из рис. 13 можно сделать вывод, что максимальные эквивалентные напряжения в коронке находятся в ее посадочной части, что в свою очередь, требует беззазорного контакта с посадочным местом стойки рыхлителя. В противном случае, в этом поперечном сечении площади коронки при ее длительной эксплуатации и интенсивном износе будет недостаточно, чтобы выдержать ее нормативное нагружение при работе в скальных грунтах. Таким образом, заключаем, что для повышения коэффициента запаса прочности в данном поперечном сечении необходимо увеличить площадь коронки на 10 %. При этом вес коронки увеличится не значительно (на 4 %, на 1,15 кг при общем весе коронки в 26,1 кг), а эксплуатационная надежность возрастет на 20–30 %.

На рис. 14 показаны эпюры перемещений под действием контактного давления P = 11,5 МПа. Максимальное перемещение зафиксировано на конце консольной части коронки и составляет $0,6533 \cdot 10^3$ м (0,6533 мм). На посадочной части коронки расчетные перемещения представляют собой бесконечно малые значения и их в исследовании не анализируем.

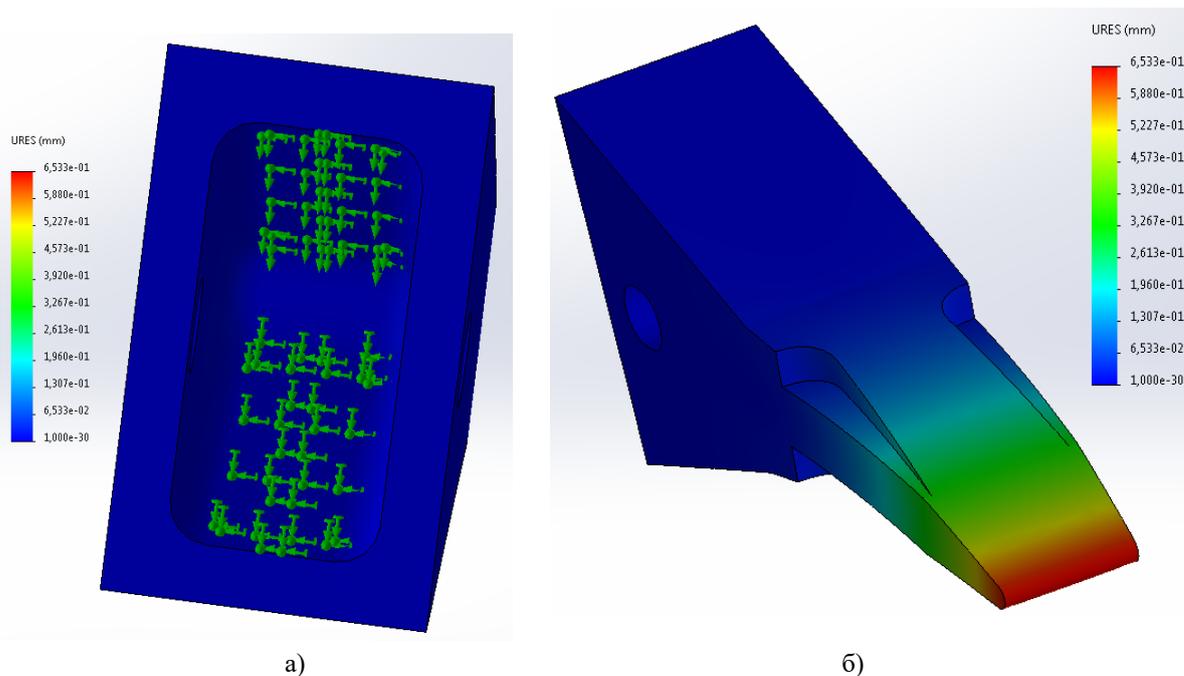


Рис. 14. Эпюры перемещений точек коронки, определяемые конечными элементами (сеткой), относительно которой производился расчет: а) – посадочная часть коронки; б) – консольная часть коронки

С помощью изображения мест, коэффициент прочности в которых менее 1,3, показанных на рис. 15, соотнесим характер преждевременного разрушения коронки (рис. 5–6). Очевидно, что расчетные места, в которых не обеспечивается коэффициент запаса прочности равный 1,3 совпадают с плоскостью разрушения коронки (граница между посадочной и консольной частями коронки). Соответственно, это доказывает, что в первом случае, даже при плотной

(беззазорной) посадке коронки на стойку в изделии возникают места, в которых эквивалентные напряжения удовлетворяют условию прочности, однако, резко снижают эксплуатационную надежность коронки по причине изначально малого заложенного коэффициента прочности изделия и относительного износа контактных поверхностей во время ее использования.

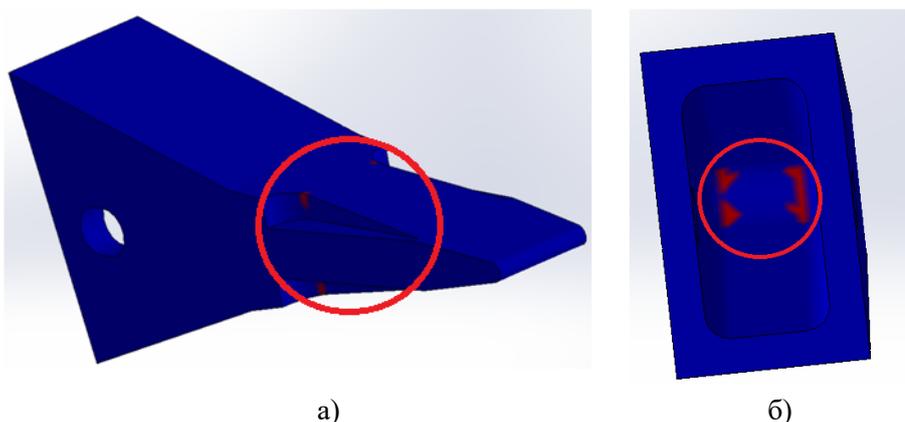


Рис. 15 Эпюра мест коронки, в которых не выполняется условие прочности при коэффициенте запаса прочности равном 1,3: а) – консольная часть коронки; б) – посадочная часть коронки

Для увеличения коэффициента запаса прочности коронки при ее работе относительно расчетной схемы, показанной на рис. 9 и 11, необходимо увеличить поперечное сечение на границе между посадочной и консольной частями, как это было предложено ранее в данном исследовании: необходимо произвести конструктивное увеличение площади поперечного сечения коронки.

