

Научно-теоретический журнал
ВЕСТНИК

БГТУ им. В.Г. Шухова

ISSN 2071-7318

1

2021

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

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

№ 1, 2021 год

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

Vol. 1. 2021

Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова

научно-теоретический журнал

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

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

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

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

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

Официальный сайт журнала: <https://bulletinbstu.editorum.ru>

Тел: +7 (4722) 30-99-77. E-mail: VESTNIK@intbel.ru.

Подписной индекс в объединенном каталоге «Пресса России» – 44446.

Online подписка: <http://www.akc.ru/itm/2558104627/>

Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov

scientific and theoretical journal

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

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

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

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

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

Official website of the journal: <https://bulletinbstu.editorum.ru>

Tel.: +7 (4722) 30-99-77. E-mail: VESTNIK@intbel.ru

Subscription index in the united catalogue of "Press of Russia" – 44446.

Online subscription: <http://www.akc.ru/itm/2558104627/>

Главный редактор

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

Заместитель главного редактора

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

Члены редакционной коллегии

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

Благоевич Деян, PhD, проф. Высшей технической школы по профессиональному образованию в Нише (Республика Сербия, г. Ниш).

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Перькова Маргарита Викторовна, д-р арх., проф., заведующий кафедрой архитектуры и градостроительства Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова (РФ, г. Белгород).

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

CHIEF EDITOR

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

DEPUTY OF CHIEF EDITOR

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

MEMBER OF EDITORIAL BOARD

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Margarita V. Per'kova, Doctor of Architecture, Professor, Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov (Russian Federation, Belgorod).

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

Нажуев М.П., Джамилова П.М., Батаева Ф.А., Бакаев З.И., Кукаев А.Х., Османов А.	
ВЛИЯНИЕ РЕЖИМОВ ВИБРОЦЕНТРИФУГИРОВАНИЯ НА СВОЙСТВА ПОЛУЧАЕМЫХ БЕТОНОВ	8
Ахмед А.А.А., Лесовик Р.В., Аль-Бу-Али У.С., Лесовик Г.А.	
ВЛИЯНИЕ ТОНКОДИСПЕРСНОЙ ДОБАВКИ ИЗ БЕТОННОГО ЛОМА НА СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЕ ПОРТЛАНДЦЕМЕНТА	20
Лукьянов А.И., Тюфанов В.А.	
ВЫБОР МОДЕЛИ ГРУНТОВОГО ОСНОВАНИЯ, РЕАЛИЗОВАННЫХ В ПК SCAD OFFICE	29
Кущев Л.А., Саввин Н.Ю.	
ТЕПЛОВИЗИОННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ОРИГИНАЛЬНОЙ ПЛАСТИНЫ ТЕПЛООБМЕННИКА	38
Андреева Д.В., Ивлева О.Т.	
ЭВОЛЮЦИЯ АРХИТЕКТУРЫ СТОЛИЧНЫХ КЛУБОВ АНГЛИИ И РОССИИ НА РУБЕЖЕ XVII-XIX ВВ.	46
Иванова-Ильичева А.М., Орехов Н.В.	
РОСТОВСКИЙ ТЕАТР КУКОЛ: «СТАРОЕ» И «НОВОЕ» В АРХИТЕКТУРЕ СОВЕТСКОГО МОДЕРНИЗМА	58

ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ

Готлиб Е.М., На Thi Nha Phuong, Гимранова А.Р., Галимов Э.Р., Do Huyen Trang	
ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ ЭПОКСИДНЫХ ПОКРЫТИЙ, НАПОЛНЕННЫХ СИНТЕТИЧЕСКИМ ВОЛЛАСТОНИТОМ НА ОСНОВЕ РИСОВОЙ ШЕЛУХИ	66
Морева И.Ю., Вареникова Т.А., Кириллова Н.К., Дороганов В.А., Лебедев М.С., Евтушенко Е.И., Шакурова Н.В.	
К ВОЗМОЖНОСТИ ТРЕХМЕРНОЙ ПЕЧАТИ СИЛИКАТНЫМИ МАССАМИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КЕРАМИЧЕСКИХ И ГИДРАТАЦИОННЫХ СВЯЗУЮЩИХ	74

МАШИНОСТРОЕНИЕ И МАШИНОВЕДЕНИЕ

Никитина И.П., Поляков А.Н.	
ОСОБЕННОСТИ ПРОТЕКАНИЯ ТЕПЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ В ДВУСТОРОННИХ ТОРЦЕШЛИФОВАЛЬНЫХ СТАНКАХ	82

CONSTRUCTION AND ARCHITECTURE

Nazhiev M.P., Dzhamilova P.M., Bataeva F.A., Bakaev Z.I., Kukaev A.Kh., Osmanov A.	
SOME TECHNOLOGICAL PARAMETERS OF VIBRATION CENTRIFUGAL EQUIPMENT AS A FACTOR IN CONTROL OF CONCRETE PROPERTIES	8
Ahmed A.A.A., Lesovik R.V., Albo Ali W.S., Lesovik G.A.	
INFLUENCE OF FINE-DISPERSED ADDITIVE FROM CONCRETE SCRAP ON STRUCTURE FORMATION OF PORTLANDCEMENT	20
Lukyanov A.I., Tufanov V.A.	
SELECTION OF THE GROUND BASE MODEL IMPLEMENTED IN THE SCAD OFFICE	29
Kushcev L.A., Savvin N.Yu.	
THERMAL IMAGING STUDIES OF THE ORIGINAL HEAT EXCHANGER PLATE	38
Andreeva D.V., Ievleva O.T.	
EVOLUTION OF THE ARCHITECTURE OF THE CAPITAL CLUBS OF ENGLAND AND RUSSIA AT THE TURN OF XVII–XIX CENTURIES	46
Ivanova-Ilyicheva A.M., Orekhov N.V., Orekhov A.N.	
ROSTOV PUPPET THEATER: "OLD" AND "NEW" IN THE ARCHITECTURE OF SOVIET MODERNISM	58

CHEMICAL TECHNOLOGY

Gotlib E.M., Ha Thi Nha Phuong, Gimranova A.R., Galimov E.R., Do Huyen Trang	
WEAR RESISTANCE OF EPOXY COATINGS FILLED WITH SYNTHETIC WOLLASTONITE BASED ON RICE HUSK	66
Moreva I.Y., Varenikova T.A., Kirillova N.K., Doroganov V.A., Lebedev M.S., Evtushenko E.I., Shakurova N.V.	
THE POSSIBILITY OF THREE-DIMENSIONAL PRINTING WITH SILICATE MASSES USING CERAMIC AND HYDRATION BINDERS	74

MACHINE BUILDING AND ENGINEERING SCIENCE

Nikitina I.P., Polyakov A.N.	
SPECIFIC FEATURES OF THERMAL PROCESSES IN DOUBLE-SIDED FACE GRINDING MACHINES	82

СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

DOI: 10.34031/2071-7318-2021-6-1-8-19

^{1,*}Нажуев М.П., ²Джамилова П.М., ¹Батаева Ф.А.,
¹Бакаев З.И., ¹Кукаев А.Х., ¹Османов А.¹Донской государственный технический университет²Дагестанский государственный технический университет

*E-mail: nazhuev17@mail.ru

ВЛИЯНИЕ РЕЖИМОВ ВИБРОЦЕНТРИФУГИРОВАНИЯ НА СВОЙСТВА ПОЛУЧАЕМЫХ БЕТОНОВ

Аннотация. Увеличение объемов строительства требует новшеств в технологических, конструктивных и расчетных решениях железобетонных элементов. Методом центрифугирования производятся вариатронные, то есть различные по своим характеристикам по сечению бетоны и конструкции, выполненные из них. Поэтому на стадиях расчета и проектирования строительных конструкций вариатронной структуры обычно закладывается необоснованно большой запас несущей способности, ведущий к внушительному удорожанию перспективных строительных конструкций. Для повышения плотности и обеспечения более равномерного распределения составляющих бетонной смеси по толщине стенки изделия кольцевого сечения, в частности колонн, предлагается центрифугирование совместить с вибрированием. Вибрирование будет обеспечено за счет использования хомутов, которые надеваются на валы установки. В рамках предложенных экспериментальной установки для создания виброцентрифугированных образцов кольцевого сечения с вариатронной структурой и способа их изготовления были выделены технологические параметры вибрирования, оказывающие наиболее значимое влияние на характеристики виброцентрифугированного бетона. В опытах варьировались следующие технологические факторы: высота технологических выступов хомутов и режим вибрирования. Исследовалась задача оценки влияния этих факторов на интегральные характеристики бетона. Приведены результаты экспериментальных исследований влияния рассмотренных технологических факторов на интегральные характеристики виброцентрифугированного бетона. Полученные результаты показывают целесообразность продолжения исследования рациональных технологических параметров виброцентрифугирования для улучшения характеристик бетона и регулирования его вариатронности, что позволит в дальнейшем запатентовать предлагаемый метод и спроектировать усовершенствованную виброцентрифугированную колонну с более полно используемыми резервами несущей способности строительных конструкций.

Ключевые слова: виброцентрифугирование, интегральные характеристики, технологические факторы вибрирования, железобетонные изделия, прочность, модуль упругости, предельные деформации.

Введение. Существуют различные способы изготовления железобетонных изделий и конструкций кольцевого сечения. В зависимости от способа уплотнения бетонной смеси при формировании выделяют следующие способы:

- вибрирование;
- радиальное прессование;
- центрифугирование [1].

При изготовлении изделий кольцевого сечения способом вибрирования форма располагается либо в вертикальном, либо в горизонтальном положении, а процесс уплотнения бетонной смеси осуществляется с помощью навесных вибровозбудителей или вибросердечника, который может быть подвижным и неподвижным [2–5].

Способ радиального прессования заключается в следующем: форма, как правило, располагается вертикально, а уплотнение бетонной

смеси основной части формируемого изделия осуществляется при помощи роликовой головки, которая перемещается снизу-вверх по форме, нижняя часть формируемого изделия уплотняется за счет дополнительных вибраций. Роликовая головка имеет разглаживающую часть – это позволяет получать гладкую внутреннюю поверхность у формируемых изделий. Данный способ допускает применение жестких бетонных смесей при соблюдении повышенных требований, а именно требований к точности подбора состава и режима формирования, где важно правильно подобрать скорость перемещения роликовой головки и частоту ее вращения [6–9].

Наиболее широкое распространение при изготовлении железобетонных изделий и конструкций кольцевого сечения получил способ центрифугирования. Данный способ заключается во вращении горизонтально расположенной формы

с определенной частотой (количество оборотов формы за минуту) и соответствующей угловой скоростью.

Процесс центрифугирования включает следующие технологические операции:

- очистка и смазка форм;
- укладка арматурного каркаса;
- укладка формы на центрифугу;
- загрузка бетонной смеси в форму;
- формование стенок изделия (равномерное распределение бетонной смеси по форме и ее уплотнение);
- слив шлама;
- откручивание бандажей и перемещение изделия в пропарочную камеру;
- распалубка и складирование.

Процесс центрифугирования условно можно разделить на два этапа, на первом этапе бетонная смесь равномерно распределяется по форме изделия, а на втором этапе происходит уплотнение сформированного изделия. В момент распределения бетонная смесь подвергается воздействию центробежного давления, деформируется и равномерно растекается по форме. Этап уплотнения характеризуется тем, что под действием радиально направленного прессующего центробежного давления происходит перемещение более тяжелых компонентов бетонной смеси к наружной поверхности формируемого изделия, соответственно более лёгкие компоненты и вода отжимаются к внутренней поверхности изделия [10, 11].

Идея применения для изготовления железобетонных элементов круглого и кольцевого сечения одновременного вибрирования и центрифугирования сама по себе не нова – упоминания о ней встречаются у О.А. Гершберга и И.Н. Ахвердова [1, 12]. Однако тогда исследователей – специалистов по строительным материалам – интересовал лишь вопрос о количестве отжимаемой воды и возможной экономии цемента.

Вопросы же изменения физико-механических и конструктивных характеристик бетона при виброцентрифугировании, не говоря уже об их изменении по сечению элементов, не рассматривались в принципе. А это как раз то, что очень интересует специалистов – конструкторов.

Кроме того, сама по себе технология виброцентрифугирования не была разработана, в отдельных же попытках ее реализации центрифугирование совмещалось с вибрированием по горизонтальной (продольной) оси элементов, в то время как намного более результативным представляется центрифугирование, совмещенное с вибрированием по вертикальной (поперечной) оси элементов.

Все это послужило побудительным мотивом для создания технологии и установки для виброцентрифугирования, создаваемого совместно центрифугированием и вибрированием по вертикальной (поперечной) оси элементов.

Неравномерное распределение составляющих бетонной смеси по толщине стенки изделия кольцевого сечения приводит к тому, что бетон у наружной поверхности стенки изделия обладает более высокой прочностью, нежели бетон у внутренней поверхности стенки. Это явление называется вариатропностью, то есть разные слои бетона одного изделия обладают различающимися конструктивными характеристиками и плотностью [13–16].

Увеличение объемов строительства требует новшеств в технологических, конструктивных и расчетных решениях железобетонных элементов.

В результате метода центрифугирования производятся вариатропные, то есть различные по своим характеристикам (плотности, прочности, деформативности и др.) по сечению бетоны и конструкции, выполненные из них. Данное явление целесообразно учитывать при расчете и проектировании, но аналогичных исследований практически не проводилось.

Поэтому на стадиях расчета и проектирования строительных конструкций вариатропной структуры обычно закладывается необоснованно большой запас несущей способности, ведущий к внушительному удорожанию перспективных строительных конструкций.

Для повышения плотности и обеспечения более равномерного распределения составляющих бетонной смеси по толщине стенки изделия кольцевого сечения, в частности колонн, предлагается центрифугирование совместить с вибрированием. Таким образом, начальное водоцементное отношение можно уменьшить до 0,24 и процесс уплотнения будет протекать без отслоения шлама путем перераспределения жидкой фазы. Также будет достигнуто и более равномерное распределение зерен заполнителя по сечению изделий, а расход цемента снижен примерно на 30 % по сравнению с центрифугированием. Вибрирование будет обеспечено за счет использования хомутов, которые надеваются на валы установки.

Материалы и методы. Для создания виброцентрифугированных изделий с вариатропной структурой была применена универсальная опытная установка – экспериментальная лабораторная центрифуга с электродвигателем постоянного тока с тиристорными блоками питания [17–22]. Это обеспечивало плавное переключение скорости путем изменения частоты вращения

вала электродвигателя. Вибрации формы создавались с помощью надетых на валы установки металлических хомутов (по два хомута на каждый вал) с технологическими выступами различной высоты и режима вибрирования. Продолжительность виброцентрифугирования составляла 12 минут.

Разработанная установка является универсальной, поскольку может быть использована для создания как центрифугированных, так и виброцентрифугированных строительных элементов, в частности масштабных моделей изделий из бетона и железобетона в лабораторных условиях.

Центрифугирование создается за счет придания вращательного движения двум валам, на которых располагается форма с бетонной смесью.

Вибрирование создается за счет разработанных нами дополнительно надеваемых на валы шпонок (выступов), на которых вращающаяся форма с бетонной смесью подвергается дополнительной вибрации.

Регулирование параметров установки для управления физико-механическими свойствами бетона изготавливаемых элементов может осуществляться тремя способами:

- варьированием подъемистости – высоты шпонок (выступов);
- варьированием разбежки – расстояния между шпонками (выступами);
- варьирование рельефности – формы шпонок (выступов).

Кроме того, принципиально возможно варьирование дополнительных факторов:

- синхронный режим вибрирования;
- асинхронный режим вибрирования с различными градиентами запаздывания.

Всего изготовлено и испытано девять базовых виброцентрифугированных образцов кольцевого сечения размерами:

- внешний диаметр $D = 450$ мм;
- внутренний диаметр отверстия $d = 150$ мм;
- общая высота $H = 1200$ мм.

Все образцы были изготовлены из бетона одинакового состава, расход материалов на 1 м^3 составил: Ц = 416 кг, ШЦ = 1203 кг, П = 696 кг, В = 181 л.

Из общего кольцевого сечения одного базового образца было выделено три условных квадранта, из которых были выпилены следующие образцы:

- кубы в количестве 4 штук с размерами $150 \times 150 \times 150$ мм для испытаний на осевое сжатие;
- призмы в количестве 2 штук с размерами $150 \times 150 \times 600$ мм для испытаний на осевое сжатие;

- одна призма с размерами $150 \times 150 \times 600$ мм для испытаний на растяжение при изгибе;

- две призмы с размерами $150 \times 150 \times 600$ мм для испытаний на осевое растяжение.

Испытания на осевое сжатие, растяжение при изгибе и осевое растяжение проводились в соответствии с требованиями ГОСТ 10180. Призмы и кубы на осевое сжатие испытывались на прессах ИПС-10 и П-125, а испытания призм на осевое растяжение проводилось на специальной установке Р-10 [17–21].

Измерения деформаций бетона опытных призм производились цепочкой тензодатчиков базой 50 мм и индикаторами часового типа с ценой деления 0,001 мм.

В рамках предложенных экспериментальной установки для создания виброцентрифугированных образцов кольцевого сечения с вариатропной структурой и способа их изготовления были выделены технологические параметры вибрирования, оказывающие наиболее значимое влияние на характеристики виброцентрифугированного бетона.

К этим технологическим параметрам относятся:

- высота технологических выступов хомутов;
- шаг между технологическими выступами хомутов;
- форма технологических выступов, обеспечивающих вибрирование;
- режим вибрирования.

Длина технологических выступов хомутов прямоугольной формы была принята равной 20 мм с шагом 30 мм. Длина, форма и шаг технологических выступов являются вертикальными характеристиками вибрирования и отвечают за резкость или плавность процесса виброцентрифугирования.

Результаты и их обсуждение. В опытах варьировались значения таких технологических факторов как высота технологических выступов хомутов и режим вибрирования (синхронный, попеременный, асинхронный). На рисунке 1 представлено схематичное расположение металлических выступов хомутов различной высоты на валу установки.

Синхронный режим – когда вибрирование осуществляется симметрично, то есть выступы расположены на валах симметрично и параллельно друг другу.

Асинхронный – такой режим, при котором выступы на валах расположены несимметрично и происходит асинхронное вибрирование.

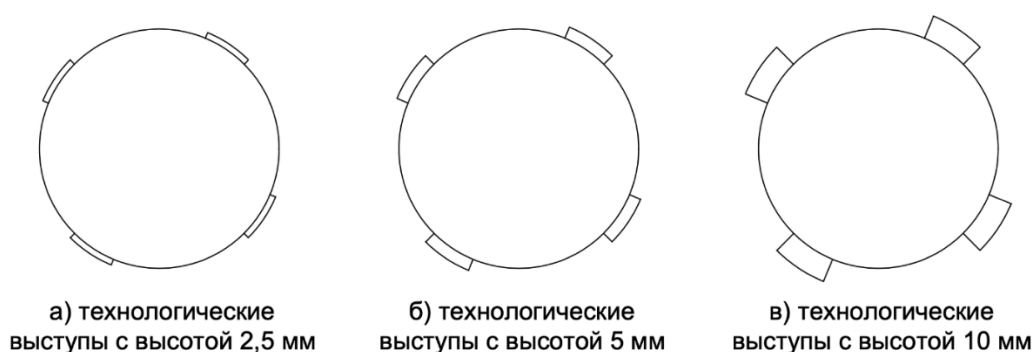


Рис. 1. Выбор высоты технологических выступов вала виброцентрифуги

Попеременный – это режим, при котором вначале вибрирование при виброцентрифугировании осуществляется в синхронном режиме, а затем – в асинхронном.

Было оценено влияние этих факторов на интегральные (общие, усредненные по сечению) характеристики виброцентрифугированного бетона:

- плотность;
- кубиковая и призмная прочность на сжатие;

- прочность на растяжение при изгибе;
- прочность на осевое растяжение;
- предельные деформации при осевом сжатии и осевом растяжении;
- модуль упругости.

Результаты экспериментальных исследований влияния высоты технологических выступов хомутов и режима вибрирования на интегральные характеристики виброцентрифугированного бетона представлены в табл. 1 и на рис. 2–9.

Таблица 1

Результаты экспериментальных исследований влияния группы факторов вибрирования на интегральные характеристики виброцентрифугированного бетона

Характеристики бетона	Центрифугирование	Высота технологических выступов хомутов 2,5 мм								
		2,5			5			10		
		Режим вибрирования								
		Синхронный	Попеременный	Асинхронный	Синхронный	Попеременный	Асинхронный	Синхронный	Попеременный	Асинхронный
Плотность, кг/м ³	2308	2314	2338	2300	2390	2412	2381	2368	2381	2360
Сжатие										
Прочность, МПа:										
а) кубиковая	48,5	48,9	50,9	48,8	55,1	56,8	54,7	52,9	54,7	52,5
б) призмная	40,2	40,7	41,8	40,0	44,1	46,2	43,8	42,1	43,8	41,3
Растяжение										
Прочность, МПа:										
а) при изгибе	4,3	4,4	4,5	4,4	4,7	4,8	4,6	4,6	4,6	4,6
б) осевое	4,0	4,1	4,2	4,1	4,4	4,5	4,4	4,3	4,2	4,2
Предельные деформации при осевом сжатии, мм/м·10 ⁻³	2,09	2,11	2,03	2,12	1,89	1,65	1,96	1,97	1,96	2,01
Предельные деформации при осевом растяжении, мм/м·10 ⁻⁴	1,22	1,21	1,17	1,22	1,14	1,13	1,16	1,15	1,16	1,17
Модуль упругости, МПа	25,9	25,6	26,5	25,1	29,2	29,7	29,1	28,7	29,1	28,2

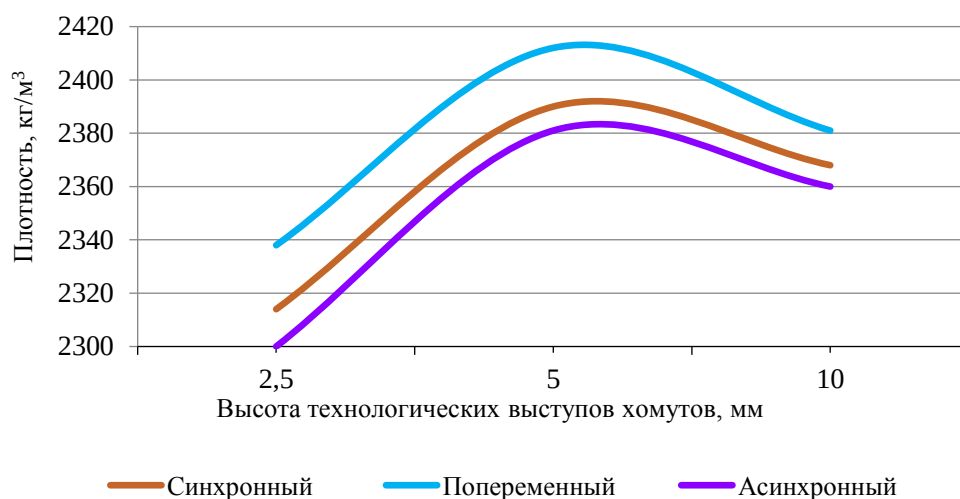


Рис. 2. Зависимость плотности виброцентрифугированного бетона от высоты технологических выступов хомутов и режима вибрирования

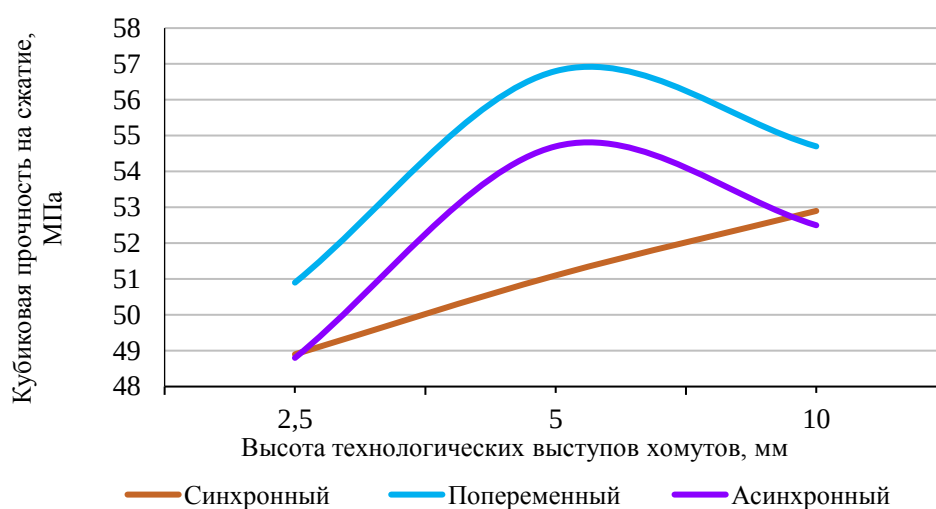


Рис. 3. Зависимость кубиковой прочности на сжатие виброцентрифугированного бетона от высоты технологических выступов хомутов и режима вибрирования

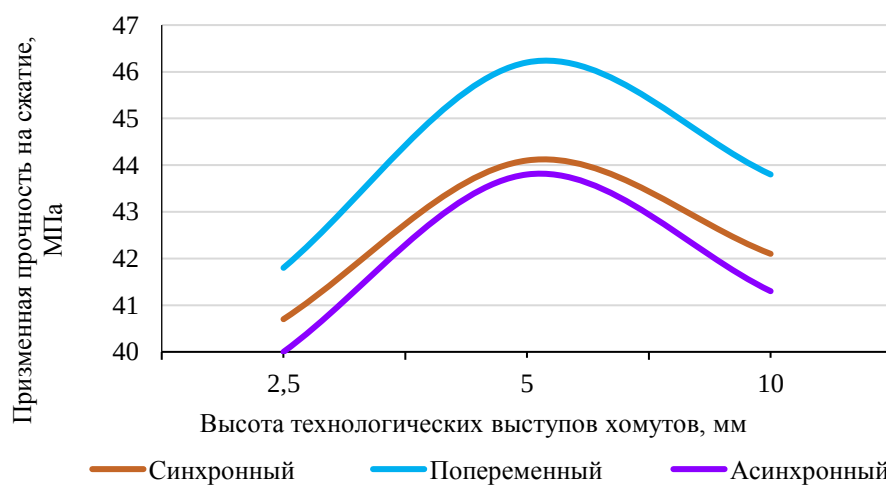


Рис. 4. Зависимость призмной прочности на осевое сжатие виброцентрифугированного бетона от высоты технологических выступов хомутов и режима вибрирования

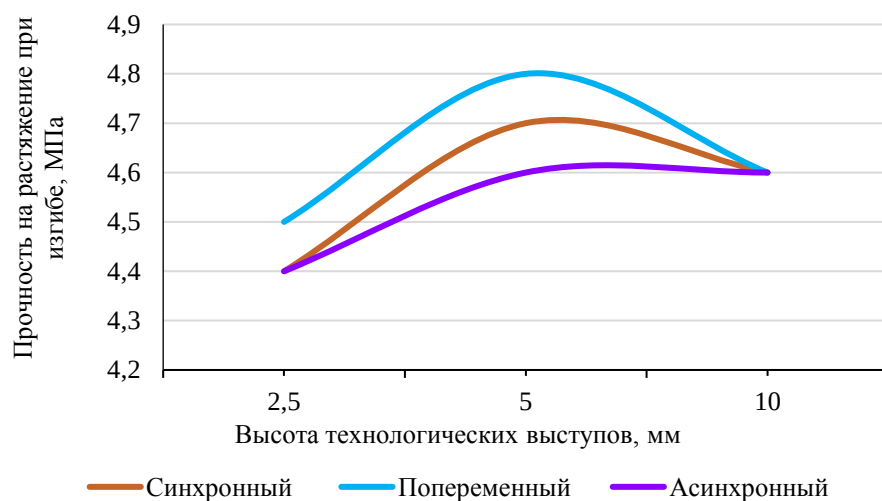


Рис. 5. Зависимость прочности на растяжение при изгибе виброцентрифугированного бетона от высоты технологических выступов хомутов и режима вибрирования

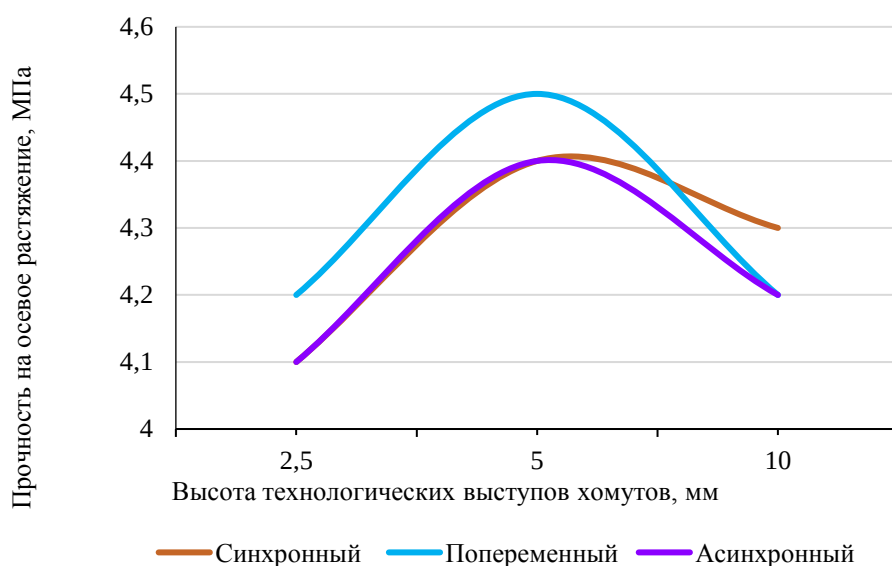


Рис. 6. Зависимость прочности на осевое растяжение виброцентрифугированного бетона от высоты технологических выступов хомутов и режима вибрирования

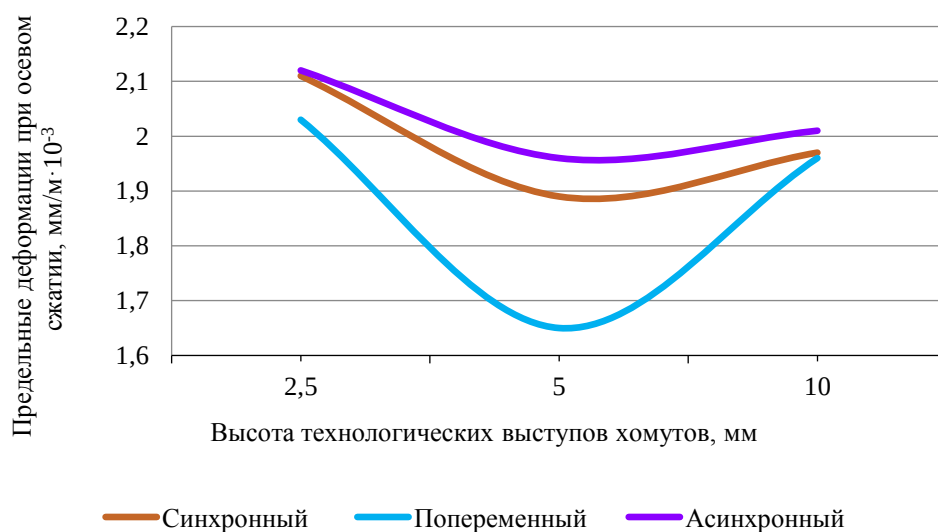


Рис. 7. Зависимость предельных деформаций при осевом сжатии бетона от высоты технологических выступов хомутов и режима вибрирования

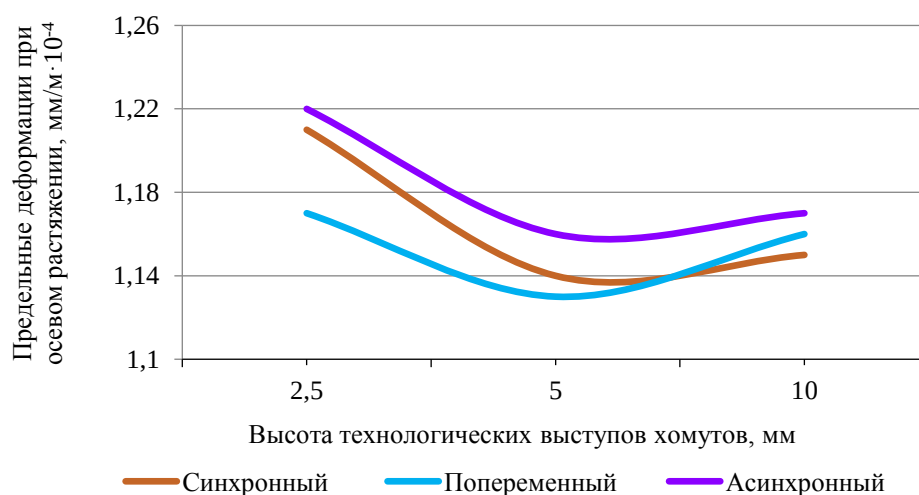


Рис. 8. Зависимость предельных деформаций при осевом растяжении бетона от высоты технологических выступов хомутов и режима вибрирования

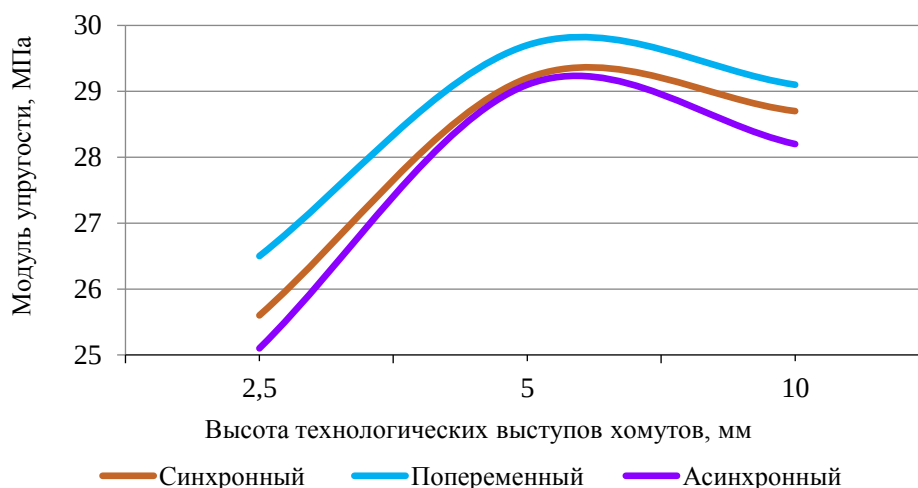


Рис. 9. Зависимость модуля упругости бетона от высоты технологических выступов хомутов и режима вибрирования

По результатам экспериментальных исследований интегральных характеристик виброцентрифугированного бетона были получены их зависимости от технологических параметров вибрирования, а именно от высоты технологических выступов хомутов и режима вибрирования.

Из таблицы 1 видно, что интегральные характеристики лучше в большинстве случаев у виброцентрифугированного бетона, нежели у центрифугированного.

Плотность достигает максимальных значений при использовании хомутов с высотой технологических выступов 5 мм при попеременном режиме вибрирования (на 5 % больше, чем у центрифугированного бетона).

Также наблюдается, что при аналогичных параметрах вибрирования кубиковая и призмечная прочности при сжатии (больше, чем у центрифугированного бетона соответственно на 17 % и 15 %), прочность на растяжение при изгибе и проч-

ность при осевом растяжении (больше, чем у центрифугированного бетона соответственно на 12 % и 13 %) имеют наивысшие показатели.

При использовании хомутов с высотой технологических выступов 2,5 мм и 10 мм прочностные характеристики виброцентрифугированного бетона и его плотности меньше, чем значения тех же показателей, полученных при применении хомутов с высотой технологических выступов 5 мм. Наименьшие значения прочностных характеристик виброцентрифугированного бетона и его плотности наблюдаются при высоте технологических выступов 2,5 мм.

Наименьшие значения деформаций и наибольший модуль упругости наблюдаются у виброцентрифугированных бетонов, при формировании (попеременный режим формирования) которых были применены хомуты с высотой технологических выступов 5 мм (предельные деформации при осевом сжатии и растяжении меньше, чем у

центрифугированного бетона соответственно на 20 и 8 %).

При использовании хомутов с высотой технологических выступов 2,5 мм и 10 мм деформации виброцентрифугированного бетона увеличивались, а модуль упругости уменьшался. Наибольшие значения деформаций и наименьший модуль упругости наблюдаются у бетонов при высоте технологических выступов 2,5 мм.

При попеременном режиме вибрирования с высотой технологических выступов хомутов, равной 2,5 мм, 5 мм и 10 мм зафиксированы наибольшие значения прочностных характеристик бетона и его плотности, наибольший модуль упругости и наименьшие значения деформации в сравнении с теми же значениями, полученными при асинхронном и синхронном режиме вибрирования. Наихудшие показатели наблюдаются при асинхронном режиме вибрирования.

На наш взгляд, попеременный режим вибрирования при виброцентрифугировании в сравнении с центрифугированием в наибольшей степени «сглаживает» вариативность бетона за счет варьирования двумя режимами вибрирования – синхронным и асинхронным, то есть происходит более равномерное распределение заполнителя по толщине стенки изделия, вследствие чего интегральные характеристики бетона улучшаются (плотность, прочности и модуль упругости увеличиваются, а предельные деформации уменьшаются). При этом экспериментальным путем выявлено, что попеременный режим успешно сочетается с высотой технологических выступов хомутов на валах установки, равной 5 мм.

Вывод. Наиболее высокие значения интегральных характеристик наблюдаются у виброцентрифугированных бетонов, изготовленных с использованием хомутов, высота технологических выступов которых равна 5 мм, а режим вибрирования – попеременный.

Наименьшие же значения интегральных характеристик зафиксированы у бетонов, изготовленных с использованием хомутов, имеющих высоту технологических выступов 2,5 мм при различных режимах вибрирования.

Полученные результаты показывают целесообразность продолжения исследования рациональных технологических параметров виброцентрифугирования для улучшения характеристик бетона и регулирования его вариативности, что позволит в дальнейшем запатентовать предлагаемый метод и спроектировать усовершенствованную виброцентрифугированную колонну с более полно используемыми резервами несущей способности строительных конструкций.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ахвердов И.Н. Железобетонные напорные центрифугированные трубы. М.: Стройиздат, 1969. 164 с.
2. Баташев В.М. Исследование прочности и деформации железобетонных элементов кольцевого сечения при изгибе, сжатии и растяжении // Труды института Энергосетьпроект. 1975. № 6. С. 70–86.
3. Гуца Ю.П., Лемыш Л.Л. К вопросу о совершенствовании расчета деформаций железобетонных элементов // Напряженно-деформированное состояние бетонных и железобетонных конструкций: сб. статей Научно-исследовательского института бетона и железобетона. М.: Стройиздат, 1986. С. 26–39.
4. Овсянкин В.И. Железобетонные трубы для напорных водоводов (3-е издание). М.: Стройиздат, 1971. 320 с.
5. Баженов Ю.М. Современная технология бетона // Технологии бетонов. 2005. № 1. С. 6–8.
6. Маилян Л.Р., Маилян А.Л., Айвазян Э.С. Расчетная оценка прочностных и деформативных характеристик и диаграмм деформирования фибробетонов с агрегированным распределением волокон // Инженерный вестник Дона. 2013. № 3. [Электронный ресурс]. Систем. требования: AdobeAcrobatReader. URL: http://www.ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD_28_Mailian.pdf_1760.pdf (дата обращения: 16.11.2020).
7. Wen-Yao Lu, Chia-Hung Chu. Tests of high-strength concrete deep beams // Magazine of Concrete Research. 2019. Vol. 71. № 4. Pp. 184–194.
8. Alani A., Bunnori N., Noaman A., Majid T. Durability performance of a novel ultra-high-performance PET green concrete (UHPPGC) // Construction and Building Materials. 2019. Vol. 209. Pp. 395–405.
9. Maruyama I., Lura P. Properties of early-age concrete relevant to cracking in massive concrete // Cement and Concrete Research. 2019. № 123. DOI: 10.1016/j.cemconres.2019.05.015.
10. Li K., Li L. Crack-altered durability properties and performance of structural concretes // Cement and Concrete Research. 2019. № 124. DOI: 10.1016/j.cemconres.2019.105811.
11. Ferrotto M.F., Fischer O., Cavaleri L. Analysis-oriented stress-strain model of CRFP-confined circular concrete columns with applied preload // Materials and Structures. 2018. Vol. 51, Iss. 44. <https://doi.org/10.1617/s11527-018-1169-0>.
12. Гершберг О.А. Технология бетонных и железобетонных изделий. М.: Стройиздат, 1971. 360 с.

13. Bourchy A., Barnes L., Bessette L., Chalenccon F., Joron A., Torrenti J.M. Optimization of concrete mix design to account for strength and hydration heat in massive concrete structures // *Cement and Concrete Composites*, 2019. Vol. 103. Pp. 233–241.

14. Сулейманова Л.А. Высококачественные энергосберегающие и конкурентоспособные строительные материалы, изделия и конструкции // *Вестник БГТУ им. В. Г. Шухова*. 2017. №1. С. 9–16.

15. Обернихин Д.В., Никулин А.И. Экспериментальные исследования деформативности изгибаемых железобетонных элементов различных поперечных сечений // *Вестник БГТУ им. В. Г. Шухова*. 2017. № 4. С. 56–59.

16. Королев А.С., Ворошилин А.А., Трофимов Б.Я. Повышение прочности и теплоизоляционных свойств ячеистого бетона путем направленного формирования вариативной структуры // *Строительные материалы*. 2005. №5. С. 8–9.

17. Mailyan L.R., Stel'makh S.A., Shcherban' E.M., Kholodnyak M.G. Determination and use of hidden strength reserves of centrifuged reinforced constructions by means of calculation and experimental methods // *Russian Journal of Building Construction and Architecture*. 2020. № 1(45). Pp. 6–14. DOI: 10.25987/VSTU.2020.45.1.001.

18. Нажуев М.П., Яновская А.В., Холодняк М.Г., Стельмах С.А., Щербань Е.М., Осадченко С.А. Анализ зарубежного опыта развития технологии виброцентрифугированных строительных конструкций и изделий из бетона // *Вестник Евразийской науки*. 2018. №3. [Электронный ресурс]. Систем. требования: AdobeAcrobatReader.

URL: <https://esj.today/PDF/58SAVN318.pdf> (дата обращения: 16.11.2020).

19. Маилян Л.Р., Стельмах С.А. Халюшев А.К., Щербань Е.М., Холодняк М.Г., Нажуев М.П. Оптимизация параметров центрифугированных изделий кольцевого сечения на стадии уплотнения // *Инженерный вестник Дона*. 2018. № 3. [Электронный ресурс]. Систем. требования: AdobeAcrobatReader. URL: http://www.ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD_82_Mailyan_Stelmakh_N.pdf_733ea2349a.pdf (дата обращения: 16.11.2020).

20. Маилян Л.Р., Стельмах С.А., Халюшев А.К., Щербань Е.М., Холодняк М.Г., Нажуев М.П. Оптимизация технологических параметров для изготовления центрифугированных бетонных образцов кольцевого сечения // *Строительство и архитектура*. 2018. Том 6. Вып. 1(18). С. 247–252.

21. Щербань Е.М., Стельмах С.А., Холодняк М.Г., Нажуев М.П., Рымова Е.М., Лиев Р.А. Влияние вида заполнителя и дисперсного армирования на деформативность виброцентрифугированных бетонов // *Вестник Евразийской науки*. 2019. № 5. [Электронный ресурс]. Систем. требования: AdobeAcrobatReader. URL: <https://esj.today/PDF/29SAVN519.pdf> (дата обращения: 16.11.2020).

22. Пат. 197610, Российская Федерация, МПК В28В 21/30. Устройство для изготовления изделий из виброцентрифугированного бетона / С.А. Стельмах, Е.М. Щербань, М.Г. Холодняк, А.С. Насевич, А.В. Яновская; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО ДГТУ. № 2020103753; заявл. 29.01.2020; опубл. 18.05.2020, Бюл. № 14. 4 с.

Информация об авторах

Нажуев Мухума Пахрудинович, ассистент. E-mail: nazhueva17@mail.ru. Донской государственный технический университет. Россия, 344003, Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, д. 1.

Джалилова Патимат Магомедовна, аспирант. E-mail: p.dzhamilova@mail.ru. Дагестанский государственный технический университет. Россия, Республика Дагестан, 367026, Махачкала, пр. Имама Шамиля, д. 70.

Батаева Фариза Ахмедовна, магистрант. E-mail: bataevafariza@mail.ru. Донской государственный технический университет. Россия, 344003, Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, д. 1.

Бакаев Заурбек Идрисович, магистрант. E-mail: zaurbekbakaev06@gmail.com. Донской государственный технический университет. Россия, 344003, Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, д. 1.

Кукаев Анзор Хамидович, магистрант. E-mail: kukaevanzor@mail.ru. Донской государственный технический университет. Россия, 344003, Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, д. 1.

Османов Ашыр, магистрант. E-mail: ashir.osmanov@gmail.com. Донской государственный технический университет. Россия, 344003, Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, д. 1.

Поступила 29.11.2020

© Нажуев М.П., Джамилова П.М., Батаева Ф.А., Бакаев З.И., Кукаев А.Х., Османов А., 2021

^{1,*}Nazhiev M.P., ²Dzhamilova P.M., ¹Bataeva F.A.,
¹Bakaev Z.I., ¹Kukaev A.Kh., ¹Osmanov A.
¹Don State Technical University
²Dagestan State Technical University
*E-mail: nazhiev17@mail.ru

SOME TECHNOLOGICAL PARAMETERS OF VIBRATION CENTRIFUGAL EQUIPMENT AS A FACTOR IN CONTROL OF CONCRETE PROPERTIES

Abstract. An increase in the volume of construction requires innovations in technological, structural and design solutions for reinforced concrete elements. As a result of the centrifugation method, variatropic concretes with different cross-sectional characteristics and structures made from them. Therefore, at the stages of calculation and design of building structures of a variatropic structure, an unreasonably large supply of bearing capacity is usually laid, leading to an impressive rise in the cost of promising building structures. It is proposed to combine centrifugation with vibration to increase the density and ensure a more uniform distribution of the components of the concrete mixture over the wall thickness of an annular section product, in particular columns. Vibration will be ensured through the use of clamps, which are put on the shafts of the installation. Within the framework of the proposed experimental setup for creating vibrocentrifuged samples of annular cross-section with a variatropic structure and a method for their manufacture, the technological parameters of vibration are identified, which have the most significant effect on the characteristics of vibrocentrifuged concrete. In the experiments, the following technological factors varied: the height of the technological protrusions of the clamps and the vibration mode. The problem of assessing the influence of these factors on the integral characteristics of concrete is investigated. The results of experimental studies of the influence of the considered technological factors on the integral characteristics of vibrocentrifuged concrete are presented. The results obtained show the feasibility of continuing the study of rational technological parameters of vibrocentrifugation to improve the characteristics of concrete and regulate its variatropy, which will allow the proposed method to be patented in the future and to design an improved vibrocentrifuged column with more fully utilized reserves of the bearing capacity of building structures.

Keywords: vibrocentrifugation, integral characteristics, technological factors of vibration, reinforced concrete products, strength, modulus of elasticity, ultimate deformation.

REFERENCES

1. Akhverdov I.N. Reinforced concrete centrifuged pressure pipes [Zhelezobetonnye napornye tsentrifugirovannye truby]. Moscow: Stroyizdat. 1969, 164 p. (rus)
2. Batashev V.M. Investigation of the strength and deformation of reinforced concrete elements of ring section under bending, compression and tension [Issledovanie prochnosti i deformatsii zhelezobetonnykh elementov kol'tseвого secheniya pri izgibe, szhatii i rastyazhenii]. Trudy instituta Energoset'proekt. 1975. No. 6. Pp. 70–86. (rus)
3. Gushcha Yu.P., Lemyshev L.L. On the issue of improving the calculation of deformations of reinforced concrete elements [K voprosu o sovershenstvovanii rascheta deformatsii zhelezobetonnykh elementov]. Napryazhenno-deformirovanoe sostoyanie betonnykh i zhelezobetonnykh konstruktsii: sb. statei Nauchno-issledovatel'skogo instituta betona i zhelezobetona. Moscow: Stroyizdat, 1986. Pp. 26–39. (rus)
4. Ovsyankin V.I. Reinforced concrete pipes for pressure water conduits (3rd edition) [Zhelezobetonnye truby dlya napornnykh vodovodov (3-e izdanie)]. Moscow: Stroyizdat. 1971. 320 p. (rus)
5. Bazhenov Yu.M. Modern concrete technology. [Sovremennaya tekhnologiya betona]. Concrete technology. 2005. No. 1. Pp. 6–8. (rus)
6. Mailyan L.R., Mailyan A.L., Aivazyan E.S. Estimated Strength and Deformation Characteristics and Fiber Concrete Deformation Diagrams with Aggregated Fiber Distribution [Raschetnaya ocenka prochnostnykh i deformativnykh harakteristik i diagram deformirovaniya fibrobetonov s agregirovannym raspredeleniem volokon]. Engineering journal of Don. 2013. No. 3. AdobeAcrobatReader. URL: http://www.ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD_28_Mailian.pdf_1760.pdf. (rus) (date of treatment: 16.11.2020).
7. Wen-Yao Lu, Chia-Hung Chu. Tests of high-strength concrete deep beams. Magazine of Concrete Research. 2019. Vol. 71. No. 4. Pp. 184–194.
8. Alani A., Bunnori N., Noaman A., Majid T. Durability performance of a novel ultra-high-performance PET green concrete (UHPPGC). Construction and Building Materials. 2019. Vol. 209. Pp. 395–405.
9. Maruyama I., Lura P. Properties of early-age concrete relevant to cracking in massive concrete. Cement and Concrete Research. 2019. Vol. 123. DOI: 10.1016/j.cemconres.2019.05.015.

10. Li K., Li L. Crack-altered durability properties and performance of structural concretes. *Cement and Concrete Research*. 2019. Vol. 124. DOI: 10.1016/j.cemconres.2019.105811.

11. Ferrotto M.F., Fischer O., Cavaleri L. Analysis-oriented stress-strain model of CRFP-confined circular concrete columns with applied preload. *Materials and Structures*. 2018. Vol. 51. Iss. 44. <https://doi.org/10.1617/s11527-018-1169-0>.

12. Gershberg O.A. Technology of concrete and reinforced concrete products [Tekhnologiya betonnykh i zhelezobetonnykh izdelii]. Moscow: Stroizdat, 1971. 360 p. (rus)

13. Bourchy A., Barnes L., Bessette L., Chalenccon F., Joron A., Torrenti J. M. Optimization of concrete mix design to account for strength and hydration heat in massive concrete structures. *Cement and Concrete Composites*, 2019. Vol. 103. Pp. 233–241.

14. Suleimanova L.A. High-quality energy-saving and competitive building materials, products and structures [Vysokokachestvennye energosberegayushchie i konkurentosposobnye stroitel'nye materialy, izdeliya i konstruksii]. *Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov*. 2017. No. 1. Pp. 9–16. (rus)

15. Obernikhin D.V., Nikulin A.I. Experimental studies of the deformability of bendable reinforced concrete elements of various cross sections [Eksperimental'nye issledovaniya deformativnosti izgibaemykh zhelezobetonnykh elementov razlichnykh poperechnykh sechenij]. *Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov*. 2017. No. 4. Pp. 56–59. (rus)

16. Korolev A.S., Voroshilin A.A., Trofimov B.Ya. Increasing the strength and thermal insulation properties of aerated concrete by the directional formation of a variatropic structure [Povyshenie prochnosti i teploizolyatsionnykh svoystv yacheistogo betona putem napravlennoy formirovaniya variatropnoy struktury]. *Construction Materials*. 2005. No. 5. Pp. 8–9. (rus)

17. Mailyan L.R., Stel'makh S.A., Shcherban' E.M., Kholodnyak M.G. Determination and use of hidden strength reserves of centrifuged reinforced constructions by means of calculation and experimental methods. *Russian Journal of Building Construction and Architecture*. 2020. No. 1(45). Pp. 6–14. DOI: 10.25987/VSTU.2020.45.1.001.