Теперь рассмотрим второй случай (рис. 10), когда плоскости контакта посадочных поверхностей коронки со стойкой рыхлителя при относительном зазоре между ними в 3–4 мм являются местами передачи нагружения коронки контактным давлением $P = 11,5$ МПа (рис. 11). На рис. 16 показан результат расчета эквивалентных напряжений в изделии при давлении

$P = 11,5$ МПа. Здесь следует отметить, что условие прочности для данного случая исследования не выполняется. Предел текучести стали марки 27ХН2МФЛ+Се $\sigma_T = 241,3$ МПа при максимальных расчетных эквивалентных напряжениях равных $\sigma_{\text{ЭКВ}} = 272,2$ МПа. Заключаем для второго случая, что изделия, посаженные на стойку рыхлителя и опирающиеся на нее

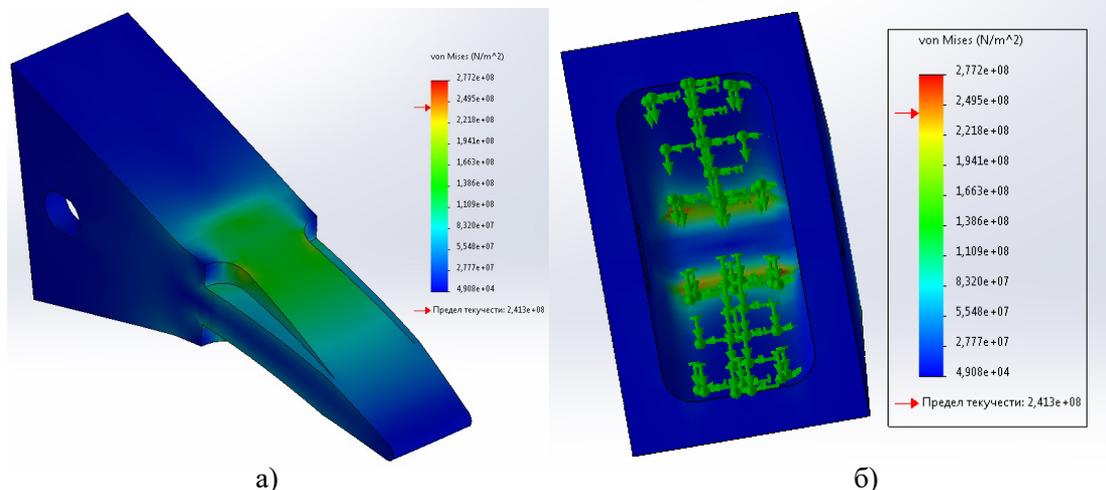


Рис. 16. Эпюры эквивалентных напряжений при втором случае ее нагружения контактным давлением $P = 11,5$ МПа: а) – консольная часть коронки; б) – посадочная часть коронки

Исходя из результатов расчета, представленных на рис. 16, отметим, что максимально возможное перемещение, возникаемое в теле коронки наблюдается также, как и в первом случае на носу консольной части изделия и составляет $0,7019 \cdot 10^3$ м ($0,7019$ мм), что на 7,5 % больше предыдущего рассматриваемого случая (рис. 17).

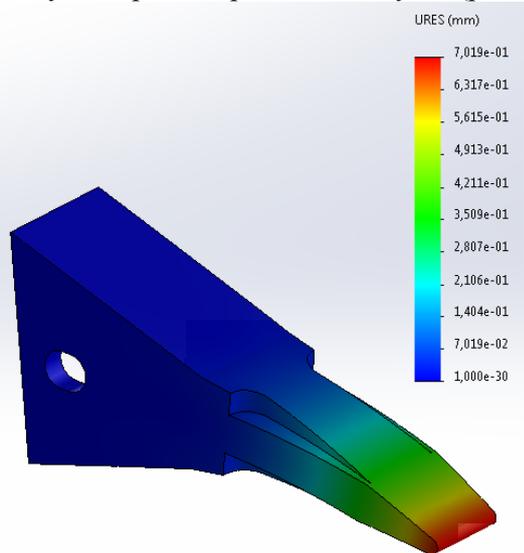


Рис. 17. Эпюры перемещений точек коронки, определяемые конечными элементами (сеткой), относительно которой производился расчет (второй случай)

Определение мест, коэффициент прочности в которых менее 1,3, для второго случая по аналогии как это делалось для первого случая, показанного на рис. 15, не производилось по причине

только по двум плоскостям (как показано на рис.10), не смогут обеспечить эксплуатационную надежность и долговечность использования коронки, и она преждевременно сломается во время эксплуатации (как показали эксперименты – уже на стадии заглубления стойки рыхлителя в скальный грунт наблюдались разрушения коронок).

невыполнения условия прочности в исследовании для расчета второго случая нагружения коронки. Очевидно, что таких мест в объеме изделия будет больше, а рассмотрение их величины на данном этапе не целесообразно.

В результате проведенных численных расчетов и моделирования необходимо отметить, что плотная беззазорная посадка коронки на стойку обеспечивает ею правильное восприятие нагрузки как единого целого. При этом, большая площадь контакта коронки со стойкой снижает в целом действие рабочего контактного давления грунта на всю объемную форму коронки, равномерно распределяя и перенося усилия на посадочную часть стойки. Таким образом, снижается количество случаев преждевременного выхода из строя коронок, как основной расходной единицы для рыхлителя. Следовательно, плотная контактная посадка коронки на посадочную часть стойки рыхлителя обязательна при переносе параметров на изделие с помощью реверсивного инжиниринга, а также обязательна для обеспечения надежной эксплуатации самой стойки рыхлителя, установленной в шахте бульдозера. Такие особенности необходимо учитывать на всех типоразмерах бульдозеров и коронок, которые для подобных бульдозеров применяются.

Выводы. В результате исследований установлено, что плотная беззазорная посадка коронки на посадочную часть стойки рыхлителя обеспечивает надежную эксплуатацию и защиту

стойки от износа. Установлено, что условие прочности в момент численного моделирования для коронки выполняется только в том случае, когда посадочная часть самой коронки максимально касается посадочной части стойки рыхлителя, то есть контакт коронки со стойкой осуществляется по максимальной площади соприкосновения – контакта.

Получены численные расчеты напряжений и перемещений в коронках при различных способах их закрепления на посадочной части стойки. При этом, в первом рассматриваемом случае наблюдается обеспечение условия прочности при работе коронки на скальных грунтах, во втором рассматриваемом случае наблюдается отсутствие соблюдения условия прочности и показаны характерные места, в которых коэффициент запаса прочности не превышает 1,3 (30 %). По результатам рассмотрения такого случая (численного моделирования) необходимо увеличивать поперечное сечение места перехода консольной част коронки к посадочной ее части на 10 % (на 1,15 кг на одно изделие – 4 %).

Определено расчетным путем, что при увеличении площади поперечного сечения места перехода консольной части коронки к посадочной ее части на 10 % эксплуатационная надежность возрастет на 20–30 % при работе рыхлителя на скальных грунтах.

Экспериментально подтверждена адекватность использования стали марки 27ХН2МФЛ+Се с пределом текучести $\sigma_T = 241,3$ МПа для изделий типа коронка рыхлителя на примере бульдозера японской фирмы Komatsu D-375.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Горшков Э.В., Боярских Г.А., Сватковский Л.В., Могилат В.Л. О применении мощной бульдозерной техники на карьерах // Известия Уральского государственного горного университета. 1998. С. 75–79.

2. Хужаназаров Б.Ф. Выбор материала и метода повышения износостойкости режущих элементов бульдозеров // Механика и технология. 2022. №2. С. 218–223.

3. Мощенко В.И., Тарабанова В.П., Лалазарова Н.А., Проскурня Н.А. Выбор материала и метода повышения износостойкости режущих элементов бульдозеров // Вестник Харьковского национального автомобильно-дорожного университета. 2007. С. 117–120.

4. Качаев А.Е., Чемеричко Г.И., Севостьянов В.С. Экспериментальные исследования по повышению абразивной износостойкости пальцев

дезинтегратора // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2024. № 1. С. 112–121. DOI 10.34031/2071-7318-2023-9-1-112-121.

5. Шаповалов А.И. Определение динамических нагрузок в гусеничной транспортной системе в горных условиях эксплуатации // Проблемы эксплуатации и обслуживания транспортно-технологических машин: Материалы международной научно-технической конференции. Тюменский государственный нефтегазовый университет. 2008. С. 223–225.