18. Nazhnev M.P., Yanovskaya A.V., Kholodnyak M.G., Stel'makh S.A., Shcherban' E.M., Osadchenko S.A. Analysis of foreign experience in the development of technology of vibrocentrifuged building structures and concrete products [Analiz zarubezhnogo opyta razvitiya tekhnologii vibrotsentrifugirovannykh stroitel'nykh konstruksii i izdelii iz betona]. *Bulletin of Eurasian Science*. 2018. No. 3. AdobeAcrobatReader. URL: <https://esj.today/PDF/58SAVN318.pdf> (rus) (date of treatment: 16.11.2020).

19. Mailyan L.R., Stel'makh S.A., Khalyushev A.K., Shcherban' E.M., Kholodnyak M.G., Nazhnev M.P. Optimization of the parameters of centrifuged products with an annular section at the stage of compaction [Optimizatsiya parametrov tsentrifugirovannykh izdelii kol'tsevoy secheniya na stadii uplotneniya]. *Engineering Bulletin of Don*. 2018. No. 3. AdobeAcrobatReader. URL: http://www.ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD_82_Mailyan_Stelmakh_N.pdf_733ea2349a.pdf (rus) (date of treatment: 16.11.2020).

20. Mailyan L.R., Stel'makh S.A., Khalyushev A.K., Shcherban' E.M., Kholodnyak M.G., Nazhnev M.P. Optimization of technological parameters for the production of centrifuged concrete samples of annular section [Optimizatsiya tekhnologicheskikh parametrov dlya izgotovleniya tsentrifugirovannykh betonnykh obraztsov kol'tsevoy secheniya]. *Construction and architecture*. 2018. Vol. 6. No. 1(18). Pp. 247–252. (rus)

21. Shcherban' E.M., Stel'makh S.A., Kholodnyak M.G., Nazhnev M.P., Rymova E.M., Liev R.A. Influence of the type of aggregate and dispersed reinforcement on the deformability of vibrocentrifuged concrete [Vliyanie vida zapolnitelya i dispersnogo armirovaniya na deformativnost' vibrotsentrifugirovannykh betonov]. *Bulletin of Eurasian Science*. 2019. No. 5. AdobeAcrobatReader. URL: <https://esj.today/PDF/29SAVN519.pdf> (rus) (date of treatment: 16.11.2020).

22. Stel'makh S.A., Shcherban' E.M., Kholodnyak M.G., Nasevich A.S., Yanovskaya A.V. Device for the manufacture of products from vibrocentrifuged concrete. Patent RF, no. 2020103753, 2020.

Information about the authors

Nazhnev, Mukhuma P. Assistant. E-mail: nazhnev17@mail.ru. Don State Technical University. Russian Federation, 344003, Rostov-on-Don, Gagarin Square, 1.

Dzhamilova, Patimat M. Postgraduate student. E-mail: p.dzhamilova@mail.ru. Dagestan State Technical University Republic of Dagestan. 367026, Makhachkala, Imam Shamil, 70.

Bataeva, Fariza A. Master student. E-mail: bataevafariza@mail.ru. Don State Technical University. Russian Federation, 344003, Rostov-on-Don, Gagarin Square, 1.

Bakaev, Zaurbek I. Master student. E-mail: zaurbekbakaev06@gmail.com. Don State Technical University. Russian Federation, 344003, Rostov-on-Don, Gagarin Square, 1.

Kukaev, Anzor K. Master student. E-mail: kukaevanzor@mail.ru. Don State Technical University. Russian Federation, 344003, Rostov-on-Don, Gagarin Square, 1.

Osmanov, Ashyr. Master student. E-mail: ashir.osmanov@gmail.com. Don State Technical University. Russian Federation, 344003, Rostov-on-Don, Gagarin Square, 1.

Received 29.11.2020

Для цитирования:

Нажуев М.П., Джамилова П.М., Батаева Ф.А., Бакаев З.И., Кукаев А.Х., Османов А. Влияние режимов виброцентрифугирования на свойства получаемых бетонов // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2021. № 1. С. 8–19. DOI: 10.34031/2071-7318-2021-6-1-8-19

For citation:

Nazhueva M.P., Dzhamilova P.M., Bataeva F.A., Bakaev Z.I., Kukaev A.Kh., Osmanov A. Some technological parameters of vibration centrifugal equipment as a factor in control of concrete properties. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2021. No. 1. Pp. 8–19. DOI: 10.34031/2071-7318-2021-6-1-8-19

DOI: 10.34031/2071-7318-2021-6-1-20-28

Ахмед А.А.А., Лесовик Р.В., Аль-Бу-Али У.С., Лесовик Г.А.Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова*** E-mail: Civileng85@yahoo.com*

ВЛИЯНИЕ ТОНКОДИСПЕРСНОЙ ДОБАВКИ ИЗ БЕТОННОГО ЛОМА НА СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЕ ПОРТЛАНДЦЕМЕНТА

Аннотация. Объектом исследования является влияние введения минеральной добавки ($S_{y0}=900 \text{ м}^2/\text{кг}$) фракции (0,315–5 мм) отсева дробления бетонного лома в портландцемент для производства различных строительных изделий и конструкций. В работе использовали фракцию бетонного лома 0,315–5 мм, так как рентгенофазовый анализ различных фракций бетонного лома показал, что именно эти фракции имеют рациональное содержание негидратированных частиц C_3S и C_2S .

Доказано, что применение тонкоизмельченного бетонного лома ($S_{y0} = 900 \text{ м}^2/\text{кг}$) в качестве минеральной добавки в портландцемент повышает физико-механические свойства бетона. Установлено, что наиболее рациональными являются составы с содержанием 5 % и 10 % минеральной добавки обеспечивающие прирост прочности образцов через 28 сут на 17 % и 16 %, соответственно, по сравнению с контрольным составом.

За счет высокой дисперсности минеральная добавка из бетонного лома выступает в роли дополнительных центров кристаллизации при гидратации портландцемента, что приводит к созданию каркасной кораллоподобной структуры, которая дополнительно обрастает субмикроскопическими кристаллами. При удельной поверхности $900 \text{ м}^2/\text{кг}$ создаются наилучшие условия для формирования первичного каркаса и дальнейшего обрастания его различными кристаллогидратами кальция, обеспечивающими оптимальные плотность и прочность.

Ключевые слова: эффективные композиты, фрагменты разрушенных зданий и сооружений, строительные отходы, зеленое строительство, окружающая среда, бетонный лом.

Введение. На сегодняшний день на планете Земля часто происходят природные катастрофы и вооруженные конфликты, вследствие чего появляются разрушенные дома и другие объекты, населенные пункты и целые города. В связи с этим остро встает вопрос о восстановлении разрушенных городов, а также об утилизации элементов зданий и сооружений, превращенных в развалины. Одним из широко распространенных вариантов утилизации этих элементов является их захоронение в вогнутых формах земной поверхности: котлованах, оврагах, балках и т. д., а далее техническая и биологическая обработка территорий, приводящая к возврату земли в хозяйственное пользование. При этом для строительства новых, а также реконструкции и восстановления разрушенных архитектурных сооружений необходимы строительные материалы, для производства которых приходится вновь добывать и обрабатывать природное сырье. Данный подход ведет к удорожанию мероприятия, учитывая затраты на утилизацию, что противоречит стандартам «зеленого строительства» [1–4].

Высокую эффективность использования бетонного лома в качестве вторичного заполнителя бетона подтвердили многочисленные исследования, проводимые в этом направлении [5–9]. Для разработки принципиально новых и эффективных строительных материалов, а также технологий их производства, необходимо, по возможно-

сти, максимально точно воспроизводить в лаборатории геологические и космохимические процессы, которые происходят в природе естественным путем. Далее теоретические знания геологических и геохимических закономерностей образования природных объектов, а также данные, полученные опытным путем, обобщаются, систематизируются и используются для разработки технологий производства искусственных материалов. Данный подход к созданию композитов нового поколения используется в таком направлении материаловедения, как геоника (геомиметика) [10–14]. На сегодняшний день в строительстве актуальны программы, направленные на предотвращение или восстановление ущерба, нанесенного окружающей среде, снижение уровня потребления энергетических и материальных ресурсов на протяжении всего жизненного цикла здания, то есть «зеленое строительство». Во многих случаях предпочтительнее не вторгаться в природу, ограничивая деятельность человека по добыче и переработке сырья. На данном этапе более эффективным является использование уже имеющегося в наличии вторичного сырья, такого, например, как обломки бетонных зданий. Особенно это актуально для республики Ирак, где в результате военных действий осталось огромное количество разрушенных объектов. Имеющиеся на сегодняшний день результаты исследований бетонного лома позволяют говорить о его высокой ценности как компонента

бесцементных вяжущих, хотя этот вопрос еще не изучен в достаточной степени.

Авторами [15–17] были проведены исследования влияния замены доли крупного и мелкого заполнителей вторичными компонентами, такими как измельченный бетонный лом. Результаты показали, что при активации в течение 150 минут нормальная густота такого вяжущего снижается с 26,5 % до 22,4 %, а оптимальное количество наполнителя составляет 22 % при содержании органической примеси в количестве 0,5 %. Предложенные авторами математические модели могут быть рекомендованы для проектирования самоуплотняющихся бетонных смесей.

Изучены свойства бесцементного вяжущего, в котором в качестве исходных материалов использовали измельченный гранулированный доменный шлак и летучую золу, то есть вяжущее активировали порошком силиката натрия. При этом было выявлено, что предел прочности при сжатии и потеря текучести щелочно-активированного раствора в значительной степени зависят от используемой щелочи. Учеными было разработано совершенно новое вяжущее, полностью состоящее из побочных продуктов [15–17]. Ранее неизвестное вяжущее временно назвали Fa-RmLG благодаря входящим в его состав компонентам: летучая зола (Fa), известь (L), гипс (G) и красный шлак (Rm). Результаты исследований показали, что свойства CLSM (низкомарочного

материала), изготовленного на данном вяжущем, такие как: сроки схватывания, текучесть, предел прочности при сжатии, коррозионная стойкость, а также микроструктурный анализ и наличие тяжелых металлов, соответствуют требованиям ACI 229R.

Фактически исследований, направленных на изучение возможности применения бетонного лома в качестве компонента композиционного вяжущего, не проводилось. Также упущен такой важный аспект, как влияние на прочностные характеристики и показатели сцепления раствора, размера фракций отсевов дробления бетонного лома. Поэтому решение именно этой проблемы легло в основу данного исследования, что в дальнейшем позволит добиться более детального исследования процессов структурообразования цементного камня при создании новых строительных композитов и их рационального применения в зелёном строительстве.

Методы и материалы. Для строительных материалов немаловажным является то, как они будут вести себя в процессе эксплуатации. Поэтому, прежде чем использовать бетонный лом для производства строительных композитов, тщательно исследуют его свойства, а также влияние на процессы структурообразования в бетоне на его основе. В данной работе использовались отсеvy дробления щебня из обломков различных строений в г. Эр-Рамаде (Ирак) (рис.1).



Рис. 1. Обломки строений

Бетонный лом дробили на лабораторной щековой дробилке, далее рассеивали на фракции: 5 – 2,5 мм; 2,5 – 1,25 мм; 1,25 – 0,63 мм; 0,63 –

0,315 мм; 0,315 – 0,16 мм; менее 0,16 мм. Результаты испытания приведены в таблице 1.

Таблица 1

Гранулометрический состав отсевов дробления бетонного лома

Показатель	Размер отверстий сит					
	2,5 мм	1,25 мм	0,63 мм	0,315 мм	0,16 мм	< 0,16 мм
Масса остатков на сите, г	351	84	114	132	154	165
Частные остатки, %	35,1	8,4	11,4	13,2	15,4	16,5
Полные остатки, %	35,1	43,5	54,9	68,1	83,5	100

В данной работе для последующего дробления и измельчения использовали фракции 0,315–0,16 мм и менее 0,16 мм, составляющие цементный камень бетонного лома, так как наибольший интерес представляла возможность использова-

ния именно мелких фракций для получения бесцементного вяжущего. Идентификация вещества в их смеси по его кристаллохимическим характеристикам, определение различных дефектов,

нарушений и других особенностей кристаллической структуры – основная задача РФА (рентгенофазового анализа) (рис. 2).

Опытным путем было установлено, что отсев дробления бетонного лома состоит в основном из: негидратированных клинкерных минералов C_3S – ($d = 2,77; 2,19 \dots \text{Å}$); C_2S – ($d = 2,75; 2,74; 2,19 \dots \text{Å}$); кварца SiO_2 – ($d = 4,25; 3,35; 2,45;$

$2,29; 2,23; 2,12 \dots \text{Å}$); портландита $Ca(OH)_2$ – ($d = 4,93; 3,11; 2,63; 1,93; 1,79; 1,69; 1,55 \dots \text{Å}$); кальция $CaCO_3$ – ($d = 3,86; 3,035; 2,845; 2,495; 2,285; \dots \text{Å}$); частично закристаллизованного тоберморитоподобного гидросиликата кальция $CSH(B)$ – ($d = 9,8; 4,9; 3,07; 2,85; 2,80; \dots \text{Å}$); гидроферритов кальция, твердых растворов комплексных соединений и др.

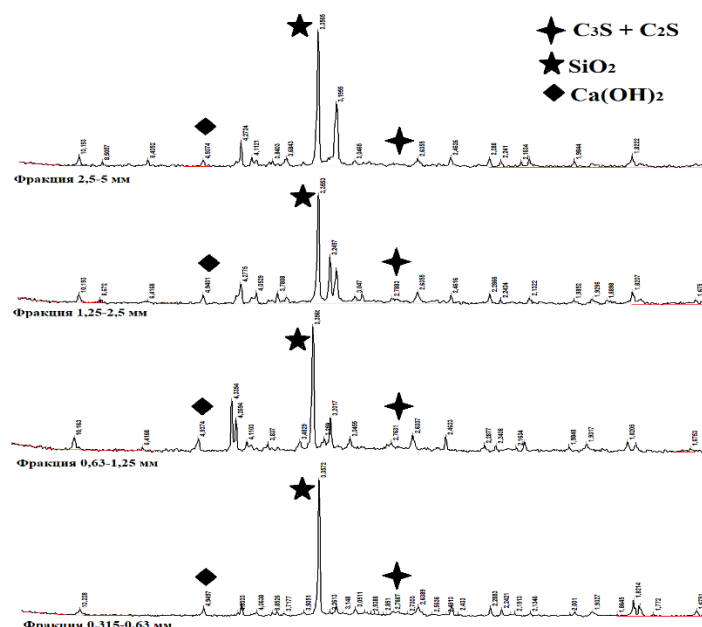


Рис. 2. Рентгенограмма различных фракций отсева дробления бетонного лома

На зернах заполнителя при дроблении бетона остаются тонкодисперсные частицы цементного камня, а также присутствуют слои в виде тонких пленок гидратных фаз или растворной составляющей. Обычно цементный камень состоит из следующих фаз: алита C_3S , белита C_2S , частично закристаллизованного гидросиликата кальция $CSH(B)$ и портландита $Ca(OH)_2$.

Тонкодисперсные частицы цементной пленки, оседающей на поверхности заполнителей, содержат водорастворимый гидроксид кальция. Затем, в результате присоединения углекислого газа, происходит карбонизация гидроксида кальция, что ведет к образованию труднораство-

римого карбоната кальция $CaCO_3$, наличие которого наблюдается на рентгенограммах бетонного лома. Также присутствуют пики, характерные для кварца.

Для измельчения бетонного лома использовали лабораторную вибрационную мельницу MB-20. Вибрационные мельницы сделаны по гирационному типу. Это значит, что колебания от привода передаются непосредственно на камеру размол (рис. 3). При большой частоте и малой амплитуде колебаний между мелющими элементами и частицами материала возникают переменные усилия. Это приводит к накоплению усталости и последующему разрушению образца. Поэтому помол получается такой мелкий.

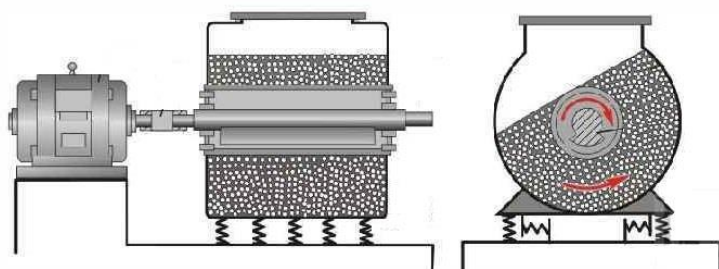


Рис. 3. Вибрационная мельница

Основная часть. Значительным достижением современной строительной науки является

повышение эффективности строительных изделий и конструкций за счет оптимизации процессов структурообразования путем использования

различных минеральных добавок. В данной работе проведены исследования по влиянию введения минеральной добавки ($S_{уд}=900 \text{ м}^2/\text{кг}$) фракции (0,315–5 м) отсева дробления бетонного

лома. Установлена рациональная дозировка измельченного бетонного лома в ПЦ- 5 % (таблица 2), обеспечивающая прирост прочности образцов на 16 % по сравнению с контрольным составом.

Таблица 2

Влияние минеральной добавки на свойства вяжущих

Наименование материалов	$R_{сж}$, МПа, сут			ρ , кг/м ³
	2	7	28	
ПЦ	27,8	37,4	51,7	2315
ПЦ + 1 % добавки	29	38	51	2300
ПЦ + 5 % добавки	28,9	41	60,5	2337
ПЦ + 10 % добавки	28,2	39,7	60	2330

Результаты испытаний показали, что повышение $R_{сж}$ (предела прочности при сжатии) образцов цементного камня $7 \times 7 \times 7 \text{ см}$ с добавкой 1 и 5 % тонкодисперсного бетонного лома через 2 сут твердения по сравнению с контрольными составило 6 и 4 % соответственно. До 28 сут образцы продолжали набирать прочность, которая для образцов с добавкой 5 и 10 % возросла по сравнению с контрольными на 17 и 16 % соответственно. Сравнительные физико-механические показатели в процессе твердения композиционных вяжущих свидетельствуют, что наиболее стабильными результатами с равномерным нарастанием прочности является состав с 5 % минеральной добавки, с приростом прочности от 2 до 7 сут – 36 % и от 7 до 28 суток – 46 %.

Для изучения морфологии цементного камня с минеральной добавкой в процессе твердения была изучена микроструктура вяжущего с измельченным бетонным ломом в сравнении с

микроструктурой гидратированного цементного камня в возрасте 2 и 28 суток. Рассматривая микрофотографии поверхности цементного камня на чистом портландцементе в возрасте 2 суток (рис. 4) необходимо прежде всего отметить, что скол камня проходит по плоскости слоя и по сечению между контактами чешуйчатых кристаллоагрегатов. Основным элементом в цементном камне, обеспечивающим его прочность, являются чешуйки-зерна, образующие поликристаллический цементный камень.

Зерна поликристаллического цементного камня представляют собой плотную компактную массу. Отмечается довольно густое зарастание его пор, кристаллы формируются в объеме в различных пространственных направлениях. Такая картина наблюдается во всех изучаемых сколах чистого цементного камня, что свидетельствует об активном процессе гидратации портландцемента.

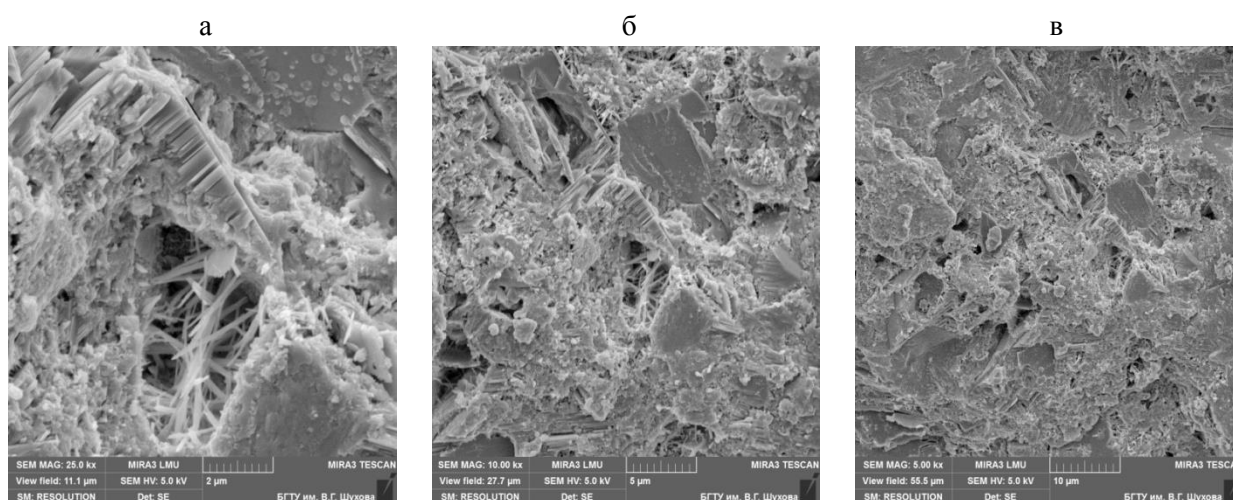


Рис. 4. Микрофотоснимок цементного камня в возрасте 2 суток, а – 2 мкм; б – 5 мкм; в – 10 мкм

Анализируя микрофотоснимки цементного камня в процессе твердения от 2 до 28 сут, следует отметить, что в результате твердения в цементной системе продуктов гидратации стано-

вится все больше. Кроме того, замечено, что происходит значительное обжатие негидратированных зерен в сочетании высокой поверхностной энергией игольчатых кристаллов, находящихся на их поверхности, что, непременно, обеспечит

требуемые прочностные свойства цементного камня. Микроструктура цементного камня представлена кристаллическими гидратными новообразованиями достаточно малых размеров, расположенных параллельными слоями, и сформированных слоями чешуйчатых поликристаллов отдельными агрегатами-блоками. Микроструктура гидросиликатов кальция равномерна по объему исследуемого образца, отмечается ритмичность

процесса гидратации, определяемая формой и размерами зерен силикатов кальция. С увеличением возраста твердения цементного камня отчетливо видно зарастание пор гидратными новообразованиями, уменьшение их количества и размеров, что благоприятно отражается на омоноличивании цементного камня и увеличении его прочности (рис. 5).

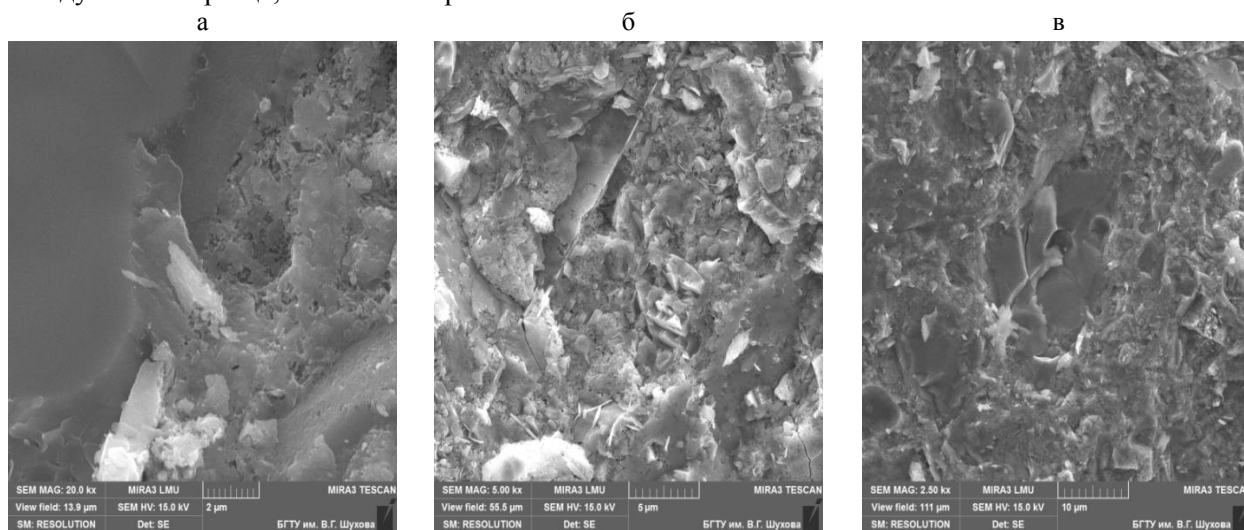


Рис. 5. Микрофотоснимок цементного камня в возрасте 28 суток, а – 2 мкм; б – 5 мкм; в – 10 мкм

Была изучена микроструктура гидратированного вяжущего, приготовленного в результате смешения портландцемента с удельной поверхностью $330 \text{ м}^2/\text{кг}$ и измельченного бетонного лома фракции 0,315-5 мм с удельной поверхностью ($S_{уд}$) $900 \text{ м}^2/\text{кг}$.

Исследования микроструктуры проводили в возрасте 2 сут и 28 сут. Рассматривая микроструктуру цементного камня в возрасте 2 сут,

можно заметить, что в общей массе формирующегося композита наблюдается формирование равномерно распределенных новообразований. На частичках, вероятно, внесенных измельченным бетонным ломом, формируются устойчивые плотные слои гидросиликатов. Отмечается присутствие портландита. Структура формирующегося композита характеризуется созданием плотного массива, покрытого сплошным слоем субмикроскопических новообразований (рис. 6).