6. Стаханова Я.А. Применение современных материалов в машиностроительном производстве // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2019. № 6. С. 354–357.

7. Булавин В.Ф., Булавина Т.Г. Валидация САД-продуктов в малых предприятиях машиностроительного сектора. // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. 2017. № 5(325). С. 64–72.

8. Булавин В.Ф., Яхричев В.В. Метод конечных элементов: нестандартные решения для матрицы жесткости // Современные материалы, техника и технологии. 2016. № 4(7). С. 28–32.

9. Гуськов А.В., Милевский К.Е., Яковлев А.Г. Сравнительный анализ упрочнения стали Гадфильда статической и высокоскоростной нагрузкой // Наука. Промышленность. Оборона. XV Всероссийская научно-технической конференция. Новосибирск: НГТУ, 2014. С. 207–210.

10. Анисович А.Г., Румянцева И.Н., Бислюк Л.В. Определение балла зерна стали компьютерными методами // Литье и металлургия. 2010. № 3S(57). С. 100–104.

11. Водин Д.В. Применение технологии обратного инжиниринга в машиностроении // Технические науки: проблемы и перспективы: материалы IV Междунар. науч. конф. Санкт-Петербург: Свое издательство. 2016. С. 67–69. URL: <https://moluch.ru/conf/tech/archive/166/10534/>

12. Кузнецов С.М. Повышение эффективности применения машин и механизмов в строительстве. Монография. Москва, 2015. 203 с.

13. Мелентьев А.В. Особенности проведения практических занятий при повышении квалификации сотрудников по программе "Горная и высотная подготовка" // Образование и право. 2021. № 9. С. 325–328. DOI 10.24412/2076-1503-2021-9-325-328.

14. Шагарова О.Н. Факторы, влияющие на долговечность горно-обогатительного оборудования при абразивном изнашивании // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2010. № 11. С. 178–181.

15. Шемякин С.А., Лещинский А.В. Расчет землеройных машин: учеб. пособие. Хабаровск: Изд-во Тихоокеанского государственного университета. 2014. 55 с.

16. Карасев Г.Н. Расчет на прочность и надежность элементов металлоконструкции рабочего оборудования строительных и дорожных машин: учеб. пособие. Москва, 2006. 135 с.

Информация об авторах

Качаев Александр Евгеньевич, кандидат технических наук, заведующий кафедрой строительного производства. E-mail: doctor_cement@mail.ru. Коломенский институт (филиал) Московского политехнического университета. Россия, 140402, Московская область, г. Коломна, ул. Октябрьской революции, дом 408.

Поступила 28.05.2024 г.

© Качаев А.Е., 2024

Kachaev A.E.

Kolomna Institute (branch) of Moscow Polytechnic University,

E-mail: doctor_cement@mail.ru

INVESTIGATION OF THE CAUSES OF PREMATURE FAILURE OF THE CROWN OF THE RIPPER STRUCTURE PRODUCED USING DIRECT RE-ENGINEERING TECHNOLOGIES

Abstract. *When testing imported ripper bits for bulldozer equipment, their premature failure was observed. In the process of studying the loading of the crown by the contact pressure of rocky soils at $P = 11.5$ MPa, it turned out that only a tight, gap-free installation of the crust on the landing part of the ripper strut ensures reliable operation and protection of the stand from wear and promotes its long-term operation in conditions of rock crushing. It has been established that the strength condition for the crown is satisfied only in the case when the landing part of the crown itself maximally touches the landing part of the ripper post, that is, the contact of the crown with the post is carried out along the maximum area of contact - contact. In this case, equivalent stresses are observed that are less than the yield stresses for steel, which was proposed in the study as wear-resistant for work on rocky soils. The study carried out numerical calculations of stresses and displacements in the crowns for various methods of their attachment to the landing part of the ripper strut. In the first case under consideration, the strength conditions are observed when the crown is working on rocky soils; in the second case under consideration, there is a lack of compliance with the strength conditions and characteristic places are shown in which the safety factor is less than 1.3 (30%). Based on the results of the study for this case (numerical modeling), it was decided to increase the cross-section of the transition point of the cantilever part of the crown to its landing part by 10%. At the same time, it was determined by calculation that with an increase in the cross-sectional area of the transition point of the cantilever part of the crown to its landing part by 10 %, operational reliability will increase by 20-30% when the ripper operates on rocky soils. As a result of the study, the possibility of using steel grade 27HN2MFL+Ce for crown-type products was experimentally confirmed.*

Keywords: *stand, crown, ripper, dozer, working pressure, displacement, equivalent stresses.*

REFERENCES

1. Gorshkov E.V., Boyarskikh G.A., Svatkovsky L.V., Mogilat V.L. On the use of powerful dozer equipment in quarries [O primeneniі moshchnoy bul'dozernoy tekhniki na kar'yerakh]. News of the Ural State Mining University. 1998. Pp. 75–79. (rus)
2. Khuzhanazarov B.F. Selection of material and method of increasing the wear resistance of cutting elements of dozers [Vybor materiala i metoda povysheniya iznosostoykosti rezhushchikh elementov bul'dozеров]. Mechanics and technology. 2022. No. 2. Pp. 218–223. (rus)
3. Moshchenok V.I., Tarabanova V.P., Lalazarova N.A., Proskurnya N.A. Selection of material and method of increasing the wear resistance of cutting elements of dozers [Vybor materiala i metoda povysheniya iznosostoykosti rezhushchikh elementov bul'dozеров]. Bulletin of the Kharkov National Automobile and Highway University. 2007. Pp. 117–120. (rus)
4. Kachaev A.E., Chemerichko G.I., Sevostyanov V.S. Experimental studies to increase the abrasive wear resistance of disintegrator fingers [Eksperimental'nyye issledovaniya po povysheniyu abraziivnoy iznosostoykosti pal'tsev dezintegratora]. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2024. No. 1. Pp. 112–121. DOI: 10.34031/2071-7318-2023-9-1-112-121. (rus)
5. Shapovalov A.I. Determination of dynamic loads in a tracked transport system in mountain operating conditions [Opredeleniye dinamicheskikh nagruzok v gusenichnoy transportnoy sisteme v

gornykh usloviyakh ekspluatatsii]. Problems of operation and maintenance of transport and technological machines: Proceedings of the international scientific and technical conference. Tyumen State Oil and Gas University. 2008. Pp. 223–225. (rus)

6. Stakhanova Ya.A. Application of modern materials in mechanical engineering [Primeneniye sovremennykh materialov v mashinostroitel'nom proizvodstve]. News of Tula State University. Technical science. 2019. No. 6. Pp. 354–357. (rus)

7. Bulavin V.F., Bulavin T.G. Validation of CAD products in small enterprises of the mechanical engineering sector [Validatsiya CAD-produktov v malykh predpriyatiyakh mashinostroitel'nogo sektora]. Fundamental and applied problems of engineering and technology. 2017. No. 5(325). Pp. 64–72. (rus)

8. Bulavin V.F., Yakhrichev V.V. Finite element method: non-standard solutions for the stiffness matrix [Metod konechnykh elementov: nestandartnyye resheniya dlya matritsy zhestkosti]. Modern materials, equipment and technologies. 2016. No. 4(7). Pp. 28–32. (rus)