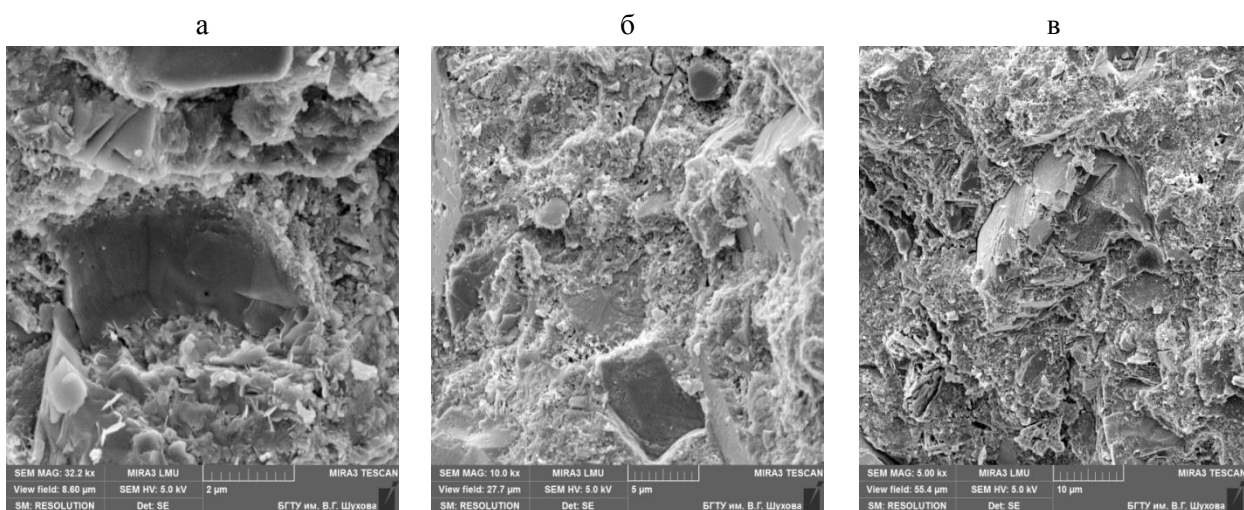


Рис. 6. Микрофотоснимок вяжущего в возрасте 2 суток, а – 2 мкм; б – 5 мкм; в – 10 мкм

Анализ микроструктуры образцов вяжущего в возрасте 28 сут показал, что с увеличением воз-

раста твердения структура композита уплотняется, количество пор уменьшается. Создается

каркасная структура, которая обрастает субмикроскопическими кристаллами, структура становится более плотной. Частицы бетонного лома выступают в качестве каркасных элементов, а также в качестве демпферов, препятствующих усадочным деформациям композита (рис. 7).

Таким образом, результаты изучения микроструктуры гидратированного вяжущего согласо-

уются с результатами физико-механических испытаний образцов в возрасте 28 сут, а высокая дисперсность минеральной добавки способствует созданию дополнительных центров кристаллизации, что приводит к формированию в возрасте 28 сут каркасной кораллоподобной структуры и дополнительному обрастанию ее субмикроскопическими кристаллами.

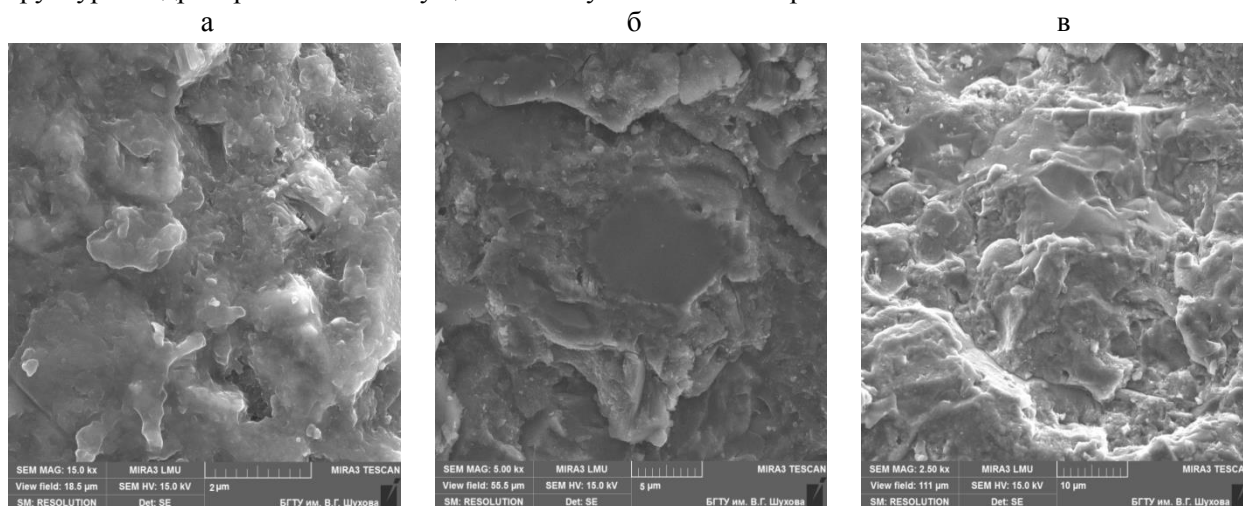


Рис. 7. Микрофотоснимок вяжущего в возрасте 28 суток, а – 2 мкм; б – 5 мкм; в – 10 мкм

Выводы. Анализируя результаты проведенных исследований, можно сделать вывод, что минеральная добавка из бетонного лома фракции (0,315–5 мм), введенная в портландцемент, положительно влияет на физико-механические показатели полученных композиционных вяжущих, которые удовлетворяют требованиям ГОСТ 10178-85 «Портландцемент и шлакопортландцемент. Технические условия» и межгосударственного ГОСТ 31108-2003 «Цементы общестроительные. Технические условия», что позволяет рекомендовать разработанные вяжущие для промышленного применения. Поэтому разработанные вяжущие можно использовать для получения строительных материалов, изделий и конструкций различного назначения.

Наиболее рациональными являются составы с содержанием 5 % и 10 % минеральной добавки. Как следствие, в зависимости от условий, можно подобрать наиболее оптимальную дозировку.

Установлено, что микроструктура цементного камня на основе композиционного вяжущего через 28 сут твердения отличается незначительным количеством пор, однородностью, плотностью и дефектов. В процессе твердения композиционного вяжущего благодаря объединению каркаса тонкодисперсных частиц бетонного лома различной формы и размеров гидросиликатной связкой происходит уплотнение структуры.

Необходимо подчеркнуть, что использование отходов бетонного лома для получения новых строительных композитов соответствует стандартам «зеленого строительства» по созда-

нию комфортной внутренней среды для человека, уменьшает негативное влияние на окружающую среду за счет безотходности производства бетонных и железобетонных изделий и сокращения количества отходов, а также позволит постоянно наращивать скорость и объемы строительства и восстановления архитектурных сооружений, что особенно актуально при возрождении городов после природных катастроф и вооруженных конфликтов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Lesovik V.S., Tolstoy A.D., Alani A.A. Realization of the similarity law in the building material science // *Oriental journal of chemistry*. 2019. Vol. 35. No. 3. Pp. 1067–1072.
2. Ahmed A.A.A. Theoretical aspects of using fragments of destroyed buildings and structures of Iraq // *Materials Science and Engineering*. 2020. Vol. 945. 012039.
3. Lesovik, R.V., Klyuev, S.V., Klyuev, A.V., Tolbatov, A.A., Durachenko, A.V.: The development of textile fine-grained fiber concrete using technogenic raw materials // *Research Journal of Applied Sciences*. 2015. Vol. 10. Pp. 696–701.
4. Муртазаев, С-А.Ю., Исмаилова З.Х. Использование местных техногенных отходов в мелкозернистых // *Строительные материалы*. 2008. №3. С. 57–58.
5. Carlo P., Flora F., Christian M. Recycled materials in concrete // *Developments in the Formulation and Reinforcement of Concrete (Second Edition)*. 2019. Vol. 31. No.8. Pp. 19–54.

6. Xie J., Fang C., Lu Z., Li Z., Li L. Effects of the addition of silica fume and rubber particles on the compressive behaviour of recycled aggregate concrete with steel fibres // *Journal of cleaner production*. 2018. Vol.197. Pp. 656–667.
7. Keun-Hyeok Y., Jin-Kyu S., Ashraf F., Eun-Taik L. Properties of cementless mortars activated by sodium silicate // *Construction and building materials*. 2008. Vol. 22. Pp. 1981–1989.
8. Younis A., Ebead U., Judd S. Life cycle cost analysis of structural concrete using seawater, recycled concrete aggregate, and GFRP reinforcement // *Construction and Building Materials*. 2018. Vol. 175. Pp. 152–160.
9. Лесовик В.С., Загороднюк Л.Х., Чернышева Н.В., Глаголев Е.С., Кучерова А.С., Дребезгова М.Ю., Канева Е.В. Современные трехмерные технологии и факторы сдерживающие их // *Вестник БГТУ им. Шухова*. 2016. №12. С. 22–30.
10. Zagorodnjuk L.H., Lesovik V.S., Volodchenko A.A., Yerofeyev V.T. Optimization of mixing process for heat-insulating mixtures in a spiral blade mixer // *International Journal of Pharmacy and Technology*. 2016. Т.8. №.3. Pp. 15146–15155.
11. Lesovik V.S., Chulkova I.L., Zagorodnjuk L.K., Volodchenko A.A., Yurievich P.D. The role of the law of affinity structures in the construction material science by performance of the restoration works // *Research Journal of Applied Sciences*. Vol.9.No.12. 2014. Pp. 1100–1105.
12. Лесовик В.С., Загороднюк Л.Х., Шамшу-ров А.В., Беликов Д.А. Композиционное вяжущее на основе комплексного органоминерального модификатора для сухих ремонтных смесей // *Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова*. 2014. №.4. С. 25–31.
13. Zagorodnjuk L.H., Lesovik V.S., Volodchenko A.A. To the question of dry mortars components mixed in various mixing units // *International Journal of Applied Engineering Research*. 2015. Pp. 44844–44847.
14. Larsen O., Naruts V., Aleksandrova O. Self-compacting concrete with recycled aggregates // *Materials Today: Proceedings*. 2019. Vol. 19. Pp. 2023–2026.
15. Карпиков Е.Г., Лукутцова Н.П., Соболева Г.Н., Головин С.Н., Черенкова Ю.С. Влияние микронаполнителей из природного волластонита на свойства мелкозернистого бетона. Строительные материалы и изделия. Том 2. №6. 2019. С. 20–28.
16. Jeong-II C., Keum-II S., Jin-Kyu S., Bang Y.L. Composite properties of high-strength polyethylene fiber-reinforced cement and cementless composites // *Composite Structures*. Vol.138. 2016. Pp. 116–121.
17. Bel J., Park S., Park J. Mechanical properties of polymer concrete made with recycled PET and recycled concrete aggregates // *Construction and Building Materials*. 2008. Vol. 9. Pp. 2281–2291.

Информация об авторах

Ахмед Ахмед Анис Ахмед, аспирант кафедры строительного материаловедения, изделий и конструкций. E-mail: civileng85@yahoo.com. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Лесовик Руслан Валерьевич, доктор технических наук, профессор, проректор по международной деятельности. E-mail: ruslan_lesovik@mail.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Аль-Бу-Али У.С., аспирант кафедры строительного материаловедения, изделий и конструкций. E-mail: walboali@yahoo.com. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Лесовик Галина Александровна, кандидат технических наук, доцент кафедры строительного материаловедения, изделий и конструкций. E-mail: galina.lesovik@mail.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Поступила 02.11.2020

© Ахмед А.А.А., Лесовик Р.В., Аль-Бу-Али У.С., Лесовик Г.А., 2021

***Ahmed A.A.A., Lesovik R.V., Albo Ali W.S., Lesovik G.A.**
Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov
**E-mail: civileng85@yahoo.com*

INFLUENCE OF FINE-DISPERSED ADDITIVE FROM CONCRETE SCRAP ON STRUCTURE FORMATION OF PORTLANDCEMENT

Abstract. The object of the study is the effect of the introduction of a mineral additive ($S_{sp} = 900 \text{ m}^2/\text{kg}$) of the fraction (0.315–5 mm) of the screening out of crushing concrete scrap into Portland cement for the production of various building products and structures. A fraction of concrete scrap of 0.315–5 mm is used in the

work, since the X-ray phase analysis of various fractions of concrete scrap shows that these fractions have a rational content of non-hydrated particles of C_3S and C_2S . It is proved that the use of finely ground concrete scrap ($S_{sp} = 900 \text{ m}^2/\text{kg}$) as a mineral additive in Portland cement increases the physical and mechanical properties of concrete. Comparative physical and mechanical indicators of the hardening of composite binders indicate that the most stable results with a uniform increase in strength is a composition with 5 % mineral additive, with an increase in strength from 2 to 7 days by 36 % and from 7 to 28 days by 46 %. It is found that the most rational are the compositions with 5 % and 10 % mineral additives providing an increase in the strength of the samples by 16% compared to the control composition. Due to the high dispersion, the mineral additive from concrete scrap acts as additional crystallization centers during the hydration of Portland cement, which leads to the creation of a skeleton coral-like structure, which additionally overgrows with submicroscopic crystals. With a specific surface area of $900 \text{ m}^2/\text{kg}$, the best conditions are created for the formation of the primary frame and its further overgrowth with various crystalline calcium hydrates, which provide optimal density and strength.

Keywords: effective composites, fragments of destroyed buildings and structures, construction waste, green building, environment, similarity law, concrete scrap.

REFERENCES

1. Lesovik V.S., Tolstoy A.D., Alani A.A. Realization of the similarity law in the building material science. *Oriental journal of chemistry*. 2019. Vol. 35. No. Pp. 1067–1072.
2. Ahmed A.A.A. Theoretical aspects of using fragments of destroyed buildings and structures of Iraq. *Materials Science and Engineering*. 2020. Vol. 945. 012039.
3. Lesovik, R.V., Klyuev, S.V., Klyuev, A.V., Tolbatov, A.A., Durachenko, A.V.: The development of textile fine-grained fiber concrete using technogenic raw materials. *Research Journal of Applied Sciences*. 2015. Vol. 10. Pp. 696–701.
4. Murtazaev, St. A.Yu., Ismailova Z.Kh. The use of local industrial waste in fine-grained [Ispol'zovanie mestnyh tekhnogennyh othodov v melko-zernistykh]. *Stroitel'nye materialy*. 2008. No. 3. Pp. 57–58.
5. Carlo P., Flora F., Christian M. Recycled materials in concrete. *Developments in the Formulation and Reinforcement of Concrete (Second Edition)*. 2019. Vol.31. No.8. Pp. 19–54.
6. Xie J., Fang C., Lu Z., Li Z., Li L. Effects of the addition of silica fume and rubber particles on the compressive behavior of recycled aggregate concrete with steel fibers. *Journal of cleaner production*. 2018. Vol.197. Pp.656–667.
7. Keun-Hye Y., Jin-Kyu S., Ashraf F., Eun-Taik L. Properties of cementless mortars activated by sodium silicate. *Construction and building materials*. 2008. Vol.22. Pp.1981–1989.
8. Younis A., Ebead U., Judd S. Life cycle cost analysis of structural concrete using seawater, recycled concrete aggregate, and GFRP reinforcement. *Construction and Building Materials*. 2018. Vol. 175. Pp. 152–160.
9. Lesovik V.S., Zagorodniuk L.Kh., Chernysheva N.V., Glagolev E.S., Kucheroва A.S., Drebezgova M.Y., Kaneva E.V. Modern three-dimensional technologies and factors holding them back [Sovremennyye trekhmernyye tekhnologii i faktory sderzhivayushchie ih]. *Vestnik BGTU im. SHuhova*. 2016. No. 12. Pp 22–30.
10. Zagorodnjuk L.H., Lesovik V.S., Volodchenko A.A., Yerofeyev V.T. Optimization of mixing process for heat-insulating mixtures in a spiral blade mixer. *International Journal of Pharmacy and Technology*. 2016. Vol.8. No.3. Pp. 15146–15155.
11. Lesovik V.S., Chulkova I.L., Zagorodnyuk L.K., Volodchenko A.A., Yurievich P. D. The role of the law of affinity structures in the construction material science by performance of the restoration works. *Research Journal of Applied Sciences*. 2014. Vol.9. No.12. Pp.1100–1105.
12. Lesovik V.S., Zagorodniuk L.Kh., Shamshurov A.V., Belikov D.A. Composite binder based on a complex organic-mineral modifier for dry repair mixtures [Kompozicionnoe vyazhushchee na osnove kompleksnogo organomineral'nogo modifikatora dlya suhih remontnykh smesey]. *Vestnik BGTU im. V.G. SHuhova*. 2014. No. 4. Pp.25–31.
13. Zagorodnjuk L.H., Lesovik V.S., Volodchenko A.A. To the question of dry mortars components mixed in various mixing units. *International Journal of Applied Engineering Research*. 2015. Pp. 44844–44847.
14. Larsen O., Naruts V., Aleksandrova O. Self-compacting concrete with recycled aggregates. *Materials Today: Proceedings*. 2019. Vol. 19. Pp. 2023–2026.
15. Karpikov E.G., Lukutsova N.P., Soboleva G.N., Golovin S.N., Cherenkova Yu.S. The effect of microfillings from natural wollastonite on the properties of fine-grained concrete. *Building materials and products*. 2019. Vol. 2. No. 6. Pp. 20–28.
16. Jeong-Il C., Keum-Il S., Jin-Kyu S., Bang Y. L. Composite properties of high-strength polyethylene fiber-reinforced cement and cementless composites. *Composite Structures*. 2016. Vol. 138. Pp. 116–121.
17. Bel J., Park S., Park J. Mechanical properties of polymer concrete made with recycled PET and recycled concrete aggregates. *Construction and Building Materials*. 2008. Vol. 9. Pp. 2281–2291.

Information about the authors

Ahmed Ahmed Anees Ahmed, Graduate student. Email: civileng85@yahoo.com. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, St. Kostyukova, d. 46.

Lesovik, Ruslan V. DSc, Professor, Vice-Rector for International Affairs. E-mail: ruslan_lesovik@mail.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, St. Kostyukova 46.

Albo Ali W.S. Graduate student. Email: walboali@yahoo.com. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, St. Kostyukova, d. 46.

Lesovik, Galina A. PhD, Assistant professor. E-mail: galina.lesovik@mail.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

*Received 02.11.2020***Для цитирования:**

Ахмед А.А.А., Лесовик Р.В., Аль-Бу-Али У.С., Лесовик Г.А. Влияние тонкодисперсной добавки из бетонного лома на структурообразование портландцемента // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2021. № 1. С. 20–28. DOI: 10.34031/2071-7318-2021-6-1-20-28

For citation:

Ahmed A.A.A., Lesovik R.V., Albo Ali W.S., Lesovik G.A. Influence of fine-dispersed additive from concrete scrap on structure formation of portlandcement. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2021. No. 1. Pp. 20–28. DOI: 10.34031/2071-7318-2021-6-1-20-28

DOI: 10.34031/2071-7318-2021-6-1-29-37

***Лукьянов А.И., Тюфанов В.А.**

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

*E-mail: luckjanov.andrey@yandex.ru

ВЫБОР МОДЕЛИ ГРУНТОВОГО ОСНОВАНИЯ, РЕАЛИЗОВАННЫХ В ПК SCAD OFFICE

Аннотация. В статье определено и выполнено сравнение полученных осадок по результатам применения действующей нормативной методики свода правил (СП) 22.13330.2016 «Основания зданий и сооружений» и численных расчетов с применением различных моделей грунтового основания, реализованных в программном комплексе SCAD office, на примере каркасно-монолитного здания жилого комплекса «Новая жизнь» в городе Белгород. Приведен краткий обзор методик совместного расчета фундаментной и надземной части с применением различных моделей грунтового основания: Пастернак с двумя коэффициентами постели, переменных по площади коэффициентов постели в программе – сатилите КРОСС и модель линейно – деформируемого полупространства реализованной в СП 22.13330.2016. Аналитический расчет значения осадок по СП 22.13330.2016 выполнялся «ручным» способом методом послойного суммирования. Численный расчет каркасно-монолитного здания производился как единая система «здание – фундаментная часть – основание». Значения осадок и коэффициентов постели C_1 и C_2 , выполненные по результатам численного расчета, представлены в виде графических изополей перемещений и коэффициентов постели. На основании полученных результатов аналитических и численных расчетов были даны основные выводы и составлены рекомендации по применимости каждой из рассматриваемых моделей грунтовых оснований.

Ключевые слова: модель грунта, основание, фундамент, модель Пастернака, линейно-деформируемое полупространство, программный комплекс, SCAD office.

Введение. В настоящее время большое пространство получил численный расчет зданий и сооружений совместно с грунтовым основанием, с использованием различных программных комплексов, таких как МОНОМАХ-САПР, Лира, Plaxis, Ansys, SCAD office и другие. В таких комплексах реализовано большое количество различных методик расчета грунтового основания, есть, как и простые модели с известными параметрами, так и более сложные, но с различными параметрами требующих дополнительного определения. Для инженера-расчетчика корректный выбор модели грунтового, а также ее параметров для получения адекватного напряженно-деформированного состояния основания и несущих конструкций, становится важнейшей задачей.

Цель данной статьи: определить значения и сравнить полученные осадки по результатам применения нормативной методики СП 22.13330.2016 «Основания зданий и сооружений» и численных расчетов с применением различных моделей грунтового основания, реализованных в программном комплексе (ПК) SCAD office, на примере каркасно-монолитного здания жилого комплекса (ЖК) «Новая жизнь» в городе Белгород, обосновать правильный выбор модели грунтового основания в ПК SCAD office.

Материалы и методы. Конструктивное решение рассматриваемого здания выполнено следующим образом:

1) Проектируемые фундаменты – отдельно стоящие высотой 500 мм.

2) Монолитный ростверк выполнить из бетона класса B20 F150W4 и армировать отдельными стержнями класса A500C и A240.

3) Стены ниже отм. 0,000, толщиной 300 мм колонны и диафрагмы жесткости - монолитные из бетона класса B20 F75 W4, армированные отдельными стержнями класса A500C и A240. Колонны 400x400 мм. Диафрагма жесткости толщиной 200 мм.

4) Перекрытия – монолитное из бетона класса B20 F75 W4, армировать отдельными стержнями класса A500C и A240. Толщиной 200 мм

5) Кладка наружных и внутренних стен выполнена из стеновых камней СКЦ-1Р 75 на растворе М50.

6) Перегородки толщиной 90 мм выполнены из стеновых камней СКЦ-2Р 75 на растворе М50. Общий вид модели SCAD представлен на рисунке 1.

Основная часть. В ПК SCAD office реализованы следующие виды моделей грунтового основания:

1. Модель Пастернака с двумя коэффициентами постели [1–2]. Данные значения коэффициентов C_1 и C_2 определяются с помощью модулей Пастернак, ЗАПРОС или внутри программы SCAD нажав на соответствующую кнопку «Расчет коэффициентов упругого основания» в окне «Назначение коэффициентов упругого основания пластин».

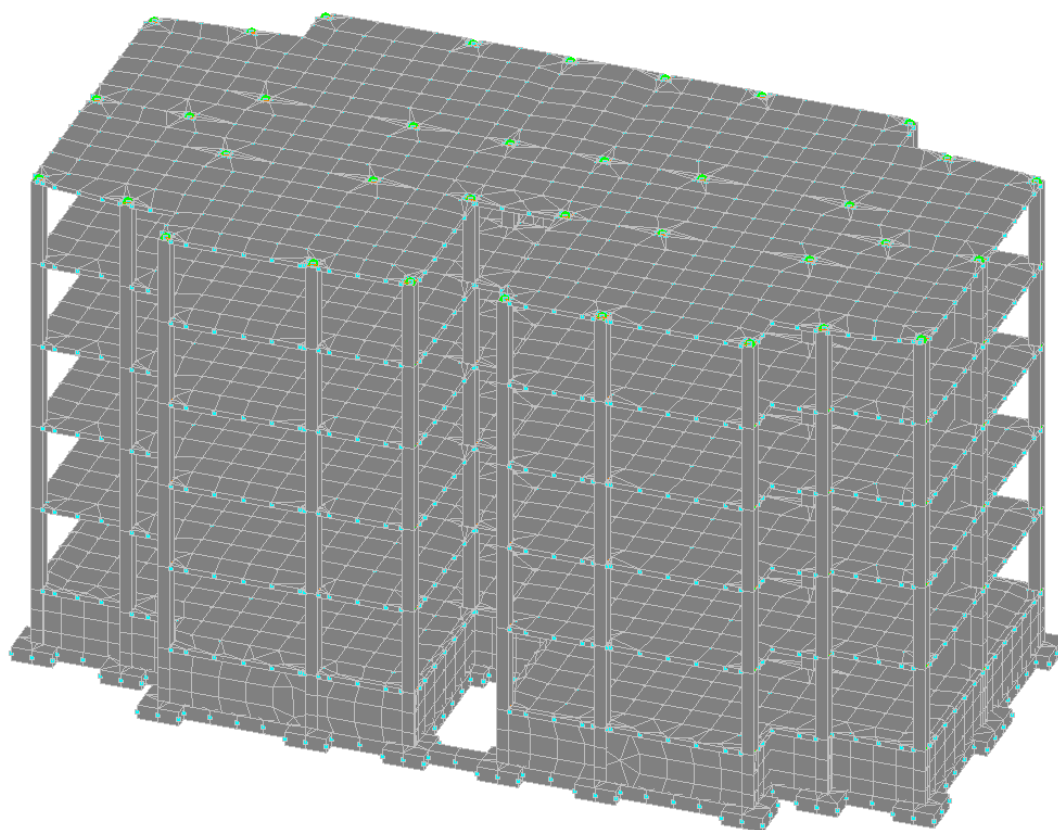


Рис. 1. Общий вид модели 5-ти этажного каркасно-монолитного здания в ЖК «Новая Жизнь»

В модели Пастернак вводятся 2 коэффициента постели – коэффициент сжатия C_1 и сдвига C_2 [3].

Коэффициент постели C_1 измеряется в кг/см³ или т/м³ – это отношение значения вертикального давления грунта σ и осадки w :

$$C_1 = \frac{\sigma}{w}, \quad (1)$$

А коэффициент постели C_2 дает возможность выразить интенсивность вертикальной силы сдвига t (или изгибающего момента) в виде произведения C_2 на производную осадки в соответствующем направлении:

$$t_1 = C_2 \cdot \frac{dw}{dx}, \quad (2)$$

Коэффициенты C_1 и C_2 по модели Пастернак определяются:

$$C_1 = \left(\int_0^H \frac{dz}{E(z)} \right)^{-1} \quad (3)$$

$$C_2 = \left(\int_0^H \frac{dz}{E(z)} \right)^{-2} \cdot \int_0^H \frac{1}{E(z)} \cdot \int_0^z G(z) \cdot \int_z^H \frac{dz}{E(z)}, \quad (4)$$

где $E(z)$, $G(z)$ – приведенные модули деформации и сдвига по глубине z .

Приведенные модуль упругости и модуль сдвига:

$$E = E_0 \frac{1-\nu}{(1+\nu) \cdot (1-2\nu)}; \quad (5)$$

$$G = \frac{E_0}{2(1+\nu)}; \quad (6)$$

где E_0 – модуль упругости; ν – коэффициент Пуассона; H – толщина грунтовой толщи;

$$H = \sum_{i=1}^n h_i$$

2. Модель переменных по площади коэффициентов постели КРОСС. Переменные по площади коэффициенты постели определяются через программу – сателлиту КРОСС. Методика, разработанная специалистами НИИОСП. КРОСС разработан авторским коллективом SCAD Group совместно с НИИОСП в составе: Криксунов Э.З., Перельмутер А.В., Перельмутер М.А., Семенов А.И., Федоровский В.Г. [4-5].

Данный метод расчета осадок основан на послойном суммировании:

$$w = \int_{zf}^{zd} \beta \frac{\Delta \sigma}{E} dz, \quad (7)$$

где z – вертикальная координата, возрастающая вниз; zf – координата подошвы; $zd = zf + H$ – ниж-

няя граница интегрирования (послойного суммирования); H – глубина сжимаемой толщи; β – коэффициент, учитывающий степень боковой стесненности вертикального сжатия грунта; $\Delta\sigma$ – приращение вертикального нормального напряжения от действия нагрузки на основание; E – модуль упругости [6].

3. В нормативном документе СП 22.13330.2016 «Основания зданий и сооружений» используется модель линейно-деформируемого полупространства.

Данная модель основана на законе Гука, которому соответствует линейная зависимость между напряжениями и деформациями и полное восстановление деформаций при снятии нагрузки.

$$\sigma = \varepsilon E, \quad (8)$$

где ε – осевая деформация, E – модуль упругости.

Рассмотрим представленные модели на примере расчета пятиэтажного каркасно-монолитного здания. Здание жилого дома имеет сложную форму в плане с общими размерами в осях 29,9 м × 14,9 м. Здание пятиэтажное, высота этажа 3,0 м, в здании запроектирован тех. этаж, высота этажа 1,8 м. Высота подвала 2,2 м.

В соответствии с данными Технического отчета об инженерно-геодезических и инженерно-геологических изысканиях, выполненного ООО «Белгородстройизыскания» на участке исследований в толще основания выделены следующие ИГЭ (табл. 1).

Определим значения осадок аналитическим способом с использованием расчетной схемы в виде линейно-деформируемого полупространства методом послойного суммирования, регламентированный СП 22.1330.2016 «Основание зданий и сооружений».

Таблица 1

Сводная таблица нормативных характеристик грунтов

№ п/п	Наименование	Модуль деформации, Т/м ²	Коэффициент Пуассона	Толщина слоя, м
1	Суглинок легкий различных оттенков коричневого цвета твердый	866,5	0,36	2,9
2	Суглинок легкий	866,5	0,36	2,2
3	Суглинок тяжелый	1121	0,36	3,8
4	Суглинок легкий	1835	0,36	1
5	Суглинок легкий	1835	0,36	6,3

Максимальную осадку определим для наиболее нагруженного отдельно стоящего фундамента.

$N=122$ т, $M_z=-2.2$ тхм, $Q=1,462$ т, $M_y=-2,06$ тхм

$$s = \beta \sum_{i=1}^n \frac{\sigma_{zp,i} h_i}{E_i}, \quad (9)$$

где β – безразмерный коэффициент, равный 0,8; $\sigma_{zp,i}$ – среднее значение вертикального нормального напряжения (далее – вертикальное напряжение) от внешней нагрузки в i -м слое грунта по

вертикали, проходящей через центр подошвы фундамента, кПа; h_i – толщина i -го слоя грунта, см, принимаемая не более 0,4 ширины фундамента; E_i – модуль деформации i -го слоя грунта по ветви первичного нагружения, кПа; n – число слоев, на которые разбита сжимаемая толща основания.

При этом распределение вертикальных напряжений по глубине основания принимают в соответствии со схемой, приведенной на рис. 2.

Максимальное давление под подошвой фундамента:

$$P = \frac{F}{A} + \frac{M_x}{W_x} + \gamma d + \frac{M_y}{W_y} = \frac{122}{3.22} + 2 \cdot 2.75 + \frac{0.897}{1.23} + \frac{1.01}{0.75} = 45.46 \text{ м / м}^2 \quad (10)$$

Вертикальное дополнительное давления p_0 :

$$p_0 = p - \sigma_{zg0} = 45,46 - 4,81 = 40,65 \text{ м / м}^2 \quad (11)$$

где σ_{zg0} – вертикальные напряжения от собственного веса грунта на уровне центра подошвы фундамента.

Максимальная осадка аналитическим способом – 48 мм.

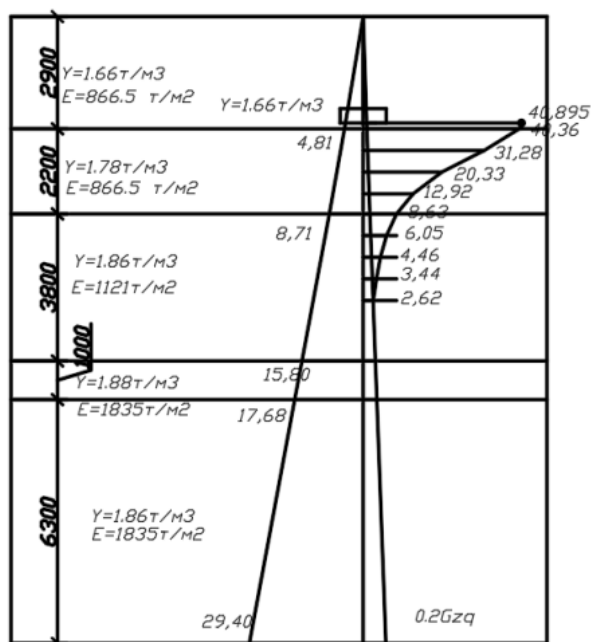


Рис. 2. Схема распределения вертикальных напряжений в линейно-деформируемом полупространстве

Таблица 2

Определение осадок методом послойного суммирования

№ точек	z, м	2*z/b	α	$\sigma_{zp} = \alpha * P_0$ т/м²	№ слоя	$\sigma_{zp,i}^{cp}$ т/м²	h_i , м	β_i	E_i , т/м²	$S_i = \frac{\sigma_{zp,i} \cdot h_i \cdot \beta_i}{E_i}$
0	0	0	1	40,895						
					1	40,63	0,15	0,8	866.5	0,0080
1	0,15	0,214	0,987	40,36						
					2	35,82	0,56	0,8	866.5	0,0143
2	0,71	1,014	0,765	31,28						
					3	25,81	0,56	0,8	866.5	0,010
3	1,27	1,81	0,497	20,33						
					4	16,63	0,56	0,8	866.5	0,0066
4	1,83	2,61	0,316	12,92						
					5	10,78	0,52	0,8	866.5	0,0040
5	2,35	3,35	0,211	8,63						
					6	7,34	0,56	0,8	1121	0,0018
6	2,91	4,15	0,148	6,05						
					7	5,26	0,56	0,8	1121	0,0013
7	3,47	4,96	0,109	4,46						
					8	3,95	0,56	0,8	1121	0,00098
7	4,03	5,76	0,084	3,44						
					9	6,06	0,56	0,8	1121	0,0015
8	4,59	6,56	0,064	2,62						
							Суммарная осадка			0,048м=48мм

Рассчитаем значения средних и максимальных по модели Пастернака с двумя коэффициентами постели. Коэффициенты постели C_1 и C_2

были определены в модуле Пастернак, значения которых представлены на рисунке 3.

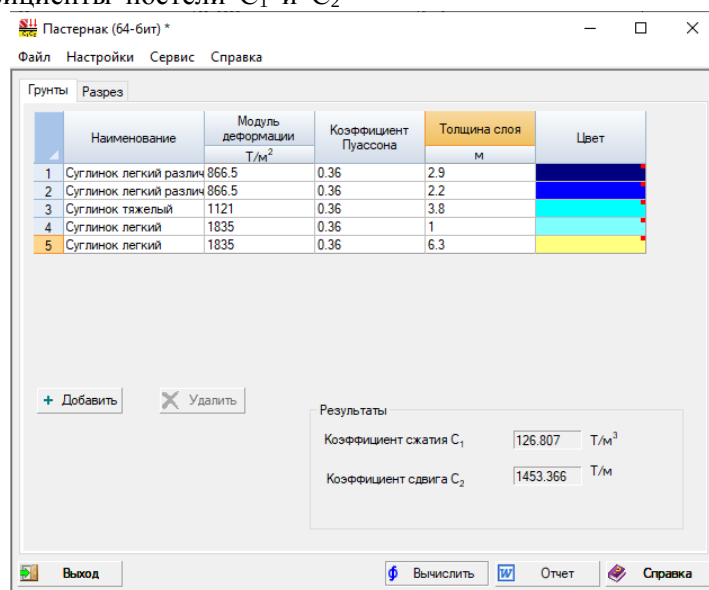


Рис. 3. Коэффициенты постели C_1 и C_2 по модели Пастернака

Ниже приведено графическое отображения результатов расчетов осадок отдельностоящих фундаментов совместно с ростверком по модели Пастернак (рис. 4).

Максимальная осадка – 58,44 мм.

Минимальная осадка – 49,79 мм.

Определим значения переменных коэффициентов постели в программе – сателлите КРОСС. Параметры грунтов вводимые в расчет указаны на рисунке 5.

Так как отсутствуют данные натурных испытаний в программе – сателлите разработчиками рекомендуется принимать значение коэффициента переуплотнения 1,0, а величину давления переуплотнения принимать равной:

- $5 \text{ т}/\text{м}^2$ – для глинистых грунтов;
- $2,5 \text{ т}/\text{м}^2$ – для супеси;
- $0 \text{ т}/\text{м}^2$ – для песков.

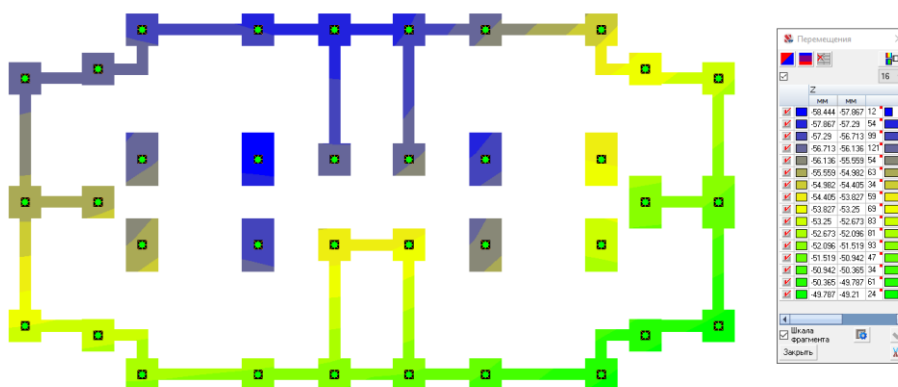


Рис. 4. Результаты расчета с применением модели Пастернака



Рис. 5. Параметры грунтов, вводимые в программу – сателлиту КРОСС

Нижнюю границу сжимаемой толщи определяют параметром σ_{zp}/σ_{zg} для этого перейти в Настройки

настройки раздел «Расчет» (рис. 6). По умолчанию σ_{zp}/σ_{zg} равно 0,2.

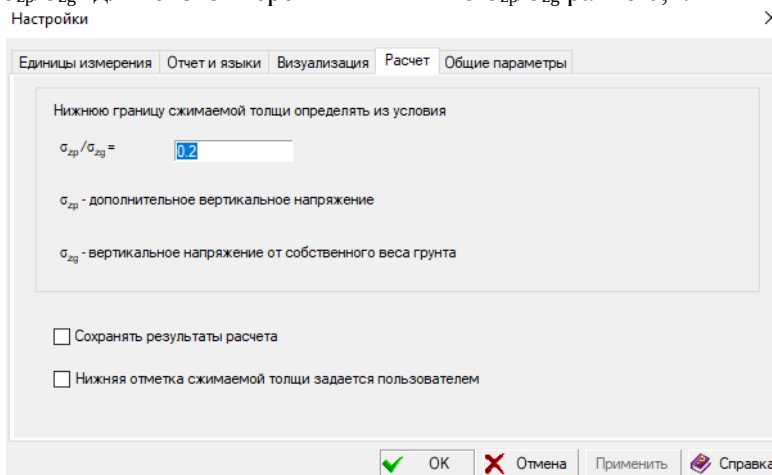


Рис. 6. Параметры, вводимые для расчета нижней границы сжимаемой толщи

Расчеты коэффициентов постели и осадок в программе – сатиллите КРОСС проводится в несколько итераций [7]. Количество итераций определяется пока значения коэффициентов C_1 не стабилизируются и погрешность вычисленных максимальных и минимальных значений составит

примерно 5 %. Дальнейшее использование КРОСС нецелесообразно. Количество итераций получилось 10. Значения коэффициентов постели после 10-ой итерации приведены на рисунке 7.

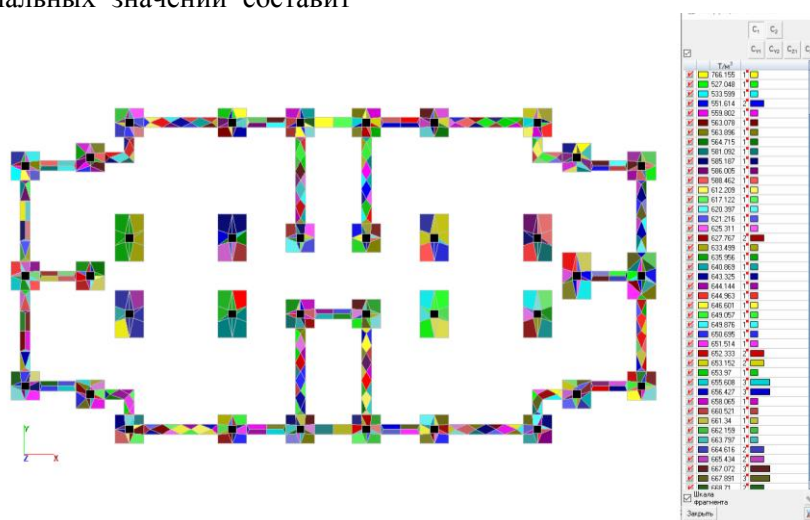


Рис. 7. Значения коэффициентов постели C_1 после 10-й итерации

Значения осадок по модели переменных по площади коэффициентов постели в программе –

сатиллите КРОСС приведены на рисунке 8 в виде изополей.

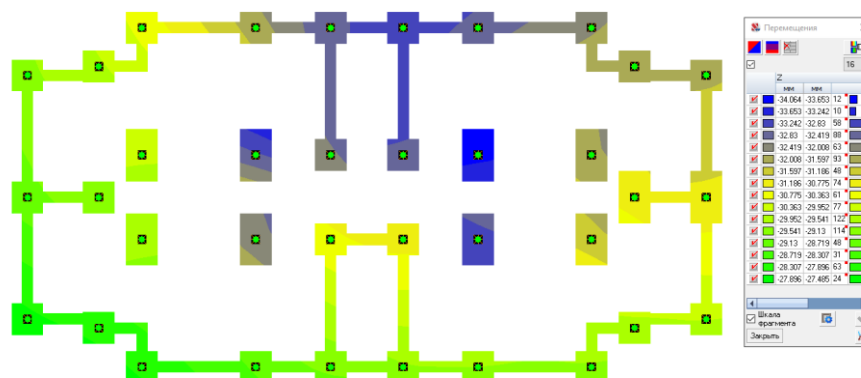


Рис. 8. Результаты осадок по модели переменных по площади коэффициентов постели в программе – сатиллите КРОСС

Максимальная осадка – 34,064 мм.

Минимальная осадка – 27,896 мм.

Выводы. Численные и аналитические расчеты выполненные по ПК SCAD office и по нормативной методике СП 22.13330.2016 «Основания зданий и сооружений» показали следующие результаты:

1. Численный расчет по модели Пастернак показал большие значения осадок относительно осадок, рассчитанных аналитическим способом по СП 22.13330.2016. Максимальная осадка по Пастернаку составила 58,44 мм и 48,0 мм аналитическим способом по СП 22.13330.2016. Данная модель обычно применяется при горизонтальном напластовании инженерно-геологических слоев, на практике такие случаи встречаются довольно-таки редко.

2. Численный расчет по модели с переменными коэффициентами постели по площади C_1 и C_2 (программа – сателлита КРОСС) показал меньшие значения осадок относительно осадок, рассчитанных аналитическим способом по СП 22.13330.2016. Максимальная осадка по КРОССу составила 34,064 мм и 48,0 мм аналитическим способом по СП 22.13330.2016. Данные результаты схожи с аналогичными исследованиями других авторов в данном вопросе. КРОСС позволяет моделировать различные виды напластования, но требуют большей трудоемкости по определению нижней отметки сжимаемой толщи грунтов. Также расчеты с применением модели в программе-сателлите КРОСС проводятся в несколько итераций, тем самым замедляя процесс выполнения расчета.

Создатели и разработчики ПК SCAD office не имеют каких-либо предпочтений по отношению к представленным моделям [7–9]. При расчете различных видов зданий совместно с фундаментом и основанием, остается нерешенным вопрос в правильности выбора модели грунтового основания и определение различных параметров грунта.

Выбор модели грунтового основания должен осуществляться на основании конкретных инженерно-геологических условий строительной площадки, от вида и численного значения нагрузок и других различных факторов. Это требует более подробного изучения данного вопроса путем моделирования различных грунтовых условий и моделей грунтовых оснований, представленных в программных комплексах, а также сравнение расчетных данных с натурными для адекватного моделирования взаимодействия системы «основание-фундамент-сооружение».

В дальнейшем планируется рассмотреть методику расчета грунтового основания с учетом поэтапного нагружения основания в ПК SCAD office в режиме Монтаж и выполнить сравнение с ранее рассмотренными моделями грунтового основания с натурным экспериментом. Недостатком данного расчетного способа является сложность учета изменения переменных коэффициентов постели во времени и с учетом изменяющейся нагрузки.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Горбунов-Посадов М.И., Маликова Т.А. Расчет конструкций на упругом основании. Изд. 2-е, перераб. и доп. М.: Стройиздат, 1973.
2. Егорова Е.С., Иоскевич А.В., Иоскевич В.В., Агишев К.Н., Кожевников В.Ю. Модели грунтов, реализованные в программных комплексах SCAD Office и Plaxis 3D // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2016. №3 (42). С. 31–60.
3. Пастернак П.Л. Основы нового метода расчёта фундаментов на упругом основании при помощи двух коэффициентов постели. М.: Стройиздат, 1954. 55 с.
4. Голубев А.И., Селецкий А.В. К вопросу о выборе модели грунта для геотехнических расчетов // Актуальные научно-технические проблемы современной геотехники. СПб.: Изд-во СПбГАСУ, 2009. Т. 2. С. 6–10.
5. Федоровский В.Г., Безволев С.Г. Прогноз осадок фундаментов мелкого заложения и выбор модели основания для расчета плит // Основания, фундаменты и механика грунтов. 2000. №4. С. 10–18.
6. Белокопытова И.А., Бурыгин С.Г. и др. SCAD для чайников. К.: Электронное издание, 2001. 356 с.
7. Мангушев Р.А., Сахаров И.И. [и др.] Сравнительный анализ численного моделирования системы «здание-фундамент-основание» в программных комплексах SCAD и PLAXIS // Вестник гражданских инженеров. 2010. № 3. С. 96–101.
8. Лукьянов А.И. Выбор оптимального метода и ПК для расчета комбинированного свайно-плитного фундамента / Международный студенческий строительный форум 2018 (к 165-летию со дня рождения В.Г. Шухова) // Белгород: Изд-во БГТУ им. В.Г. Шухова, 2018. С.118–123.
9. Строкова Л.А. Определение параметров для численного моделирования грунтов // Известия Томского Политехнического университета. 2008. Т. 313. №1. С. 69–74.

Информация об авторах

Лукьянов Андрей Игоревич, аспирант, ассистент кафедры строительства и городского хозяйства. E-mail: luckjanov.andrey@yandex.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Тюфанов Вадим Александрович, аспирант кафедры строительства и городского хозяйства. E-mail: onefierst@yandex.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Поступила 03.11.2020

© Лукьянов А.И., Тюфанов В.А., 2021

***Lukyanov A.I., Tufanov V.A.**

Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov

*E-mail: luckjanov.andrey@yandex.ru

SELECTION OF THE GROUND BASE MODEL IMPLEMENTED IN THE SCAD OFFICE

Abstract. The article defines and compares the obtained sediments based on the results of applying the current regulatory methodology of the set of rules 22.13330.2016 "Foundations of buildings and structures" and numerical calculations using various models of the soil base implemented in the SCAD office software package, using the example of a frame-monolithic building of the residential complex which is called "Novaya zhizn" in Belgorod. A brief overview of methods for joint calculation of the foundation and aboveground parts using various models of the ground base: Pasternak with two bed coefficients, variable area bed coefficients in the satellite CROSS program and the model of linear deformable half – space implemented in SP 22.13330.2016. Analytical calculation of the sediment value for set of rules 22.13330.2016 is performed "manually" by the method of layer-by-layer summation. The numerical calculation of the frame-monolithic building is performed as a single system "building-foundation – base". The values of sediments and bed coefficients C1 and C2 based on the results of numerical calculation are presented in the form of graphical isofields of displacements and bed coefficients. Based on the results of analytical and numerical calculations, the main conclusions are made and recommendations were presented on the applicability of each of the considered models of soil bases.

Keywords: soil model, sub-base, foundation, Pasternak model, linear-deformable half-space, software package, SCAD office.

REFERENCES

1. Gorbunov-Posadov M.I., Malikova T.A. Calculation of structures on an elastic base [Raschet konstrukcij na uprugom osnovanii]. Ed. 2rd, reprint. and additional. M.: Stroizdat. 1973 (rus)
2. Egorova E.S., Ioskevich A.V., Ioskevich V.V., Agishev K.N., Kozhevnikov V.Yu. Soil model implemented in the software packages SCAD Office and Plaxis 3D [Modeli gruntov, realizovannye v programmnyh kompleksah SCAD Office i Plaxis 3D]. Construction of Unique Buildings and Structures. 2016. 3 (42). Pp. 31–60. (rus)
3. Pasternak P.L. Fundamentals of a new method for calculating foundations on an elastic base using two bed coefficients. [Osnovy novogo metoda raschyota fundamentov na uprugom osnovanii pri pomoshchi dvuh koefficientov posteli]. M.: Stroyizdat, 1954. 55 p. (rus)
4. Golubev A.I., Seleckij A. V. Choice of soil model and its parameters in the calculation of geotechnical objects. [K voprosu o vybore modeli grunta dlya geotekhnicheskikh raschetov]. Current scientific and technical problems of modern geotechnics SPb.: Publ. SPbGASU. 2009. Vol. 2. Pp. 6–10. (rus)
5. Fedorovskiy V.G., Besoli S.G. Forecast the sediment of shallow foundations and the choice of model bases to calculate slabs [Prognoz osadok fundamentov melkogo zalozheniya i vybor modeli osnovaniya dlya rascheta plit]. Bases, foundations and soil mechanics. 2000. No. 4. Pp. 10–18. (rus)
6. Belokopytova I.A., Burygin S.G. et al. SCAD for dummies. [SCAD dlya chajnikov]. K.: Electronic edition, 2001. 356 p. (rus)
7. Mangushev R.A., Sakharov I.I. [et al.] Comparative analysis of numerical modeling of the building-Foundation-Foundation system in the SCAD and PLAXIS software systems. [Sravnitel'nyj analiz chislennogo modelirovaniya sistemy «zdanie-fundament-osnovanie» v programmnyh kompleksah SCAD i PLAXIS]. Bulletin of civil engineers. 2010. No. 3. Pp. 96–101. (rus)
8. Lukyanov A.I. A method of and PC for the calculation of the combined pile-slab Foundation. [Vybhor optimal'nogo metoda i PK dlya rascheta

kombinirovannogo svajno-plitnogo fundamenta]. International student building forum 2018 (to the 165th anniversary since the birth of Vladimir Shukhov). Belgorod: Publishing house BGTU named after V.G. Shukhov. 2018. Pp. 118–123. (rus)

9. Strokova L.A. Determination of parameters for numerical soil modeling. [Opredelenie parametrov dlya chislennogo modelirovaniya gruntov]. Proceedings of Tomsk Polytechnic University. 2008. Vol. 313. No. 1. Pp. 69–74. (rus)

Information about the authors

Lukyanov, Andrey I. Postgraduate student. E-mail: luckjanov.andrey@yandex.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Tufanov, Vadim A. Postgraduate student. E-mail: one-fierst@yandex.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Received 03.11.2020

Для цитирования:

Лукьянов А.И., Тюфанов В.А. Выбор модели грунтового основания, реализованных в ПК SCAD office // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2021. № 1. С. 29–37. DOI: 10.34031/2071-7318-2021-6-1-29-37

For citation:

Lukyanov A.I., Tufanov V.A. Selection of the ground base model implemented in the scad office. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2021. No. 1. Pp. 29–37. DOI: 10.34031/2071-7318-2021-6-1-29-37

DOI: 10.34031/2071-7318-2021-6-1-38-45

Куцев Л.А., *Саввин Н.Ю.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

*E-mail: n-savvin@mail.ru

ТЕПЛОВИЗИОННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ОРИГИНАЛЬНОЙ ПЛАСТИНЫ ТЕПЛООБМЕННИКА

Аннотация. Рассматривается современный способ исследования температурного поля нагретых тел. В качестве исследуемого объекта выступает гофрированная теплообменная пластина с оригинальной геометрией. Теплообменники являются одним из основных видов технологического оборудования в системах теплоснабжения. В статье приведено сравнение двух основных типов теплообменного оборудования: кожухотрубного и пластинчатого аппаратов. Дана характеристика тепловизионному прибору FLIR i50. Произведено сравнение стандартной теплообменной пластины и гофрированной пластины со сферическими углублениями, располагающимися по линейному закону на площадках между рифлениями. Применение оригинальных пластин позволяет увеличить эффективность теплообменного процесса за счет повышенной турбулизации теплоносителя. Установлена связь истинной температуры нагретого тела с яркостной температурой абсолютно черного тела. Проведены экспериментальные исследования, в результате которых, получено значение средней температуры нагретого тела. Эта величина необходима для дальнейшего расчета коэффициентов теплопередачи, которые, в свою очередь, являются определяющими при расчете основного параметра, характеризующего эффективность работы теплообменного оборудования – коэффициента теплопередачи. Установлено, что применение тепловизионного метода является оригинальным способом в исследовании теплообменных процессов, позволяющим показать реальное увеличение коэффициента теплопередачи пластинчатого теплообменного аппарата.