9. Guskov A.V., Milevsky K.E., Yakovlev A.G. Comparative analysis of hardening of Hadfield steel with static and high-speed loading [Sravnitel'nyy analiz uprochneniya stali Gadfil'da staticheskoy i vysokoskorostnoy nagruzkoy]. Science. Industry. Defense. XV All-Russian Scientific and Technical Conference. Novosibirsk: NSTU, 2014. Pp. 207–210. (rus)

10. Anisovich A.G., Rumyantseva I.N., Bislyuk L.V. Determination of steel grain grade using computer methods [Opredeleniye balla zerna stali komp'yuternymi metodami]. Casting and metallurgy. 2010. No. 3S(57). Pp. 100–104. (rus)

11. Vodin D.V. Application of reverse engineering technology in mechanical engineering [Primeneniye tekhnologii obratnogo inzhiniringa v

mashinostroyenii]. Technical sciences: problems and prospects: materials of the IV International scientific conf. St. Petersburg: Svoe publishing house. 2016. Pp. 67–69. URL: <https://moluch.ru/conf/tech/archive/166/10534/> (rus)

12. Kuznetsov S.M. Increasing the efficiency of using machines and mechanisms in construction [Povysheniye effektivnosti primeneniya mashin i mekhanizmov v stroitel'stve]. Monography. Moscow. 2015. 203 p. (rus)

13. Melentyev A.V. Peculiarities of conducting practical training during advanced training of employees under the program "Mining and high-altitude training" [Osobennosti provedeniya prakticheskikh zanyatiy pri povyshenii kvalifikatsii sotrudnikov po programme "Gornaya i vysokaya podgotovka"]. Education and Law. 2021. No. 9. Pp. 325–328. DOI: 10.24412/2076-1503-2021-9-325-328. (rus)

14. Shagarova O.N. Factors influencing the durability of mining and processing equipment during abrasive wear [Fakторы, vliyayushchiye na dolgovechnost' gorno-obogatitel'nogo oborudovaniya pri abrazivnom iznashivanii]. Mining Information and Analytical Bulletin (scientific and technical journal). 2010. No. 11. Pp. 178–181. (rus)

15. Shemyakin S.A., Leshchinsky A.V. Calculation of earth-moving machines: textbook. allowance [Raschet zemleroynykh mashin: ucheb. posobiye]. Khabarovsk: Pacific State University Publishing House. 2014. 55 p. (rus)

16. Karasev G.N. Calculation of strength and reliability of metal structure elements of working equipment of construction and road machines: textbook. allowance [Raschet na prochnost' i nadezhnost' elementov metallokonstruktsii rabocheho oborudovaniya stroitel'nykh i dorozhnykh mashin: ucheb. posobiye]. Moscow, 2006. 135 p. (rus)

Information about the author

Kachaev, Aleksandr E. PhD, Head of the Department of Construction Production. E-mail: doctor_cement@mail.ru. Kolomna Institute (branch) of Moscow Polytechnic University. Russia, 140402, Moscow region, Kolomna, st. October Revolution, building 408.

Received 28.05.2024

Для цитирования:

Качаев А.Е. Исследование причин преждевременной поломки коронки стойки рыхлителя, произведенной с помощью технологий прямого реинжиниринга // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2024. №8. С. 98–110. DOI: 10.34031/2071-7318-2024-9-8-98-110

For citation:

Kachaev A.E. Investigation of the causes of premature failure of the crown of the ripper structure produced using direct re-engineering technologies. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2024. No. 8. Pp. 98–110. DOI: 10.34031/2071-7318-2024-9-8-98-110

DOI: 10.34031/2071-7318-2024-9-8-111-118

^{1,*}Мамонтов А.Н., ²Шпиганович А.Н., ²Шпиганович А.А.¹ПАО Новоліпецький металургічний комбінат²Ліпецький державний технічний університет

*E-mail: mamontov.anton2015@mail.ru

ТЕПЛОВИЗИОННЫЙ КОНТРОЛЬ ТОКОПРОВОДОВ ПРОМЫШЛЕННЫХ АГРЕГАТОВ

Аннотация. За последние 20 лет промышленное производство в России выросло почти на 80 %. Увеличение нагрузки, вызванное ростом мощностей предприятия, требует исполнения распределительных устройств большого сечения, чего можно достигнуть применением параллельно проложенных кабельных линий или с помощью газовых токопроводов. Согласно российским правилам и нормам, разработанным сетевыми компаниями, контролирующими параметры работы энергетических установок, токопровод – это устройство, выполненное в виде шин или проводов с изоляторами и поддерживающими конструкциями для передачи и распределения электрической энергии в пределах электростанции, подстанции. Рассмотрено их назначение в системе электроснабжения, конструктивные особенности, включающие в себя проводящие, заземленные и другие вспомогательные токоведущие части и строительные конструкции, методы контроля и диагностики, неисправности, возникающие в ходе эксплуатации, описана оптимальная периодичность для выявления неисправностей токопровода. В качестве исследования проведен тепловизионный контроль гибких водоохлаждаемых токопроводов напряжением 0,4 кВ агрегата «печь-ковш», токопроводов напряжением 10 кВ, а также элегазовых токопроводов напряжением 110 кВ. Представлены термограммы локальных нагревов, сделаны выводы о влиянии диагностики токопровода на эффективность его работы и причинах возникновения перегрева конструкций.

Ключевые слова: токопровод, тепловизионный контроль, нагрев, старение, провалы напряжения.

Введение. Комплектный экранированный токопровод предназначен для электрического соединения генератора с силовыми трансформаторами, а также с трансформаторами собственных нужд и цепей возбуждения электростанций. Токопровода представляют собой сложную конструкцию, выполненную из проводников, изолированных от заземленных частей твердыми диэлектрическими материалами, имеющих защитную оболочку, ответственные устройства для защиты от магистральных шин, поддерживающие и опорные части. Данный элемент обеспечивает видимый разрыв до токоведущих частей, что упрощает процедуру технического обслуживания, осмотров и повышает безопасность электроустановок. Отказ токопровода способен привести к возгоранию в ходе проведения технологического процесса, а в элегазовых подстанциях – к выбросу элегаза в закрытом пространстве и возможности отравления человека парами фторидов и оксида серы. Диагностика токопровода разрабатывается с целью определения качественных и количественных характеристик, с помощью которых можно охарактеризовать их техническое состояние как объекта, обеспечивающего непрерывное функционирование производства и передачи электрической энергии. Самым распространенным методом диагностики, выявляющим неисправности, является тепловизионный контроль

[1–3]. Основными неисправностями, выявляемыми в ходе контроля и диагностики, являются дефекты контактных соединений, выравнивающих обкладок, заземлений и твердой изоляции [4–6]. Целью данной работы, обозначается научная проблематика исследования неисправностей, связанная с учетом особенностей протекания тока внутри элементов конструкции токопровода как основного элемента электрических машин и преобразователей энергии, а научной новизной является фундаментализация метода тепловизионного контроля как источника проведения мониторинга определения неисправностей в случае влияния негативных производственных факторов, связанных с их возникновением, на технологический процесс, ранее не описываемой.

Материалы и методы. Согласно требованиям инструкции по эксплуатации тепловизионный контроль необходимо выполнять в межсезонье, как правило весной или осенью, желательно до восхода солнца ввиду возможности образования конденсата внутри токопровода, что может привести к образованию трещин внутри экрана, а также выявлению участков с пробитыми изоляторами. Возникающие при проведении осмотра нагревы изоляторов внутри экрана проявляются в виде возникающих по исследуемой поверхности токопровода температурных аномалий [7]. Измерения желательно проводить в безветрен-

ную погоду, скорость ветра не должна превышать 4 м/с. Ориентировка тепловизора с учетом поверхности измерения должна проводиться при следующих пределах: 0–60 °С – для окрашенных поверхностей, 0–40 °С – для металлических поверхностей.