Ключевые слова: пластинчатый теплообменный аппарат, коэффициент теплопередачи, тепловизор, турбулизация, сферические углубления.

Введение. Территория Российской Федерации является самой большой в мире и составляет 17125191 км² [1]. Теплоэнергетический комплекс нашей страны производит 70 % всей тепловой энергии (боле 32 тыс. котельных) [2]. Традиционно наибольшее распространение получило централизованное теплоснабжение. Это связано с его очевидными преимуществами: низкий уровень эксплуатационных затрат, наличие возможности использования менее качественного топлива. Кроме того, особенно значимыми преимуществами выступают низкая степень загрязнения воздушного бассейна (полное или частичное отсутствие выбросов) и высокая степень поддержания санитарно-гигиенической обстановки в крупных городах [3].

Наряду с централизованным теплоснабжением, в последние десятилетия набирают обороты децентрализованные системы. Это связано с коттеджным строительством и ростом агломераций вокруг крупных городов. Так за последние 20 лет, спрос на оборудование для проектирования децентрализованных системы вырос на 65 % [4].

Материалы и методы. Основным оборудованием, применяемым в теплоснабжении, являются кожухотрубные и пластинчатые теплооб-

менные аппараты. Это обусловлено их явной экономической эффективностью, выражающейся в экономии энергии на подогрев теплоносителя (жидкость, газ) [5].

В настоящее время выросли продажи пластинчатых теплообменных аппаратов, которые пришли на смену кожухотрубным, имеющих большие габаритные размеры и, главное, низкий коэффициент теплопередачи [6]. Внешний вид кожухотрубного и пластинчатого теплообменных аппаратов представлен на рис. 1.

В настоящее время в Российской Федерации и развитых странах ЕС, США, Канада, Китай ведутся активные работы по повышению эффективности работы теплообменного оборудования [7–11].

В различных отраслях промышленности активно применяется тепловизионный метод дистанционного определения температуры, который позволяет обнаружить излучение в инфракрасном диапазоне электромагнитного спектра. На основе этого излучения создается объемное изображение, позволяющие определить перегретые или переохлажденные места. Основой работы тепловизионного прибора является определение температуры в одной точке температурного поля [12].

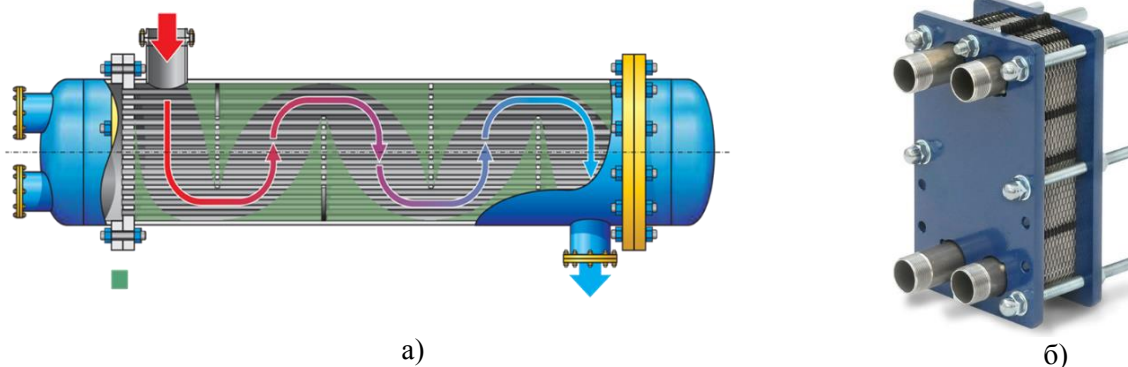


Рис. 1. Внешний вид теплообменного оборудования:
а – кожухотрубный теплообменник; б – пластинчатый теплообменник

Известно, что температурным полем называется совокупность значений температуры в данный момент времени во всех точках изучаемого пространства [13].

В общем случае уравнение температурного поля имеет вид:

$$t = F(x, y, z, \tau), \quad (1)$$

где t – температура среды, °С; x, y, z – координаты точки среды; τ – время, с.

Температурное поле, изменяющееся во времени, называется нестационарным и описывается зависимостью [14]:

$$t = F(x, y, z); \quad \partial t / \partial \tau = 0. \quad (2)$$

Одним из способов повышения эффективности работы пластинчатых теплообменных аппаратов является использование гофрированных пластин со сферическими углублениями.

Для исследования температурного поля нами был использован тепловизионный прибор (ТВП) Flir i50 [15]. Схема тепловизора представлена на рис. 2.

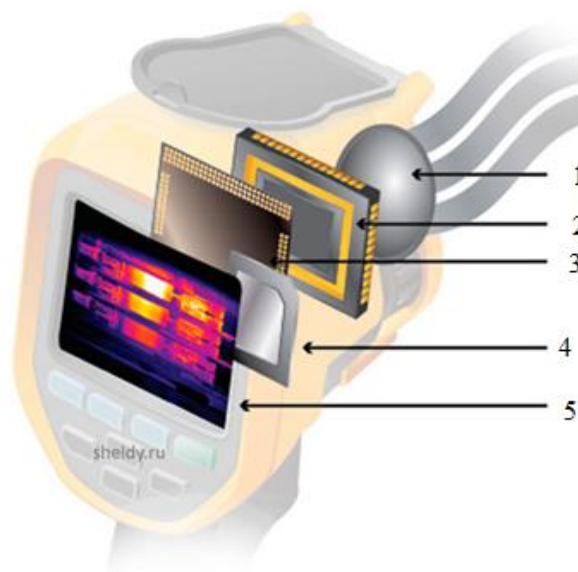


Рис. 2. Устройство тепловизора:
1 – линза; 2 – инфракрасный сенсор; 3 – процессор; 4 – память; 5 – экран

Принцип работы тепловизора основан на приеме инфракрасного излучения (7,5–13 мкм), исходящего от любого нагретого объекта, имеющего температуру от -20 до 350 °С. Излучение улавливается оптической системой прибора, которая состоит из системы линз 1 и сенсора с фотоэлементами 2, после чего фокусируется на приемнике, в качестве которого выступает процессор 3, конвертирующим визуальный аналоговый

сигнал в электрический. Как правило, он выражается в виде изменения напряжения или сопротивления в цепи приемника. Инфракрасный снимок сохраняется в долговременную память 4 и выводится на экран 5 с частотой кадров 9 Гц [16].

Теплоотдача пластин с гофрированной поверхностью к настоящему времени исследована недостаточно.

Основная часть. Для сравнения двух нагретых пластин, обтекаемых потоком жидкости, воспользуемся методом парного сравнения. Данный способ является одним из инструментов оценки и выбора решений, широко используется в экспертных оценках при необходимости расставлять приоритеты в процессе какой-либо деятельности или ранжирования различных объектов. Идея метода состоит в том, что попарно сравниваются каждые два объекта и определяется первенство одного из них [17].

Первым объектом исследования является гофрированная пластина со сферическими углублениями, располагающимися по линейному закону. В качестве второго объекта используется стандартная гофрированная пластина. Обе пластины имеют одинаковые геометрические размеры $300 \times 140 \times 3$ мм и V-образную форму гофр. Диаметр сферических углублений 0,6 мм. Температура пластин определялась рабочими условиями температуры теплоносителя.

Результаты экспериментов представлены на рис. 3.

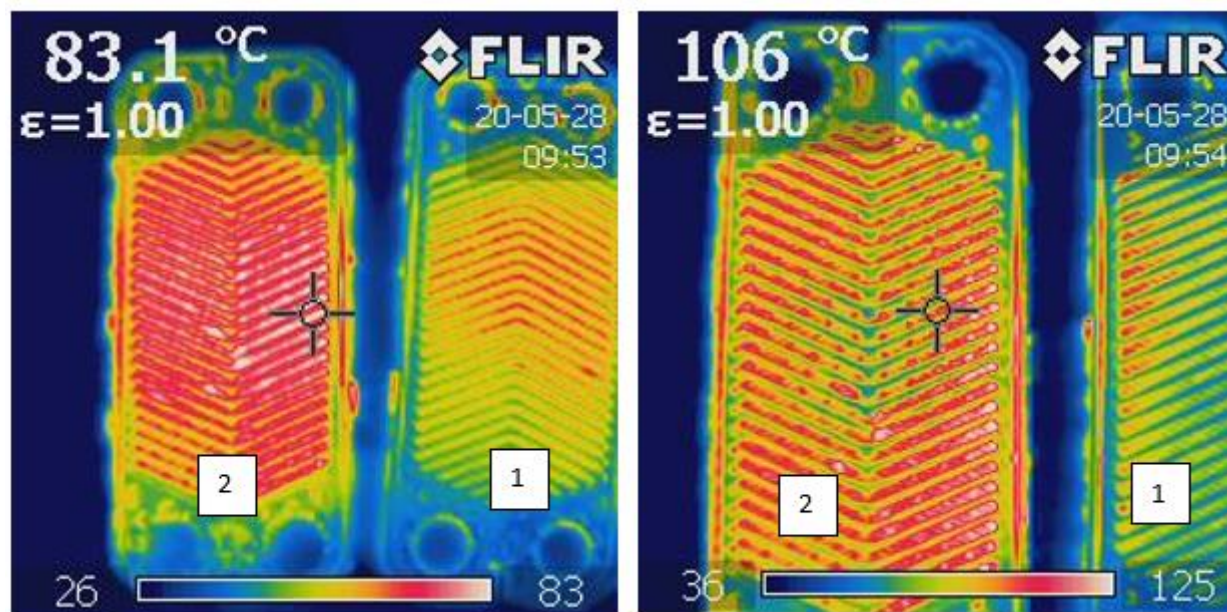


Рис. 3. Термограммы гофрированных пластин:

- 1 – гофрированная пластина со сферическими углублениями, располагающимися по линейному закону;
2 – стандартная гофрированная пластина

В результате исследования можно сделать вывод, что модифицированная гофрированная пластина со сферическими углублениями, располагающимися по линейному закону, обладает

большим спектром инфракрасного излучения (высокой температурой). Особенно наглядно это видно на рисунке 4, где отчетливо видно влияние углублений на распределение температуры.

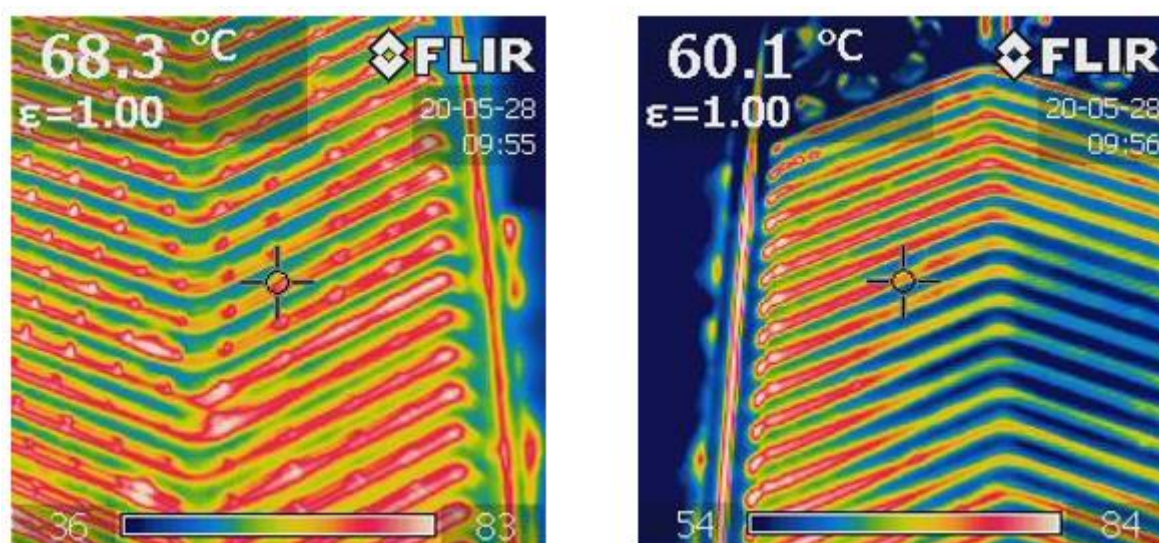


Рис. 4. Увеличенное изображение поверхности пластин

Из термограмм видно, что основной нагрев происходит в площадках, располагающихся между гофрами. Это еще раз подтверждает верность выбранного способа интенсификации теплообмена в пластинчатом теплообменном аппарате. Более высокое значение температуры обусловлено наличием сферических углублений, располагающихся по линейному закону на расстоянии $6-12r$, где r – радиус сферического углубления, м. Согласно фундаментальным исследованиям Жукаускаса [18], именно такое расстояние способствует формированию непрерывного турбулентного следа. В основу выбора данного метода интенсификации легли исследования сотрудников БГТУ им. В.Г. Шухова [19–21].

При использовании тепловизионного метода определяется локальная температура в точке для получения средней температуры нагретого тела, которая используется при расчете коэффициента теплоотдачи α , Вт/(м²·°C).

В качестве начальных условий использовались:

- температура потока жидкости омываемой пластины была постоянной и равной 80 °C;
- продолжительность эксперимента 30 мин.

Расчет осуществлялся по известной методике, рассмотренной в [22]. Согласно [23] связь

истинной температуры нагретого тела с яркостной температурой абсолютно черного тела выражается следующим образом:

$$T = \frac{T_{\text{я}}}{1 + \frac{T_{\text{я}}}{T_*} \cdot \ln(K_{\text{я}})}, \quad (3)$$

где $T_{\text{я}}$ – яркостная температура абсолютно черного тела, °C; T_* – характеристическая температура, зависящая от длины волны светофильтра, °C; $K_{\text{я}}$ – коэффициент яркости.

Температура сферических углублений определялась по формуле:

$$T_{\text{сф}} = \frac{T_{\text{я}}}{1 + \frac{T_{\text{я}}}{T_*} \cdot \ln\left(\frac{K_{\text{я}}}{D}\right)}, \quad (4)$$

где D – отношение квадрата расстояния до тепловизора к квадрату радиуса углубления.

Таким образом, была определена средняя температура гофрированной поверхности с углублениями и без углублений. Результаты исследования представлены на рис. 5.

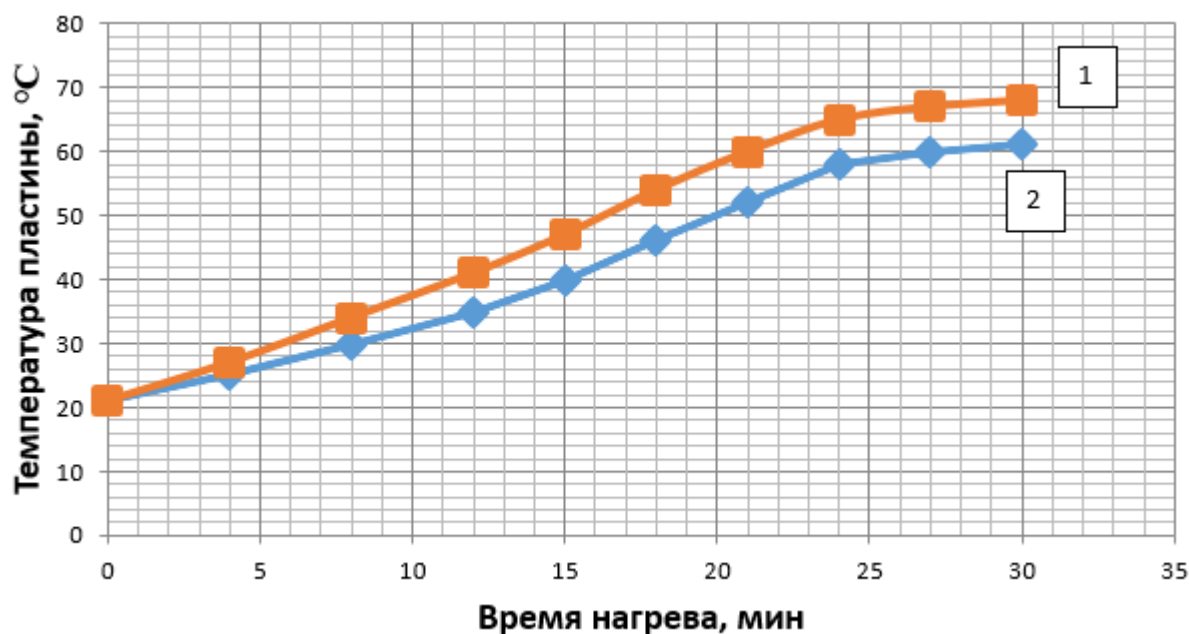


Рис. 5. График зависимости времени нагрева от температуры пластин:

- 1 – гофрированная пластина со сферическими углублениями, располагающимися по линейному закону;
2 – гофрированная пластина

Из графика видно, что гофрированная пластина со сферическими углублениями, располагающимися по линейному закону, нагревается быстрее, что способствует повышению эффективности теплообменного оборудования и, в конечном итоге, способствует увеличению коэффициента теплопередачи K , Вт/(м²·°C).

Расчетная формула для определения коэффициента теплопередачи K , Вт/(м²·°C) на основании «Правил технической эксплуатации тепловых энергоустановок», СП 41-101-95 «Проектирование тепловых пунктов» имеет вид:

$$K = \frac{\beta}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{1}{\alpha_2} + \frac{\delta_{ст}}{\lambda_{ст}}}, \quad (5)$$

где β – коэффициент, учитывающий уменьшение коэффициента теплопередачи из-за термического сопротивления накипи и загрязнений на пластине, в зависимости от качества воды принимается равным 0,7 – 0,85; α_1 – коэффициент теплоотдачи, Вт/(м²·°C); α_2 – коэффициент теплоприятия, Вт/(м²·°C); $\delta_{ст}$ – толщина стенки пластины, м; $\lambda_{ст}$ – коэффициент теплопроводности стали, Вт/(м²·°C).

Необходимо отметить, что в ламинарном подслое перенос теплоты от жидкости к пластине (и наоборот) характеризуется теплопроводностью. Соответственно, чем толще ламинарный подслой, тем меньше теплоты передается через него основному потоку. Отсюда можно сделать вывод, что уменьшение толщины ламинарного подслоя жидкости у стенки способствует повышению коэффициента теплоотдачи, который определяется по формуле:

$$\alpha = \frac{\lambda \cdot Nu}{l}, \quad (6)$$

где λ – коэффициент теплопроводности тела, Вт/(м²·°C); Nu – число Нуссельта; l – определяющий геометрический параметр поверхности (для пластины – длина, м).

Число Нуссельта Nu является единственным критерием подобия, при нахождении которого используется значение средней температуры, определенное практическим способом с помощью тепловизора FLIR i50.

Таким образом, применение тепловизионного метода является оригинальным способом в исследовании теплообменных процессов, позволяющим показать реальное увеличение коэффициента теплопередачи пластинчатого теплообменного аппарата.

Выводы.

1. Рассмотренный метод интенсификации теплообменных процессов – нанесение сферических углублений по линейному закону, приводит к увеличению турбулизации теплоносителя.

2. Экспериментально установлено, что сферические углубления, диаметром 0,6 мм, приводят к возникновению вихревой зоны, способствующей более эффективному перемешиванию теплоносителя.

3. Проведенное сравнение двух пластин для теплообменного аппарата подтверждает преимущество использования гофрированных пластин со сферическими углублениями.

4. Высокое значение коэффициента теплопередачи приведет к снижению стоимости теплообменного оборудования, уменьшению габаритных размеров (металлоемкости).

Источник финансирования. Программа развития опорного университета на базе БГТУ им В.Г. Шухова.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Сабитова Н.М. Бюджет и бюджетная политика субъекта Российской Федерации. М.: ИНФРА-М, 2017. 363 с.
2. Грабовой П.Г. Планирование и контроллинг в коммунальной сфере. Екатеринбург: РГПУ, 2010. 546 с.
3. Ливчак И.Ф., Кувшинов Ю.Я. Развитие теплоснабжения, климатизации и вентиляции в России за 100 последних лет. М.: Ассоциации строительных вузов, 2013. 778с.
4. Яковлев Б.В. Повышение эффективности систем теплофикации и теплоснабжения. М.: Новosti теплоснабжения, 2013. 448 с.
5. Саввин Н.Ю., Никулин Н.Ю., Дралов А.В. Современное теплообменное оборудование для различных сфер промышленности и теплоэнергетики // Инженерные системы и городское хозяйство. сборник материалов научных трудов. Сер. "Инженерные системы и городское хозяйство". Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет. 2020. С. 291–299.
6. Саввин Н.Ю., Куцев Л.А. Энергосберегающее теплообменное оборудование для различных сфер промышленности и теплоэнергетики // Материалы III Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых с международным участием, посвященной 100-летию ФГБОУ ВО «ГГНТУ им. акад. М.Д. Миллионщикова». Грозненский государственный нефтяной технический университет имени академика М.Д. Миллионщикова. 2020. С. 200–203.
7. Wagh P., Pople M.U. Optimization of a Shell and Tube Condenser using Numerical Method // International Journal of Engineering Research and Applications. 2015. Vol. 7. Pp. 9–15.
8. Moretti R, Errera M., Couaillier V, Feyel F. Effect of the perforation design on the fluid flow and heat transfer characteristics of a plate fin heat exchanger // International Journal of Thermal Sciences. 2018. No. 126. Pp. 172–180.
9. Zarea H., Rezaeian M., Soltani M., Kashkooli F. A novel single and multi-objective optimization approach based on Bees Algorithm Hybrid with Particle Swarm Optimization (BAHPSO): Application to thermal-economic design of plate fin

heat exchangers // International Journal of Thermal Sciences. 2018. No. 129. Pp. 552–564.

10. Gulenoglu C., Akturk F., Aradag S., Sezer Uzol N., Kakac S. Experimental comparison of performances of three different plates for gasketed plate heat exchangers // International Journal of Thermal Sciences. 2014. No. 75. Pp. 249–256.

11. Segundo E., Viviana A., Cocco G., Coelho L. Thermodynamic optimization design for plate-fin heat exchangers by Tsallis JADE // International Journal of Thermal Sciences. 2016. No. 113. Pp. 136–144.

12. Вавилов В.П., Александров А.Н. Инфракрасная термографическая диагностика в строительстве и энергетике. М.: НТФ "Энергопрогресс", 2003. 76 с.

13. Тихонов А.Н., Самарский А.А. Уравнения математической физики. М.: Наука, 1972. 736 с.

14. Соловьёв С.В. Тепловизионный контроль электроустановок в Белгородских электрических сетях // Современные методы технической диагностики и неразрушающего контроля деталей и узлов. 2020. № 3. С. 19–24.

15. Дроздов В.А., Сухарев В.И. Термография в строительстве. М.: Стройиздат, 1987. 240 с.

16. Карташов Э.М. Аналитические методы в теории теплопроводности твердых тел. М.: Высшая школа, 2001. 550 с.

17. Исаев Р.А. Модифицированный метод парных сравнений для экспертной оценки параметров нечеткой когнитивной модели // Современные информационные технологии и ИТ-образование. 2016. № 2. С. 35–42.

18. Жукаускас А.А. Конвективный перенос в теплообменниках. М.: Наука, 1982. 472 с.

19. Пат. 199344, Российская Федерация, МПК F28F 3/00. Пластина теплообменника / Л.А. Кушев, Н.Ю. Саввин, А.Ю. Феоктистов; заявл. 03.04.2020; опубл. 28.08.2020, Бюл. № 25. 5 с.

20. Nikulin N.Yu., Kushchev L.A., Feoktistov A.Yu. Determination of thermal parameters of a shell and tube heat exchanger with increased turbulization of the working fluid // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. Institute of Physics Publishing. 2020. Vol. 812. 012004.

21. Savvin N.Yu., Kushchev L.A., Alifanova A.I. Modern methods of intensification of heat exchange processes in plate apparatuses // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020. Vol. 862. 012001.

22. Дульнев Г.Н. Тепло- и массообмен в радиоэлектронной аппаратуре. М.: Высшая школа, 1984. 247 с.

23. Яворский Б.М., Детлаф А.А. Курс физики. М.: Высшая школа, 1972. 316 с.

Информация об авторах

Кушев Леонид Анатольевич, доктор технических наук, профессор кафедры теплогазоснабжения и вентиляции. E-mail: leonidkushev@gmail.com. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Саввин Никита Юрьевич, аспирант кафедры теплогазоснабжения и вентиляции. E-mail: n-savvin@mail.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Поступила 15.11.2020

© Кушев Л.А., Саввин Н.Ю., 2021

Kushcev L.A., *Savvin N.Yu.

Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov

**E-mail: n-savvin@mail.ru*

THERMAL IMAGING STUDIES OF THE ORIGINAL HEAT EXCHANGER PLATE

Abstract. A modern method for studying the temperature field of heated bodies is considered. The object under study is a corrugated heat exchange plate with an original geometry. Heat exchangers are one of the main types of process equipment in heat supply systems. The article presents a comparison of two main types of heat exchange equipment: shell-and-tube and plate devices. The FLIR i50 thermal imaging device is characterized. A comparison is made between a standard heat exchange plate and a corrugated plate with spherical recesses located linearly on the areas between the corrugations. The use of original plates can increase the efficiency of the heat exchange process due to increased turbulization of the coolant. The relationship between the true temperature of a heated body and the brightness temperature of a black body is established. Experimental studies are carried out, in result the value of the average temperature of the heated body is obtained. This value is necessary for further calculation of heat transfer coefficients, which, in turn, are decisive in calculating the main parameter that characterizes the efficiency of heat exchange equipment-the heat

transfer coefficient. The use of thermal imaging is the original way to study heat transfer processes, allowing to show the real increase of heat transfer coefficient of a plate heat exchanger.

Keywords: plate heat exchanger, heat transfer coefficient, thermal imager, turbulization, spherical recesses.

REFERENCES

1. Sabitova N.M. Budget and budget policy of the subject of the Russian Federation. [Byudzhnet i byudzhnaya politika sub"ekta Rossijskoj Federacii]. Moscow: INFRA-M, 2017. 363 p. (rus)
2. Grabovoi P.G. Planning and controlling in the municipal sphere. [Planirovanie i kontrolling v kommunal'noj sfere]. Yekaterinburg: RGPPU, 2010. 546 p. (rus)
3. Livchak I.F., Kuvshinov Yu.Ya. Development of heat supply, climate control and ventilation in Russia over the last 100 years. [Razvitie teplosnabzheniya, klimatizacii i ventilyacii v Rossii za 100 poslednih let]. Moscow: Associations of construction universities, 2013. 778c. (rus)
4. Yakovlev B.V. Improving the efficiency of heating and heat supply systems. [Povyshenie effektivnosti sistem teplofikacii i teplosnabzheniya]. Moscow: Heat supply news, 2013. 448 p.
5. Savvin N.Yu., Nikulin N.Yu., Dralov A.V. Modern heat exchange equipment for various industries and heat power engineering. [Sovremennoe teploobmennoe oborudovanie dlya razlichnyh sfer promyshlennosti i teploenergetiki]. Engineering systems and urban economy. collection of materials of scientific works. Ser. "Engineering systems and urban economy". Saint Petersburg state University of architecture and civil engineering. 2020. Pp. 291–299. (rus)
6. Savvin N.Yu., Kushchev L.A. Energy-Saving heat exchange equipment for various industries and heat power engineering. [Energosberegayushchee teploobmennoe oborudovanie dlya razlichnyh sfer promyshlennosti i teploenergetiki]. Materials of the III all-Russian scientific and practical conference of students, postgraduates and young scientists with international participation, dedicated to the 100th anniversary OF the Moscow state technical University named after M. D. Millionshchikov. Grozny state oil technical University named after academician M. D. Millionshchikov. 2020. Pp. 200–203. (rus)
7. Wagh P., Pople M.U. Optimization of a Shell and Tube Condenser using Numerical Method. International Journal of Engineering Research and Applications. 2015. Vol. 7. Pp. 9–15.
8. Moretti R, Errera M., Couaillier V, Feyel F. Effect of the perforation design on the fluid flow and heat transfer characteristics of a plate fin heat exchanger. International Journal of Thermal Sciences. 2018. No. 126. Pp. 172–180.
9. Zarea H., Rezaeian M., Soltani M., Kashkooli F. A novel single and multi-objective optimization approach based on Bees Algorithm Hybrid with Particle Swarm Optimization (BAHPSO): Application to thermal-economic design of plate fin heat exchangers. International Journal of Thermal Sciences. 2018. No. 129. Pp. 552–564.
10. Gulenoglu C., Akturk F., Aradag S., Sezer Uzol N., Kakac S. Experimental comparison of performances of three different plates for gasketed plate heat exchangers. International Journal of Thermal Sciences. 2014. No. 75. Pp. 249–256.
11. Segundo E., Viviana A., Cocco G., Coelho L. Thermodynamic optimization design for plate-fin heat exchangers by Tsallis JADE. International Journal of Thermal Sciences. 2016. No. 113. Pp. 136–144.
12. Vavilov V.P., Aleksandrov A.N. Infrared thermographic diagnostics in construction and power engineering. [Infrakrasnaya termograficheskaya diagnostika v stroitel'stve i energetike]. Moscow: NTF "Energoprogress", 2003. 76 p. (rus)
13. Tikhonov A.N., Samarsky A. A. Equations of mathematical physics. [Urvneniya matematicheskoy fiziki]. Moscow: Nauka, 1972. 736 p. (rus)
14. Solovyov S.V. thermal Imaging control of electrical installations in Belgorod electric networks. [Teplovizionnyj kontrol' elektroustanovok v Belgorodskih elektricheskikh setyah]. Modern methods of technical diagnostics and non-destructive testing of parts and components. 2020. No. 3. Pp. 19–24.
15. Drozdov V.A., Sukharev V.I. Thermography in construction. [Termografiya v stroitel'stve]. Moscow: Stroyizdat, 1987. 240 p. (rus)
16. Kartashov E. M. Analytical methods in the theory of heat conduction of solids. [Analiticheskie metody v teorii teploprovodnosti tverdyh tel]. Moscow: Higher school, 2001. 550 p. (rus)
17. Isaev R.A. Modified method of pair comparisons for expert evaluation of parameters of a fuzzy cognitive model. [Modificirovannyj metod parnyh sravnenij dlya ekspertnoj ocenki parametrov nechetkoj kognitivnoj modeli]. Modern information technologies and it education. 2016. No. 2. Pp. 35–42. (rus)
18. Zhukauskas A.A. Convective transfer in heat exchangers. [Konvektivnyj perenos v teploobmennikah]. Moscow: Nauka, 1982. 472 p. (rus)
19. Kushchev L.A., Savvin N.Yu., Feoktistov A. Yu. Heat exchanger plate. Patent RF, no. 199344, 2020.
20. Nikulin N.Yu., Kushchev L.A., Feoktistov A.Yu. Determination of thermal parameters of a shell and tube heat exchanger with increased turbulization of the working fluid. IOP Conference Series:

Materials Science and Engineering. Institute of Physics Publishing. 2020. Vol 812. Pp. 012004.

21. Savvin N.Yu., Kushchev L.A., Alifanova A.I. Modern methods of intensification of heat exchange processes in plate apparatuses. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020. Vol. 862. Pp. 012001.

22. Dulnev G.N. Heat and mass transfer in radio-electronic equipment. [Тепло- и массообмен в радиоэлектронной аппаратуре]. Moscow: Higher school, 1984. 247 p. (rus)

23. Yavorsky B.M., Detlaf A.A. Course of physics. [Kurs fiziki]. Moscow: Higher school, 1972. 316 p. (rus)

Information about the authors

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

Savvin, Nikita Yu. Postgraduate student. E-mail: n-savvin@mail.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Received 15.11.2020

Для цитирования:

Кущев Л.А., Саввин Н.Ю. Тепловизионные исследования оригинальной пластины теплообменника // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2021. № 1. С. 38–45. DOI: 10.34031/2071-7318-2021-6-1-38-45

For citation:

Kushcev L.A., Savvin N.Yu. Thermal imaging studies of the original heat exchanger plate. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2021. No. 1. Pp. 38–45. DOI: 10.34031/2071-7318-2021-6-1-38-45

DOI: 10.34031/2071-7318-2021-6-1-46-57

Андреева Д.В., Ивлева О.Т.Академия архитектуры и искусств, Южный Федеральный Университет***E-mail: darandreeva@sfsedu.ru*

ЭВОЛЮЦИЯ АРХИТЕКТУРЫ СТОЛИЧНЫХ КЛУБОВ АНГЛИИ И РОССИИ НА РУБЕЖЕ XVII-XIX ВВ.

Аннотация. В статье, рассмотрена проблема организации среды культурной деятельности человека в XVIII веке и поиск её решения архитекторами. Целью является выявление особенностей (функциональных, конструктивных и иных) ранее существовавших архитектурных объектов (клубов) XVIII–XIX веков. Проведен сравнительный анализ ряда исследуемых зданий (клубов) на примере двух крупных стран мира Англии и России. Описаны здания, помещения, приспособленные под клубы, которые изначально возникли в Лондоне, а позже в Санкт-Петербурге. Рассмотрен один из первых клубных объектов в Санкт-Петербурге «Английский клуб», который был сформирован «Английским Собранием» с учётом исторических корней клубов Лондона. На основании натурных исследований и изучения сохранившихся исторических графических материалов выявлены характерные этапы развития и особенности возникновения нового для того времени типа общественных зданий – клубов. С помощью сравнительного и типологического метода описаны планировочные и функциональные особенности развития клубной архитектуры в «приспособленных клубах», которые повлияли на формирование собственного типа здания. Определены критерии к выбору здания, приспособленного под клуб. К ним отнесены: наличие вместительного зала, внутреннего двора, приемлемая стоимость аренды, наличие большой столовой, значимость территориального расположения. С помощью анализа сформированы принципы проектирования клуба как собственного типа здания.

Ключевые слова: Архитектура английских клубов, политические клубы, кофейни, таверны, клубные сообщества, Английский клуб Петербурга, Дворянское собрание.

Введение. В истории развития цивилизаций и государств каждое общество, думающее о формировании личности человека, старается предоставить ему возможности в реализации его запросов, интересов, творческого потенциала и культурных устремлений, что делает актуальной проблему организации среды досуговой и иной культурной деятельности человека. Решение этой проблемы связано с поиском архитекторами и мастерами такой архитектурной формы, которая соответствовала бы существующим запросам общества и заказчика в определённый исторический период. В связи с чем поиск этой архитектурной формы и особенностей её трансформации был и остаётся главной задачей архитекторов, так как именно она (форма) организует пространственную среду человека, способную влиять на его саморазвитие и жизнедеятельность.

Значимый вклад в создание архитектурного образа формируемой среды, в частности, внесли архитекторы Чарлз Бэрри, Сидни Смирк, П.П. Жако, К.И. Росси и др. Благодаря им одним из типологических направлений реализации описанных запросов общества явилось появление клубных зданий. Исследование их эволюции, от приспособления существующих зданий, до появления специального типологического ряда и анализ дальнейшей трансформации архитектурной формы будут способствовать выявлению степени их влияния на дальнейшее развитие этого типа

зданий в России и, в конечном счёте, перспективу их развития с учётом современных запросов российского общества.

Поднятая проблема, обусловившая цель настоящего исследования – выявление особенностей эволюции архитектуры клубных объектов в России – потребовала рассмотреть истоки возникновения этого типа зданий, выявить особенности клубной архитектуры XVIII-XIX веков и провести сравнительный анализ исследуемых объектов в Лондоне и Санкт-Петербурге.

Материалы и методы. Многоаспектный анализ архитектуры Английских клубов и Санкт-Петербургских клубов выполнен на основании проведения исследований отдельных объектов, изучения архивных источников, изобразительных и картографических материалов, а также сравнительного и типологического анализа.

Основная часть. В России клубы, как архитектурная форма, где могла реализовать свои запросы часть российского общества (элита), приближённая к царю, появились в середине XVIII века. Зафиксированы они были под названием «Английское собрание» в честь первых учредителей – англичан, так как именно они завезли клубные традиции в столицу Российского государства Санкт-Петербург. Наличие таких исторических корней в исследуемых объектах потребовало изначально кратко рассмотреть характерные черты Лондонских клубов этого периода.

Первые клубы как альтернатива месту проведения досуга для представителей элит появились в Лондоне в XVII веке. Это были общественные организации занимающие небольшие помещения в тавернах, кофейнях, где за скромный взнос каждый мог получить вход в уютное место, которое использовалось для встреч и развлечений (рис. 1). Кофейни и таверны имели различия и ограничения в поведении посетителей, обусловленное тем, что кофейни представляли собой пространство для радикальной политики, свободы слова, тогда как таверны были контролируемые помещениями с атмосферой уважения.



Рис. 1. Кофейня Old Slaughter's. [2]

Расширение функций клубов вызвало следующий шаг в их развитии – создание собственного типа здания. Произошло это в связи с отделением клуба от кофейни или таверны, то есть от «приспособленного пространства». Как следствие, во второй половине XVIII века, когда клубы достигли высокой популярности, были построены первые самостоятельные здания «Клубы», возведённые из камня. При этом социальное поведение участников клуба отразилось на новой типологии, которая представляла собой нечто среднее между безопасным, уединённым пространством дома и мужским братством. К примеру, форма поздневикторианского клуба была сделана так, чтобы избранная группа джентльменов за пределами своих усадеб чувствовала себя как дома. Поэтому «White's Club», считающийся первым клубом, возникшим в 1697 г., напоминал собой таунхаус. Среди его особенностей нами выделено наличие на первом этаже довольно низких потолков, что создавало ощущение квартиры или небольшого отеля. При входе в него располага-

При этом сами дома имели узкую прямоугольную конфигурацию в плане, большинство из которых отличалось лишь застеклённым первым этажом (рис. 2). Со временем эти дома – клубы получили более широкое распространение в городах, в связи с чем усложнилась их функциональная организация. Эти изменения выражались в расширении клубной деятельности, которая требовала больших площадей. В результате доходило до того, что под клубную деятельность отводилось пространство всего здания [1].



Рис. 2. Кофейня Garraway's, 19 век [1]

лись три комнаты одинакового размера, по середине – холл, ведущий в меньшую прихожую (холл), из прихожей можно было попасть в комнаты с лестничными отсеками. В доме находилось четыре лестницы, две из них были запасными, одна подвальная и одна главная. Наличие главной лестницы считалось одним из особенностей этого дома (рис. 3) [2]. Самым красивым залом клуба считался обеденный, он располагался на втором этаже и был украшен большими портретами королей, висевших на стенах. Каждая торцевая стена имела камин, окруженный арочными нишами. «П» образная форма здания сформировала задний двор. В нём в летнее время участники клуба устраивали чаепития.

В 1811 г. была сделана реконструкция клуба (рис. 4), в ходе которой увеличилась левая утренняя комната за счёт холла, а сам холл перемещён в правую утреннюю комнату. Дверь была заменена на центральное эркерное окно, «разбитое» на три части ионическим ордером.

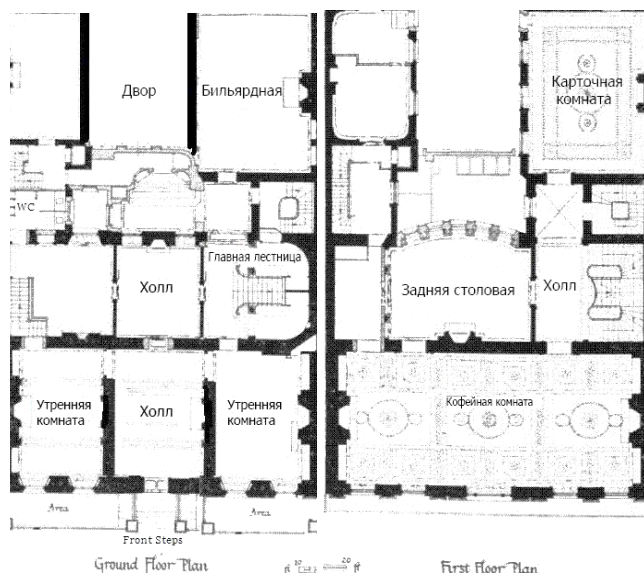


Рис. 3. White's, Лондон, 1800 г. План [2]

Показательным примером развития рассматриваемой формы является клуб Boodles построенный в 1762 г. (рис. 6). Первый этаж имел кирпичную оштукатуренную поверхность с тремя

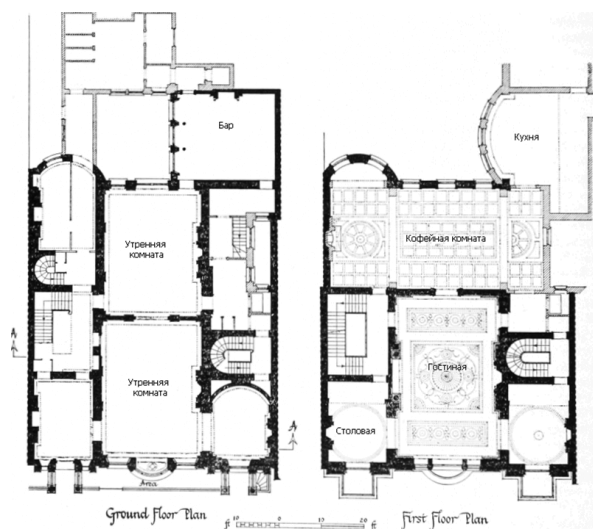


Рис. 5. Boodle's, улица Сент-Джеймс, планы [5]

Согласно плану (рис. 5), нами выделены характерные черты здания – это два дверных проёма, которые ведут в холл с главной лестницей, сделанной из камня. Рядом с главной лестницей расположена каменная служебная лестница. Первоначальной столовой этого дома уже не существует. Вместо нее построена более просторная комната. «Превосходная гостиная или салон» на втором этаже представляет собой полутораэтажное продолговатое в плане помещение, с широким дымоходом, слегка выступающим из стены. Наличие этих черт здания обосновывает вывод о том, что функциональное назначение клубов (они стали местом общения и одним из видов пе-



Рис. 4. White's, Лондон, 1852 г. Фасад [3]

простыми прямоугольными окнами в его центральной части. На втором этаже главного фасада находилось большое венецианское окно с узкими боковыми фонарями, обрамлёнными ионическими колоннами [4].

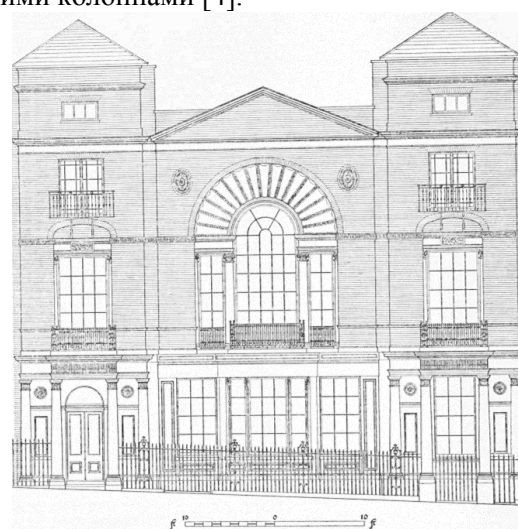


Рис. 6. Boodle's, улица Сент-Джеймс, фасад [5]

редачи традиций и культуры в Лондоне) повлияло на их планировочное решение, что отразилось, в частности, в клубах White's и Boodle's. В этих зданиях также прослеживается вертикальное разделение на три объёма, демонстрирующее симметрию. Кроме того, на фасадах главным элементом стало центральное арочное окно, подчёркивающее более высокий этаж. Этот элемент стал демонстрировать простор и в то же время уединение, а также «сердце» клуба, куда мог попасть только узкий круг людей. В итоге такие планировочные решения придавали рассматриваемым зданиям особое положение среди других [5].

Очередное поколение клубов формируется в начале XIX века. В этот период видны радикальные изменения в архитектуре этого типа зданий. Обусловлены они постепенным развитием требований к планировке и масштабу помещений как в домах, приспособленных под клубы, так и в отдельном типе зданий. В итоге помещения, как и сами здания стали более крупными, так как теперь включали обширную программу мероприя-

тий, что способствовало их выделению в городской среде. Расширение функционального наполнения клубов повлияло и на изменение их внешнего вида. В первую очередь эти преобразования отразились на смене стиля: от наличия греческих элементов на фасаде до появления формы итальянского Палаццо. Первое такое здание – Travellers' Club на улице Pall Mall, автором которого является архитектор Sir Charles Barry, построено в 1819 г. (рис. 7) [6].

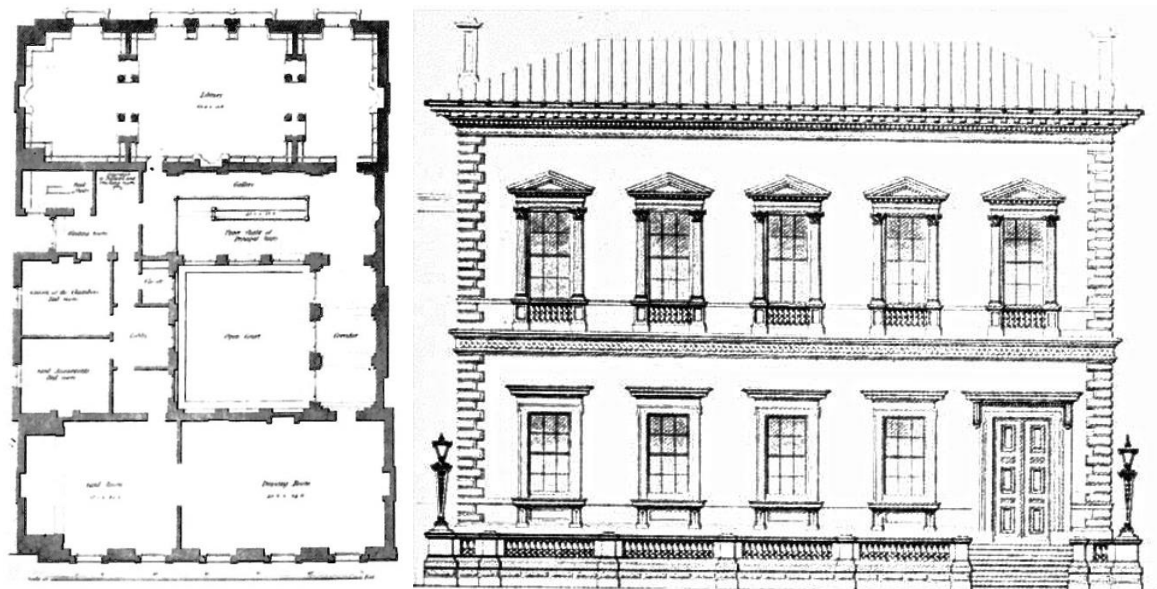


Рис. 7 Travellers' Club фасад, план 1 этажа [5].

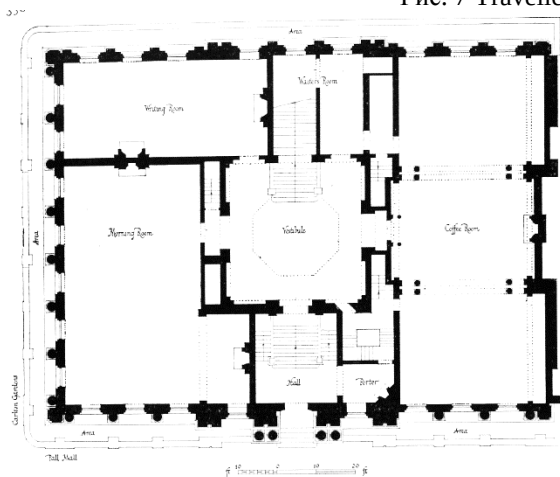


Рис. 8 Carlton Club план [7]

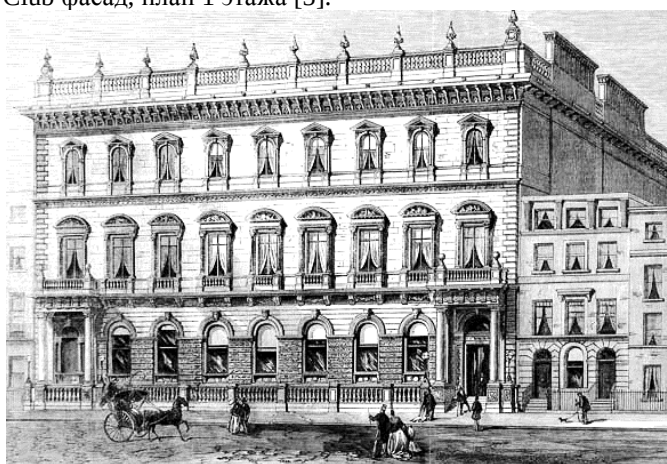


Рис. 9 Carlton Club фасад [8]

В тоже время другие клубы в развитии своей формы «делали шаг» между классической, греческой, римской традицией и возрождением Ренессанса. Образцом этого изменения являются два клуба – Carlton Club и Reform Club, которые в качестве основного вида досуговой деятельности включили политику. А так как политические клубы стали отдельной категорией в XIX веке, то архитектор Sir Charles Barry в 1837 г. при проектировании Reform Club использовал стиль итальянского Возрождения. Идея заключалась в

придании зданию богатого, презентабельного вида (рис. 9). Идея и решение было связано с концепцией, лежащей в основе политического образа архитектуры итальянского Ренессанса, отличающейся от концепций, передаваемых ордерами и храмами классического периода. Если дорические колонны и тимпаны придают зданию определённую «открытость», то массивный объём модулированного палаццо показывает его независимое господство. Такое изменение стиля означало больше чем «смена моды», оно по сути

сопровождало социальную эволюцию формы клуба от демократической кофейни к «власти» эксклюзивного клуба.

Характерным примером решения этой идеи является Carlton Club – дом консервативной партии. Архитектор Сидни Смирк в 1818 г., проектируя здание, на плане визуально разделил его объём осевыми линиями, разместив в центре квадратный вестибюль с главной лестницей (рис. 8). При этом её первая ступень выполняла функцию подиума, на ней можно было стоять во время митинга. Клуб был реконструирован в 1846 г., что значительно расширило его объём с западной стороны (рис. 9) [7].

Другое здание Reform Club – исторический общественный клуб, расположенный в самом центре города, в потрясающем месте, сочетало в себе элегантность и величие. Спроектированное Sir Charles Barry в стиле римского Возрождения (рис. 11), здание отчасти похоже на клуб Travellers, поскольку оно также закомпонировано вокруг открытого двора с холлом на северной стороне. При этом, согласно плану (рис. 10), в центре здания расположен прямоугольный зал, окружённый галереей, которая работает и как посредник всех уровней и как источник освещения. Крытый двор к тому же стал «Большой галерейной комнатой, театром, который мог применяться в различных целях».