Основная часть. Токопроводы напряжением 0,4 кВ в зависимости от конструктивного исполнения делятся на пофазно-изолированные и гибкие водоохлаждаемые [8-11]. В данной работе мы рассмотрим второй тип. Его конструкция представляет собой медный провод с расчетной токовой нагрузкой 150 кА, прикрепленный к медным наконечникам и помещенный в резиноканевый напорный рукав. Для уменьшения потерь на нагрев плотность тока принимают равным 2,3–3 А/мм². Благодаря данному исполнению токопровода появляется возможность установки фаз как можно ближе между собой, что приводит к снижению индуктивного сопротивления между фазами, обеспечивается наиболее эффективный способ подвода тока к электрододержателю и его охлаждению, что позволяет обеспечить высокую эффективность подключения индукционной или дуговой печи к шинам батарей конденсаторов и обеспечивают свободный ход при проведении плавильных мероприятий в ходе подъема печи в положении конденсационного слива металла. Водоохлаждаемые токопроводы выполняются в виде кабеля из меди, помещенного в защитный рукав, на концах которого применяется подача воды для отвода тепла, располагаются специальные медные наконечники с расположенными на них штуцерами. Температура воды до и после проведения плавки должна составлять 40–50 °С. Данный проводник используется в составе работы агрегата «печь-ковш» индукционных сталеплавильных печей [12], необходимых для обработки сталей различных марок: низко – и углеродистой, низколегированной, электротехнической, применяемой в автомобильной, строительной, бытовой промышленности и в качестве производства стали для электрического транспорта. Термограмма изображена на рис. 1.



Рис. 1. Термограмма гибкого водоохлаждаемого токопровода 0,4 кВ

Токопровод данного агрегата служит в составе конструкции подъема электродов, состоящей из подъемных колонн с мачтовыми опорами, подъемных цилиндров, осуществляющих их подъем и опускание, дополнительно оснащенными гидропанелями, напрямую подключаемыми к гидравлической магистрали. Цилиндры необходимы для поддержания электрической дуги в ходе плавки агрегата «печь-ковш» между электродами и ванной металла. Электрододержатели крепятся к водоохлаждаемой горизонтальной секции колонн, которая называется опорой и имеет полную электрическую изоляцию. Для

контроля качества проведения плавильного процесса необходимо обеспечить требуемое усилие затяжки болтов стяжных шпилек на данном агрегате, которое должно составлять 800 кН, при необходимости требуется заделка изоляционной пластины высокотемпературным силиконовым герметиком. Исходя из рис. 1 можно предположить о протекании тока повышенной величины в месте контакта, вызванного недостаточным контролем нагрузки.

Далее рассмотрим токопровода, относящиеся к генераторному типу. В зависимости от типа

охлаждения они делятся на токопроводы с естественным и принудительным охлаждением. Они могут встраиваться напрямую в генераторную обмотку при токовых нагрузках 28–40 кА при максимальном уровне напряжения до 36 кВ. В данной статье рассмотрен первый тип, отличающийся сравнительной простотой и возможностью сведения к минимуму сервисного обслуживания, а также снижению уровня магнитного поля менее 5 %. Данное исполнение токопровода в случае возникновения короткого замыкания на одну фазу при пробое воздушного промежутка не сможет ухудшить изолирующую способность других фаз. Изоляторы имеют защиту от влаги и пыли. Экранирование проводящих частей гарантирует безопасность для обслуживающего персонала. Таким образом, междуфазное короткое замыкание для турбоагрегатов становится практически невозможным.

Токопровода напряжением 10 кВ [13, 14] впервые появились в 2008 году и применяются в качестве связующих элементов между бесщеточными турбогенераторами и силовыми трансформаторами. Исполнение позволяет эксплуатировать их внутри комплектных распределительных устройств. Токопровод представляет собой соединение из отдельных секций (блоков), изготавливаемых на заводе. Их основными преимуществами являются возможность прокладки единой цельносвариваемой конструкцией по всей длине трассы, возможность контроля всех сварных швов, возможность легкой и быстрой замены изоляторов в случае ремонта, изготовление изоляторов из полимера, сравнительно малая масса

по сравнению с другими электроэнергетическими объектами, высокая степень защиты (IP 54), а также отсутствие стальных элементов в конструкции. Каждая фаза элемента представляет собой шину, выполненную из меди либо алюминия, внешнего кожуха, служащего экраном заземления, и изолятора, приклепленного к крышке, которая соединяется с кожухом болтами. Шина закрепляется на изоляторе специальным держателем. Токопроводы по периметру прокладки трассы могут выполняться прямолинейными, угловыми, Т-образными и Z-образными. В зависимости от конструктивного исполнения в соответствии с техническим планом они могут оснащаться трансформаторами тока, напряжения, ограничителями перенапряжения, трехполюсными заземлителями, проходными изоляторами и другим электрическим оборудованием. Термограммы представлены на рис. 2–4. Согласно [15] температура токопровода напряжением 10 кВ может достигать 75 °С.

Если рассмотреть термограммы, изображенные на рис. 2–4, то в результате анализа можно сделать заключение, что нагревы токопроводов возникли в месте крепления заземляющего контура с кожухом, что привело к его ускоренному старению. Данные токопроводы работают в составе блока генератор-трансформатор, поэтому на время ремонта может допускаться токовая перегрузка одного-двух турбогенераторов на 15–20% для обеспечения режима максимальной отдачи системы электроснабжения, что в результате может привести к перегреву.



Рис. 2. Термограмма вертикального токопровода напряжением 10 кВ турбогенератора № 1



Рис. 3. Термограмма вертикального токопровода напряжением 10 кВ турбогенератора № 2

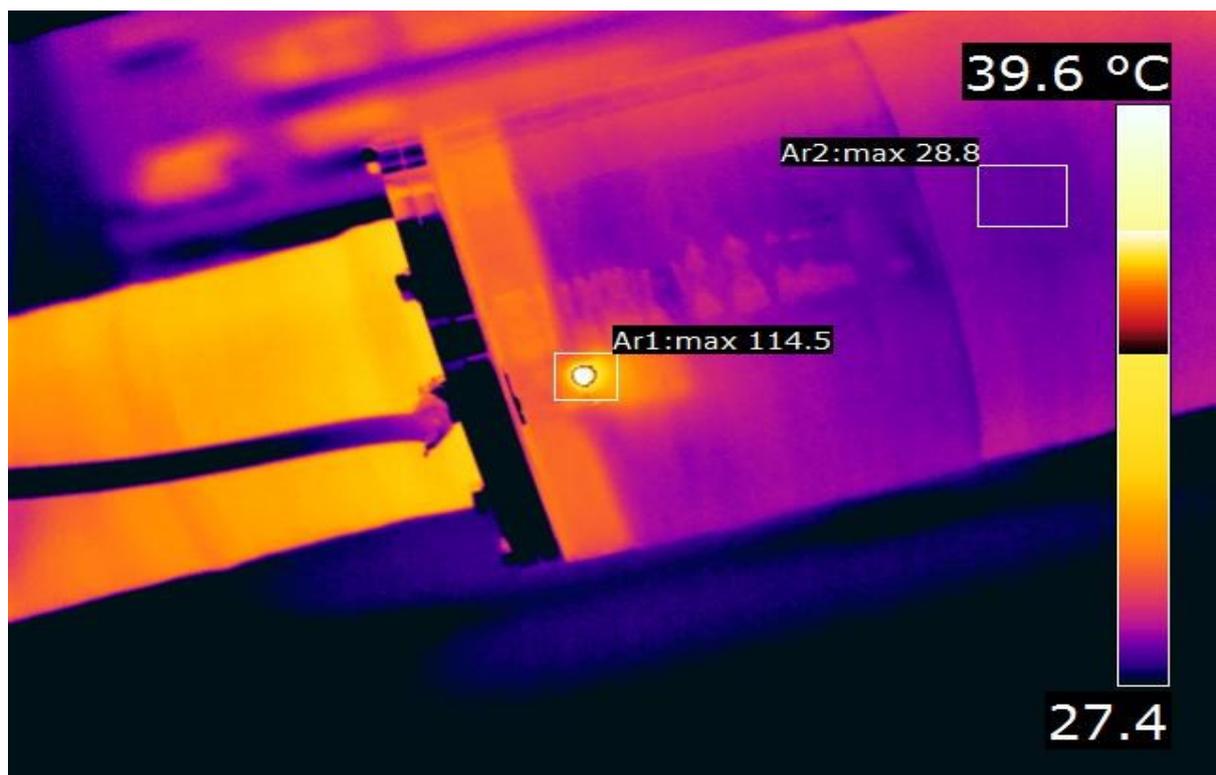


Рис. 4. Термограмма горизонтального токопровода напряжением 10 кВ турбогенератора № 3

В последнее время в электроэнергетических установках повсеместно применяются различные виды токопроводов, необходимых для передачи и распределения энергии между блоками, применяемых внутри электроустановки. Ввиду высокой нагрузки на электрическую сеть токопроводы имеют низкую возможность для осуществления передачи электрической энергии на большие расстояния, потому что это может быть

связано с ограничениями по термической стойкости, а также с резонансными колебаниями. В результате для осуществления нужд, связанных с энергетической безопасностью, большое распространение получили элегазовые (газоизолированные) токопроводы, которые представляют собой алюминиевые трубы, в которых устанавливаются токоведущие шины, а в качестве дугога-

сящей среды под герметичным корпусом в закрытом линейном проводнике применяется элегаз (SF₆). К преимуществам токопроводов данного исполнения можно отнести экологичность и безопасность для людей, пожаробезопасность, возможность горизонтального и вертикального исполнения в закрытых распределительных устройствах, компактность, высокую пропускную способность. Данные технологии вкупе с элегазовой изоляцией позволяют решить практически все проблемы, связанные с надежностью.

Элегазовые токопроводы, как правило, применяются внутри распределительных и главных понизительных подстанций, подстанций глубокого ввода, вертикальных вводов, для передачи тока по трубам с помощью линий, встроенных в мосты или транспортные туннели. В последние годы появилось второе поколение данных токопроводов, которое характеризуется низкой себестоимостью, применением смесей элегаза с азотом, который повышает эффективность гашения

электрической дуги при возникновении замыкания на землю, а также специальных устройств, необходимых для увеличения электрической прочности газа и его оболочки. В данной статье рассматриваются токопроводы, от которых получают электрическую энергию прокатные производства (горячий прокат, трансформаторная сталь, динамная сталь).

На термограмме, изображенной на рис. 5, представлен поворотный элемент конструкции токопровода, рассчитанный на напряжение 110 кВ. Данные изолирующие токопроводы, впервые появившиеся в 1976 г., представляют собой разъединители в комплекте с системами шин, трансформаторами тока (4 на каждую фазу) и заземлителями, заключенные в металлические трубчатые проводники. Максимальная величина электрического тока, проходящего через данный токопровод, может составлять до 1 кА [16, 17]. Согласно [18] температура оболочки данного элемента, находящегося на высоте и недоступного прикосновению человека, составляет 80 °С.

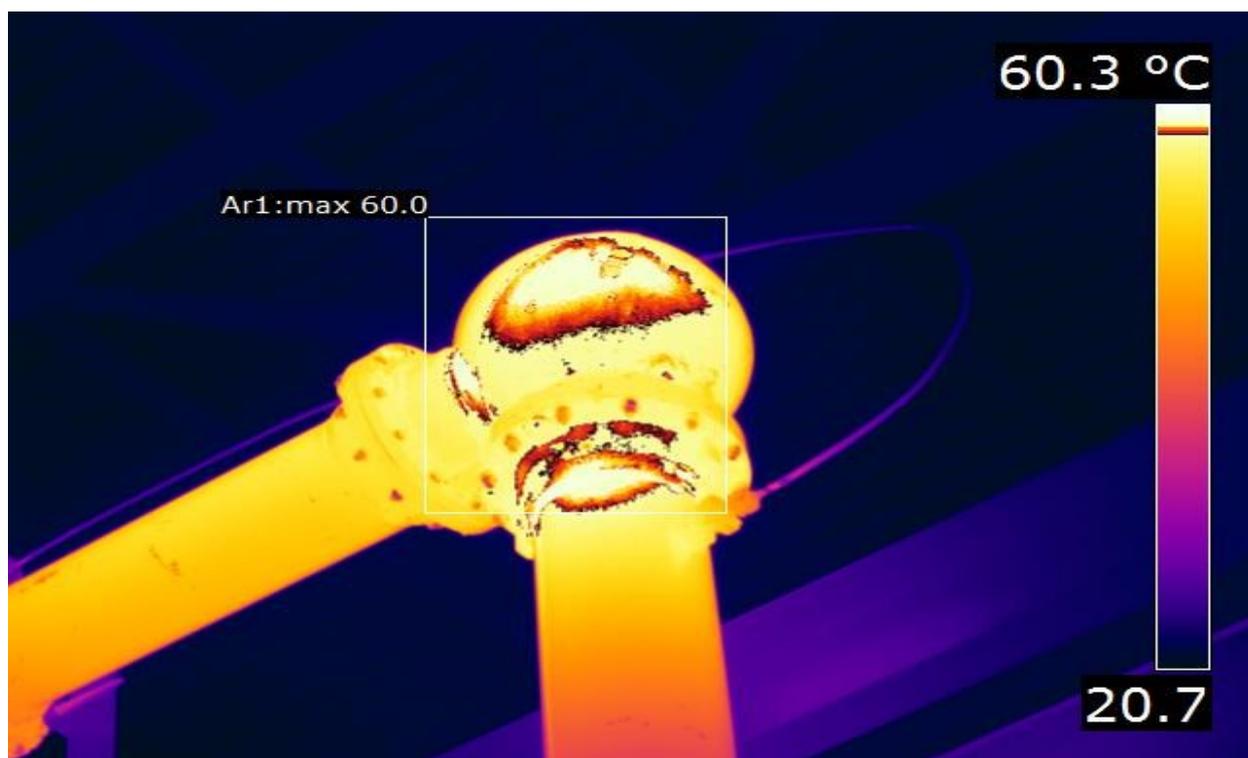


Рис. 5. Термограмма элегазового токопровода напряжением 110 кВ

Ввиду того фактора, что давление в элегазе в пять раз выше, чем в воздухе, то пробивное напряжение в этом случае будет рассчитываться по формуле [19, 20]:

$$U_{пр} = (E_{пр} / p) \cdot pS = (E/p)_k pS = 8,9 \cdot 10^{-4} pS,$$

где $(E/p)_k$ – локальное повышение напряжённости электрического поля сверх номинального, кВ / (см·Па), $k = 1,29$ – показатель адиабаты, p –

давление, Па, S – длина промежутка между электродами, см.

В результате полученных расчетов получается, что пробивное напряжение в элегазе будет составлять 59 кВ/см, в то время как в воздухе оно составляет 20 кВ/см.

Выводы.

1. Тепловизионный контроль токопроводов показал, что дефекты, возникающие в ходе экс-

плутации, связаны с возникновением коммутационных провалов напряжения, что и приводит к ускоренному старению изоляции и возникновению локальных нагревов болтов заземления экрана токопровода. Также это происходит в случаях эксплуатации при температуре выше 25 °С, поскольку внешняя оболочка токопровода, как правило, выполняется из алюминия, который рассчитан согласно ПУЭ на эксплуатацию в открытых распределительных устройствах, а также в закрытых при выполнении условий вытяжной вентиляции.

2. В отдельных случаях перегрев элементов может быть вызван неоднородностью электрического поля в случае разницы температур в помещении, где находится токопровод, и на улице, что может привести к переходу газа в жидкое состояние, и как следствие, пробую газовых промежутков. В частности, при проведенных исследованиях элегаз совершал переход при температуре ниже 0 °С.

Тепловизионный контроль позволяет выявлять неисправности, связанные с нагревом металлоконструкций в местах крепления экрана к токопроводу, а также своевременно сообщать об опасности приближения к неогражденным токоведущим частям и необходимости проведения ремонтных мероприятий, который должен выполняться высококвалифицированным персоналом, прошедшим обучение и подготовку в специализированных организациях и вузах с соответствующим профилем.

Источник финансирования. Грант РФФИ N14-48-03629 р_центр_а «Оптимизация динамики и энергосбережение в электротехнических комплексах металлургических производств».

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Мамонтов А.Н., Астанин С.С. Тепловизионный контроль воздушных линий электропередач // Липецк: журнал «Вести высших учебных заведений Черноземья». 2017. № 1. С. 1–7.

2. Шпиганович А.Н., Мамонтов А.Н., Бойчевский А.В. Тепловизионный контроль конденсаторов и высокочастотных заградителей // Тамбов: журнал «Вестник ТГТУ». 2020. Том 26. № 4. С. 555–562.

3. Чуркина Е.В., Мамонтов А.Н., Пушница К.А. Оценка технического ущерба от дефектов кабельных муфт напряжением 10–110 кВ // Липецк: журнал «Вести высших учебных заведений Черноземья». 2017. № 3. С. 3–11.

4. Стороженко В.А., Мешков С.Н., Маслова А.В. Тепловизионный контроль и диагностика энергетического оборудования // Техническая диагностика и неразрушающий контроль. 2006. № 1. С. 33–37.

5. Баранов М.И. Локальный нагрев токопроводов силового электроэнергетического оборудования при аварийных режимах и токовых перегрузках: научное издание // Электротехника. 2014. № 6. С. 13–17.

6. СТО 34.01-23-004-2019 Диагностирование экранированных токопроводов и токопроводов с литой изоляцией. Москва: ПАО «Российские сети», 2019. 63 с.

7. Долин А.П., Долин С.А. Диагностика экранированных токопроводов и токопроводов с литой изоляцией. Электроинжиниринг, диагностика и сервис, 2017. 26 с.

8. Токопроводы 0,4–35 кВ с литой и воздушной изоляцией. Шинопроводы. Москва: ОАО «Мосэлектроцит», 2017. 36 с.

9. Pasterczik R.J., Martin C., Guichon J.-M., Schanen J.-L. Planar busbar optimization regarding current sharing and stray inductance minimization. 2005 European conference on Power Electronics and Applications, Dresden, Germany, 10 p.

10. Titanummantelte Stromschienen: научное издание. Galvanotechnik. 2008. Vol. 99(11). Pp. 2736–2737.

11. Gerhard M. Besonderheiten bei Aluminium-Stromschienen: научное издание // ETZ: Electrotechn. Z. 1988. Vol. 109. No. 20. Pp. 952–954.

12. Войнов А.Р., Ри Э.Х. Технология комплексной обработки сталей на агрегате «печьковш» (ladle-furnace). Хабаровск: Издательство ТОГУ, 2018. 64 с.

13. Каталог НТТ Токопровод. Санкт-Петербург: Новые технологии и системы, 2018. 20 с.

14. Armor plated lines: научное издание. TE Int. 1993. Vol. 17(3). P. 64.

15. Технический каталог № 6. Токопровод КТЕА 6 (10) кВ. Свердловская область, Березовский, 2019. 22 с.

16. Мухлина Е.С., Балобанов Р.Н. Особенности диагностирования и эксплуатации комплектных распределительных устройств с элегазовой изоляцией // Казань: Казанский государственный технический университет. 2019. С. 132–136.

17. СТО 34.01-23-005-2019 Методические рекомендации по диагностированию элегазового оборудования. Москва: ПАО «Российские сети», 2019. 97 с.

18. СТО 56947007-29.120.60.115-2012. Токопроводы элегазовые на напряжение 110–500 кВ. Технические требования. Москва: ОАО «ФСК ЕЭС», 2012. 24 с.

19. Полтев А.И. Конструкции и расчет элегазовых аппаратов высокого напряжения. Ленинград: Энергия, Ленинградское отделение, 1979. 240 с.

20. Поповцев В.В., Хальясмаа А.И., Патраков Ю.В. Численное моделирование взаимодействия дуги отключения с потоком элегаза в автокомпрессионном дугогасительном устройстве

элегазового выключателя 110 кВ // Екатеринбург: журнал «Вестник ЮУрГУ. Серия «Энергетика». 2023. Т.23. № 2. С. 30–45.

Информация об авторах

Мамонтов Антон Николаевич, кандидат технических наук, инженер. E-mail: mamontov.anton2015@mail.ru. ПАО «Новолипецкий металлургический комбинат». Россия, 398005, Липецк, пл. Металлургов, д. 2.

Шпиганович Александр Николаевич, доктор технических наук, профессор, кафедра электрооборудования. E-mail: kaf-eo@stu.lipetsk.ru. Липецкий государственный технический университет. Россия, 398055, Липецк, ул. Московская, д. 30.

Шпиганович Алла Александровна, доктор технических наук, профессор, кафедра экономики и финансов. E-mail: ef@stu.lipetsk.ru. Липецкий государственный технический университет. Россия, 398055, Липецк, ул. Московская, д. 30.

Поступила 12.03.2024 г.

© Мамонтов А.Н., Шпиганович А.Н., Шпиганович А.А., 2024

^{1,*}Mamontov A.N., ²Shpiganovich A.N., ²Shpiganovich A.A.

¹PJSC Novolipetsk Iron and Steel works,

²Lipetsk state technical university,

*E-mail: mamontov.anton2015@mail.ru

THERMAL CONTROL OF INDUSTRIAL UNIT CONDUCTORS

Abstract. Over the past 20 years, production in Russia has grown almost 80 percent. Increasing the load, caused by the growth of the company's capacity, it requires the execution of large-section switchgears, what can be achieved by using parallel cable lines or with the help of gas current lines. According to Russian rules and regulations, developed by network companies, controlling the operating parameters of power plants, the current line – this is a device made in the form of buses or wires with insulators and supporting structures, designed for the transmission and distribution of electrical energy with a power plant, substation and workshop. Their purpose was considered in the power supply system, design features, including conductive, grounded and other auxiliary live parts and building construction, control and diagnostic methods, manufacturing that occur during operation of the conductor, the optimal frequency for detecting busbar faults is described. As an example study thermal imaging control was carried out of flexible water-cooled conductors by voltage 0,4 kV of ladle furnace unit, conductors with voltage 10 kV as well as SF6 current conductors with voltage 110 kV. Thermograms of local heating are presented a conclusion was drawn about the causes of overheating of structures; conclusions were drawn about the impact of busbar diagnostics on the efficiency of its operation and the reasons for the occurrence of structural elements.

Keywords: conductor, thermal control, heat, aging, voltage dips.

REFERENCES

1. Mamontov A.N., Astanin S.S. Thermal control of power lines [Teplovizionnyy kontrol vozdushnykh liniy electropredach]. Lipetsk: journal «News of higher educational institutions of Chernozem region». 2017. No 1. Pp. 1–7. (rus)
2. Shpiganovich A.N., Mamontov A.N., Boychevsky A.V. Thermal control of capacitors and high frequency restrainers [Teplovizionnyy kontrol condensatorov i vysokochastotnykh zagraditeley]. Tambov: journal «Bulletin of TSTU». 2020. Vol. 26. No. 4. Pp. 555–562. (rus)
3. Churkina E.V., Mamontov A.N., Pushnitsa K.A. The technical damage assessment from defects in cable joints by voltage 10-110 kV [Otsenka teknischeskogo uscrba ot defectov kabelnykh muft

napryazheniem 10-110 kV]. Lipetsk: journal «News of higher educational institutions of Chernozem region». 2017. No. 3. Pp. 3–11. (rus)

4. Storozhenko V.A., Meshkov S.N., Maslova A.V. Thermal imaging control and diagnostics of power equipment [Teplovizionnyy kontrol i diagnostica energeticheskogo oborudovaniya]. Technical diagnostics and non-destructive testing. 2006. No. 1. Pp. 33–37. (rus)

5. Baranov M.I. Local heating of conductors of power electrical equipment in emergency modes and current overloads: scientific publication [Localnyy nagrev tokoprovodov silovogo electroenergeticheskogo oborudovaniya pri avariynnykh regimakh i tokovykh peregruzkakh: nauchnoe izdanie]. Electrical engineering. 2014. No. 6. Pp. 13–17. (rus)

6. STI 34.01-23-004-2019 Diagnosis of shielded current lines and current lines with cast insulation. Moscow: PJSC «Russian networks» [Diagnostirovaniye ekranirovannykh tokoprovodov i tokoprovodov s lityo izolyatsiyey]. 2019. 63 p. (rus)
7. Dolin A.P., Dolin S.A. Diagnostics of shielded current lines and current lines with cast insulation [Diagnostirovaniye ekranirovannykh tokoprovodov i tokoprovodov s lityo izolyatsiyey]. Electrical engineering, diagnostics and service, 2017. 26 p. (rus)
8. Current lines 0,4-35 kV with cast and air insulations. Busbars. Moscow: JSC «Moselektroshchit», 2017. 36 p. (rus)
9. Pasterczik R.J., Martin C., Guichon J.-M., Schanen J.-L. Planar busbar optimization regarding current sharing and stray inductance minimization. 2005 European conference on Power Electronics and Applications, Dresden, Germany, 10 pp.
10. Titanummantelte Stromschienen: scientific publication. Galvanotechnik. 2008. Vol. 99. No. 11. Pp. 2736–2737.
11. Mier Gerhard. Besonderheiten bei Aluminium-Stromschienen: scientific publication. ETZ: Electrotechn. Z. 1988. Vol. 109. No. 20. Pp. 952–954.
12. Voynov A.R., Ree E.H. Technology of complex steel processing there is a ladle oven on the unit (ladle-furnace) [Tekhnologiya kompleksnoy obrabotki staley na aggregate pech-kovsh]. Khabarovsk: Publishing house POFU, 2018. 64 p. (rus)
13. Catalog NTT Current line (Catalog NTT Tokoprovod). Saint Petersburg: New technologies and systems. 2018. 20 p. (rus)
14. Armor plated lines: scientific publication (Armor plated lines: nauchnoe izdanie). TE Int. 1993. Vol. 17(3). P. 64. (rus)
15. Technical catalog No 6. KTEA 6 (10) kV [Technicheskiy katalog No 6. Tokoprovod KTEA 6 (10) kV]. Sverdlovsk region, Berezhovskiy, 2019. 22 p. (rus)
16. Mukhlina E.S., Balobanov R.N. Features of diagnosis and operation of complex gas-insulated switchgears [Osobennosti diagnostirovaniya i ekspluatatsii komplektnykh raspredelitelnykh ustroystv s elagazovoy izolatsiyey]. Kazan: Kazan National Research Technical University. 2019. Pp. 132–136. (rus)
17. STI 34.01-23-005-2019 Guidelines for diagnosis SF6 equipment [Metodicheskie rekomendatsii po diagnostirovaniyu elegazovogo oborudovaniya]. Moscow: PJSC «Russian networks», 2019. 97 p. (rus)
18. STI 6947007-29.120.60.115-2012. Gas-fired current paperlines on voltage 110-500 kV. Technical requirements [Tokoprovody elegazovye na napryazhenie 110-500 kV. Technicheskie trebovaniya]. Moscow: JSC «FGC UES», 2012. 24 p. (rus)
19. Poltev A.I. Designs and calculations of gas-fired high-voltage devices [Konstruktsii i raschet elegazovykh apparatov vysokogo napryazheniya]. Leningrad: Energy, Leningrad branch, 1979. 240 p. (rus)
20. Popovtsev V.V., Hallyasmaa A.I., Patrakov Y.V. Numerical modeling of trip arc interaction with SF-6 gas flow in an auto-compression arc-extinguishing device [Tchislennoye modelirovaniye vzaimodeystviya dugi otkliucheniya s potokom elegaza v avtokompressionnom dugogasitelnom ustroystve 110 kV]. Ekaterinburg: journal «Bulletin of the South Ural State University. Ser. Power Engineering. 2023. Vol. 23. No. 2. Pp. 30–45.

Information about authors:

Mamontov Anton N. PhD, Engineer. E-mail: mamontov.anton2015@mail.ru. PJSC «Novolipetsk Iron and Steel Works». Russia, 398005, Lipetsk, sq. Metallurgist, 2.

Shpiganovich, Alexander N. DSc, Professor. E-mail: kaf-eo@stu.lipetsk.ru. Lipetsk State Technical University. Russia, 398055, Lipetsk, st. Moskovskaya, 30.

Shpiganovich, Alla A. DSc, Professor. E-mail: ef@stu.lipetsk.ru. Lipetsk State Technical University. Russia, 398055, Lipetsk, st. Moskovskaya, 30.

Received 12.03.2024

Для цитирования:

Мамонтов А.Н., Шпиганович А.Н., Шпиганович А.А. Тепловизионный контроль токопроводов промышленных агрегатов // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2024. №8. С. 111–118. DOI: 10.34031/2071-7318-2024-9-8-111-118

For citation:

Mamontov A.N., Shpiganovich A.N., Shpiganovich A.A. Thermal control of industrial unit conductors. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2024. No. 8. Pp. 111–118. DOI: 10.34031/2071-7318-2024-9-8-111-118