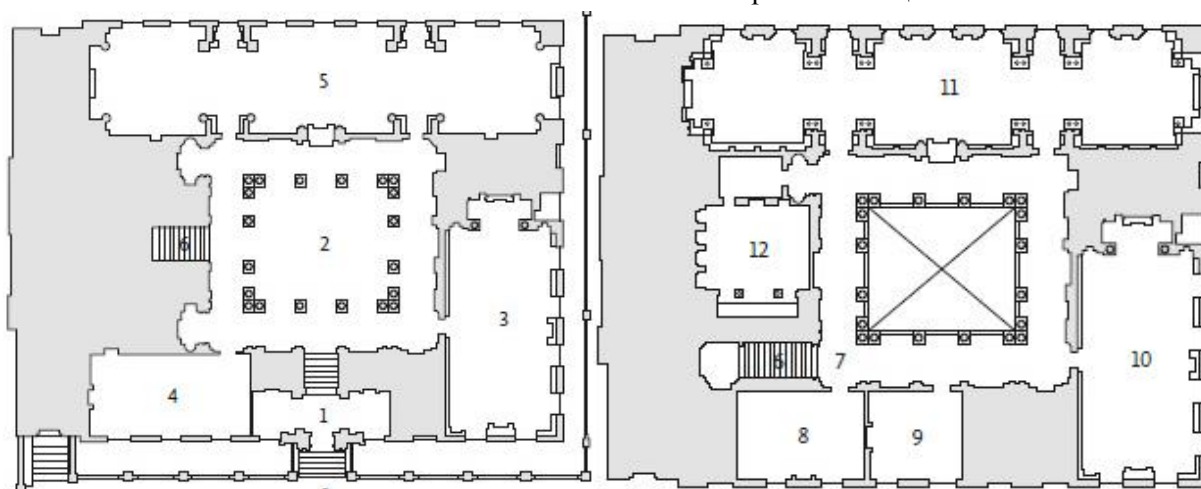


Рис. 10. Схематические планы Клуба Reform.

Рисунки: Соль Перес Мартинес

Вверх: План первого этажа:

0 – Pall Mall Street; 1 – Вестибюль; 2 – Холл или салон; 3 – Утренняя комната; 4 – Комната незнакомцев; 5 – Кофейня; 6 – Закрытый подъезд; 7 – Галерея. Первый этаж; 8 – Комната для карточек; 9 – Комната комитета; 10 – Курительная комната; 11 – Библиотека; 12 – Бильярд [9]

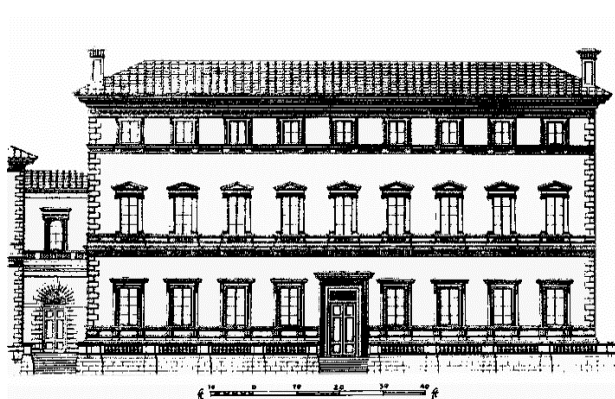


Рис. 11. Фасад Клуба Reform [10]

При этом, не смотря на имеющиеся различия между Reform и Carlton, а также их отличием от других клубов (кофейнь) остаётся важным при проектировании клубов использование такого элемента как камин, возле которого должны собираться посетители. Связано это с тем, что ка-

мин в архитектуре Англии по-прежнему оставался символом домашней обстановки, связанной с идеей комфорта [10], что особенно прослеживается в клубе Reform. Сравнение приведённых двух политических клубных зданий показывает эту взаимосвязь в архитектуре поздневикторианской клубной культуры.

Тесные связи между элитами различных государств, стремящихся к культурному и политическому определению и самовыражению, способствовали распространению архитектуры английских клубов, в том числе и в России. Первые клубы возникли в Санкт-Петербурге, и появились они как продолжение клубных традиций Англии. Причиной тому стало появление иностранцев, большая часть из которых прибыла в Санкт-Петербург из Англии. Они ввели традицию собираться по два раза в неделю в одной из гостиниц для отдыха, за стаканом вина, где весело проводили время. Следуя этой традиции, в начале 1770 г. проживавшие в Петербурге иностранцы во главе с фабрикантом Фрэнсисом Гарднером сочли необходимым основать специальное собрание, или клуб. Однако, вскоре Корнелий Гардинер закрыл заведение, в следствие чего Франсис Гарднер предложил своим учредителям, которых набралось 50 человек основать самостоятельное общество, или клуб. В результате, 1 марта 1770 г. было основано общество как Санкт-Петербургское Английское Собрание (в обиходе чаще называемое «Английским клубом»). Это было одно из самых привилегированных обществ столицы которое стало родоначальником в приспособлении зданий под клубы.

История приспособления зданий под клубы началась с доходного дома купца Конрада Кизеля по ул. Малой Морской № 17 (рис. 12) [11]. Здесь, на первом этаже, первоначально разместилось «Санкт-Петербургское Английское Собрание» в связи с тем, что, во-первых, имелся вместительный зал, а во-вторых, оплата аренды составляла 500 рублей в год. К концу 1771-го число

членов клуба достигло уже двухсот пятидесяти человек, и в прежнем помещении всем стало тесновато, а потому был арендован и второй этаж дома [12]. Однако арендованное помещение было небольшое и неудобное. Многие его комнаты носили особые названия: балконная называлась «Рощей», гостиная рядом с нею – «Портретной», комната за Портретной – «Крыловской». Кухня клуба пользовалась большой репутацией, так как блюда готовили знаменитые повара. Большую террасу в летнее время использовали для ужина, её площадка выходила в небольшой, но тенистый сад, где играли в карты [13]. Фасад дома украшали четыре пилястры, окна второго этажа имели фигурные наличники как отзвук отходившего в прошлое стиля барокко. При том, что дом в целом был выдержан уже в стиле раннего классицизма.



Рис. 12. Малая Морская улица, дома № 17 [14]

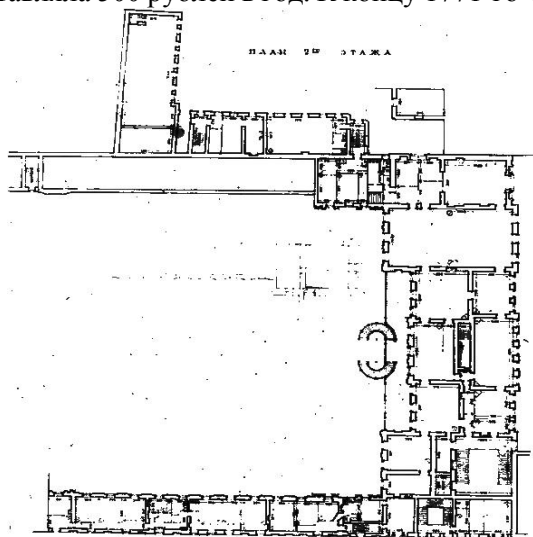


Рис. 13. Дом Демидовых. План 2-го этажа [15]

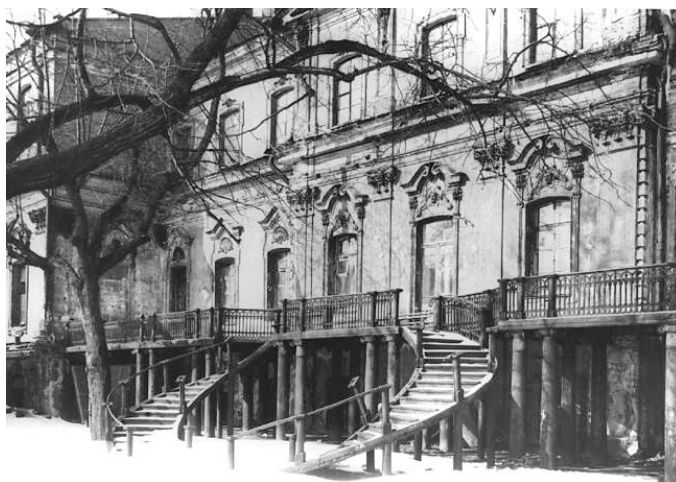


Рис. 14. Фасад здания 1965 г. [16]

По некоторым причинам, таким как высокая плата за аренду, наличие небольших помещений,

иногда отказ продлевать аренду, клубу приходилось регулярно переезжать. Так из дома на М.

Морской ул. клуб перебрался в дом графа П. А. Бутурлина на Мойке около Синего моста, где он просуществовал три четверти века. После клуб переехал в дом графини Скавронской у Красного моста. Затем в соседний дом Таля. В 1830 г. клуб переместился через Демидовский переулочек в дом Демидовых в усадьбу на набережные Мойки. Особняк спроектировал архитектор С. Чевакинский по заказу Григория Демидова в 1759 г. применив стили классицизма и барокко украсив его барельефами и колоннами ионического типа (рис. 14). Члены клуба считали его самым удобным для своего времяпрепровождения. Демидовский дом привлекал многих гостей. Здесь при клубе имелся большой парк, куда на летнее время переносились многие клубные занятия (рис. 13). Несмотря на то, что здание расположено в самом центре Петербурга, на пересечении набережной Мойки и переулка Гривцова, оно и, окружающий его парк спрятаны так, что за соседними домами не видно даже крыши) [15]. Ключевой особенностью здания стала массивная чугунная веранда, которая призвана была рекламировать металлургический бизнес предпринимателей. Веранду кузнецы украсили гнутыми решетками из литого чугуна. Две изогнутые лестницы выводили обитателей дома в две стороны яблоневого сада, который в летнее время был задействован для игр и развлечений. Однако, из-за больших штрафов клуб переехал в дом Эйхлера и Бернардаки, где находился с 1860 до 1891 г.

После многолетних скитаний сообщество наконец-то приобрело собственный роскошный особняк на Дворцовой набережной, бывший некогда дворцом князей Радзивилл (рис. 15).



Рис. 15. Фасад Английского клуба [17]

В клубном доме имелаась большая столовая и значительная по объёму библиотека, несколько парадных гостиных, предназначенных преимущественно для карточных игр. В «Портретной комнате», где играли в карты, висели царские

портреты в рост. Особенностью дома было наличие внутреннего дворика, всегда украшенного цветами. В летнее время дворик использовался для игр и чаепития [18].

XVIII век в России ознаменовался развитием клубных сообществ. По примеру Английского собрания начали создаваться и другие клубы, например, «Шустер-клуб», который в 1772 г. стал именоваться «Большим бюргерским клубом». «Санкт-Петербургское первое общественное собрание» постепенно сделалось Немецким клубом. В конце XVIII в. в столице действовало еще несколько клубов, таких как «Музыкальный клуб» (1772–1777 гг.), «Военный клуб» (1782 г.) – членами которого были в основном дворяне (был закрыт через год), «Учёный клуб». В конце XVIII в. в Петербурге интерес к танцевальным клубам среди купцов и мещан настолько возрос, что его можно назвать своего рода «Танцеманией». Массовое увлечение танцами особенно проявилось после открытия в 1785 г. первого танцевального клуба. «Второе танцевальное общество» открылось 6 января 1790 г. и допускало в свой состав только представителей мещанского сословия. Как самостоятельные образования для досугового времяпрепровождения, клубы вовлекали в свой процесс десятки и сотни людей, на практике приобщая петербургское общество XVIII в. к формированию досуговой культуры [19].

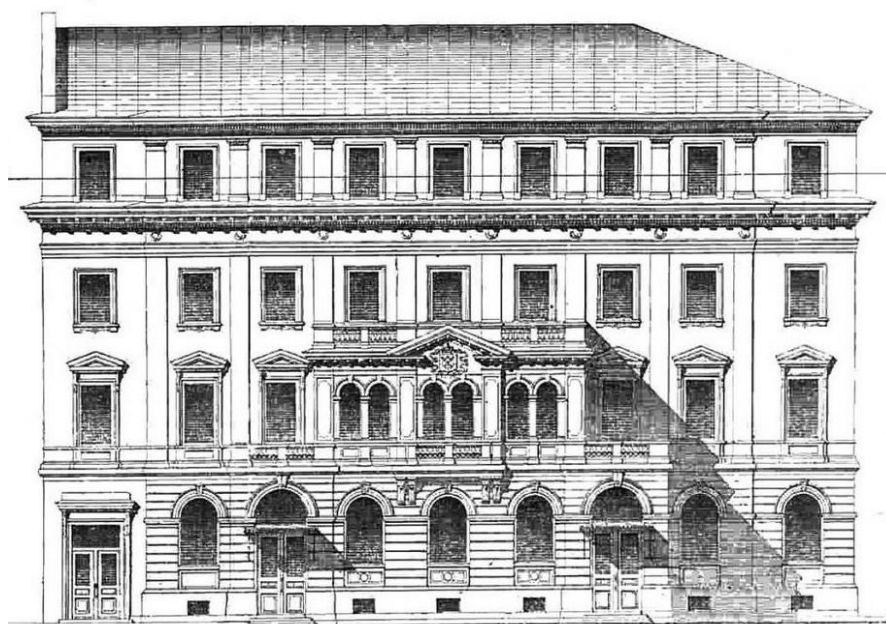
Следующим этапом развития клубов в России было строительство собственного типа здания. Так Дворянскому Собранию для строительства клуба выделили угловой участок на пересечении Михайловской и Итальянской ул. под № 9. Здание должно было возводиться по проекту архитектора К. И. Росси с 1834 по 1839 г. (рис. 19). К. Росси спроектировал несколько вариантов архитектурного решения фасадов здания Дворянского Собрания. Императором Николаем I был утвержден проект, при котором северный фасад, обращенный на Михайловскую площадь, представлял собой трёхэтажную постройку, по центральной оси акцентированную раскреповкой в восемь осей. На уровне второго-третьего этажей она была выделена ионическим орденом, на уровне первого этажа оформлена при помощи руста. Входы в здание были организованы по крайним осям (рис. 17).

Автором же самого здания является архитектор Поль Жако (Павел Петрович Жако). Возводя здание по первоначальному проекту К.И. Росси, он внёс в него некоторые изменения. Была предусмотрена надстройка северного фасада четвёртым этажом. В соответствии с проектом, входа в здание со стороны Михайлов-

ской ул. не было, а парадная лестница и вестибюль располагались со стороны северного фасада (рис. 16). П.П. Жако принадлежит и решение большого трёхсветного зала для балов и концертов (в наст. время Большой зал). Согласно планам его проекта 1837 г., на уровне цокольного этажа помещения предполагалось отвести под «лавки для найма» квартиру управляющего, хозяйственные помещения (кладовую, «прачечную»), большую кухню и конюшню. По сохранившемуся плану второго этажа можно судить о первоначальной планировочной системе и функциональном назначении его помещений (рис. 18). На втором этаже располагалась «Большая зала», занимающая центральную часть здания, царская ложа, царская и общие столовые, «покои для дворянского Собрания». В 1839 г. по проекту П. П. Жако на уровне второго этажа были устроены балконы с коваными ограждениями, со стороны северного фасада над центральным входом – металлический козырек. Со стороны северного фасада располагались более крупные и освещённые помещения, по периметру «Большого зала» проходили галереи. С южной стороны пространство второго этажа было поделено перегородками на мелкие помещения вокруг светового внутреннего двора.

Новое здание Дворянского собрания с перwokлассным по акустике залом, вмещающим более 1500 человек, с конца 1840-х г. стало центром музыкальной жизни Петербурга. В 1887 г. архитектор В. А. Штраух осуществил перестройку в его северных помещениях. С северного фасада, согласно проектным чертежам, была проведена реконструкция вестибюльной зоны дома «Дворянского собрания». Были построены две новые лестницы, ведущие до чердака, увеличены окна в подвальном этаже.

Несмотря на то, что в доме Санкт-Петербургского Дворянского Собрания размещался известный всему Петербургу концертный зал, но само здание не было приспособлено для данной функции. Оно имело тесные помещения гардеробных, неудобные входы, отсутствовала вентиляция, небезопасным было существовавшее калориферное отопление. Для устранения данных проблем в 1894 г. администрация Дворянского собрания обратилась к профессору В. А. Шретеру. Им был составлен проект перестройки здания. В 1899–1901 гг. по его проекту здание было надстроено и реконструировано гражданским инженером А. П. Максимовым. Он пристроил выступающий объём в два этажа к лицевому фасаду, выходящему на Михайловскую площадь. Кроме этого, он внёс изменения в планировочной структуре на каждом этаже здания [20].



191. Лицевой фасадъ на Михайловскую улицу.

Рис. 16. Здание С.-Петербургского Дворянского собрания. Журнал «Строитель», 1900, №7-8 [21]

Данный клуб просуществовал до весны 1918 г., когда борьба петроградского Совета депутатов с азартными играми поставила точку в полувековой истории петербургской английской

общины. Хотя с первых лет своего основания «Английский клуб» всегда жил исключительно русской жизнью.

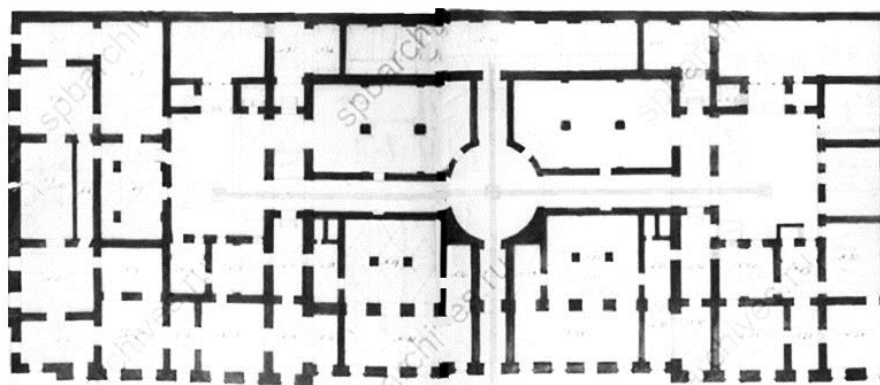


Рис. 17. План первого этажа. 1837 г. Арх. П. Жако. ЦГИА СПб. Ф.513. Оп. 102. Д. 9799 [21]

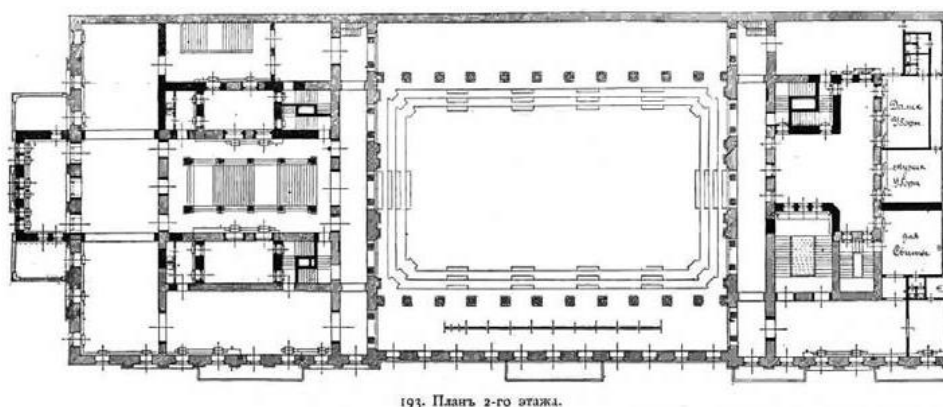


Рис. 18. План 2-го этажа. Журнал «Строитель», 1900, №7-8. 1839 г. Арх. П. Жако



Рис. 19. Здание Дворянского собрания. 1824-1850-е гг. ЦГИА СПб. Ф.513. Оп. 102. Д. 9799. 1849 г. [21]

Выводы. Исследование эволюции столичных клубов Англии и Санкт-Петербурга позволило выявить этапы их становления и развития как самостоятельного типа зданий, начиная от требований к месту расположения в городе, набору помещений, их планировочной организации, объемно-пространственного и композиционного решения и заканчивая реализацией цели создания клубного пространства. Кратко результаты проведенных исследований могут быть представлены в следующем виде:

1. Изначально клубы появились в Англии в Лондонских кофейнях и тавернах, в модных районах Пэл Мэл, Пикадили, Сент-Джеймс. Они занимали одно помещение в основном пространстве здания, которое находилось на первом этаже, имело камин, скамейки и смежную служебную квартиру.

2. Следующим шагом в развитии Английских клубов стало расширение функций – создание собственного типа здания. Отделение клуба от кофейни, таверны (приспособленного пространства) до создания первых самостоятельных зданий «Клубы», которые в качестве основного вида досуговой деятельности включили политику.

3. Анализ клубов России показал, что первый приспособленный клуб появился в столице Российского государства, их основали англичане. Как и в Англии клубы размещались в центральной части города, в доходных или купеческих домах и занимали один этаж (большой зал).

4. С увеличением числа вступивших в собрания участников, определились критерии к выбору здания ими явились: наличие вместительного зала, внутреннего двора, большой столовой, приемлемая стоимость аренды, территориальная значимость, расположение клуба в центральной части города, наличие парка или внутреннего

дворика, что позволяло устраивать встречи на свежем воздухе, а также спрятаться и уединиться от посторонних глаз. Особенности, которые сформировались в «Приспособленных клубах» и использовались в проектировании собственного типа здания «Клуб».

5. Особенности, которые обозначились в «приспособленных клубах» повлияли на архитектурно-планировочные решения, требования заказчика сформировали новый тип общественных зданий – «Клуб». В результате клубы изменились по объёмно-планировочной структуре, они стали более крупными зданиями, которые включали обширную программу мероприятий, таких как: питание, проживание, общение, отдых и выделялись в городской среде.

6. Архитектура клубов отличается стилями (Палаццо, классический, поздневикторианский) и формами XVII–XIX периода. Это связано в первую очередь с культурой страны и задачами, которые необходимо было решить. В Лондоне клубы отражали домашний комфорт и уют, (комнаты с камином), в России – гостеприимность и величие, что повлияло на создание большого вместительного зала в центральной части здания, для организации торжеств, и иных праздных мероприятий.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Кофейня Old Slaughter's [Электронный ресурс]. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Old_Slaughter%27s_Coffee_House (дата обращения: 20.09.2020)
2. White's: A (very) Short History [Электронный ресурс]. URL: <http://historyhoydens.blogspot.com/2013/03/whites-very-short-history.html> (дата обращения: 20.09.2020)
3. Disowned by Cameron, the raffish men-only club that his father once ran [Электронный ресурс]. URL: <https://www.dailymail.co.uk/news/article-2369652/Disowned-David-Cameron-raffish-men-club-father-ran.html> (дата обращения: 20.10.2020)
4. Сент-Джеймс-стрит, Ист-Сайд [Электронный ресурс]. URL: <https://www.british-history.ac.uk/survey-london/vols29-30/pt1/pp433-458#fnn3> (дата обращения: 20.10.2020)
5. St. James's Street, East Side [Электронный ресурс]. URL: <https://www.british-history.ac.uk/survey-london/vols29-30/pt1/pp433-458#anchorn72> (дата обращения: 20.10.2020)
6. Клуб путешественников, Пэлл-Мэлл, 1829–1832 гг. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.british-history.ac.uk/survey-london/vols29-30/pt1/plate-88> (дата обращения: 19.09.2020)
7. Пэлл-Мэлл, Южная сторона, Прошлые постройки: Клуб Карлтон [Электронный ресурс]. URL: <https://www.british-history.ac.uk/survey-london/vols29-30/pt1/pp354-359> (дата обращения: 20.09.2020)
8. Junior Carlton Club [Электронный ресурс]. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Junior_Carlton_Club (дата обращения: 20.10.2020)
9. Headquarters' of speech Spaces, politics and club talk in late-victorian club architecture [Электронный ресурс]. URL: https://www.academia.edu/7351322/Headquarters_of_Speech_Spaces_Politics_and_Club_Talk_in_late-Victorian_Club_Architecture. (дата обращения: 20.10.2020)
10. Reform Club, Pall Mall [Электронный ресурс]. URL: <https://www.british-history.ac.uk/survey-london/vols29-30/pt1/plate-97> (дата обращения: 20.10.2020)
11. Дом Кюзеля - Дом Лепена [Электронный ресурс]. URL: <https://www.citywalls.ru/house1981.html?s=uco4551oqotr5v521lcsmlg> 396 (дата обращения: 20.09.2020)
12. Буторов А.В. Князь Николай Борисович Юсупов. Вельможа, дипломат, коллекционер. М.: Изд-во Астрель СПб, 2012. 656с.
13. Зайцева Д.А. Здесь жил Гоголь // На века. 2011. №10 С.36
14. Акварели Баганца – Малая Морская улица, дома 17 и 19 [Электронный ресурс]. URL: <https://giper.livejournal.com/182187.html> (дата обращения: 20.09.2020)
15. Обмер Усадьба Демидовых. Главный дом. Вид со стороны двора (Переулок Гривцова, 1). Фото 1965 [Электронный ресурс]. URL: <https://pastvu.com/p/486497> (дата обращения: 20.10.2020)
16. Санкт-Петербург энциклопедия [Электронный ресурс]. URL: <http://www.ensspb.ru/object/2804003317?lc=ru> (дата обращения: 20.09.2020)
17. Особняк-невидимка (Дом № 16 по Дворцовой набережной) [Электронный ресурс]. URL: <https://design.wikireading.ru/16390> (дата обращения: 20.09.2020)
18. Есаулов Г.В., Черницына В.А. Архитектурная летопись Ростова-на-Дону. М.: Изд-во 2 дополненное, Ростов-на-Дону, 2002, 304 с.
19. Завьялова Л.В. Петербургский Английский клуб, 1770-1918. Очерки истории. М.: Изд-во Издательский дом СПН, 2004, 42 с.
20. АКТ по результатам государственной историко-культурной экспертизы проектной документации на проведение работ по сохранению объекта культурного наследия федерального значения. «Научно-изыскательские и проектные ра-

боты «Дворянского собрания» [Электронный ресурс]. URL: <http://kgior.gov.spb.ru/media/uploads/userfiles/2020/08/24/01-26-1635.pdf> (дата обращения: 24.08.2020)

21. Ежегодник "Советская архитектура" Том 3. М.: Изд-во Государственное издательство литературы по строительству и архитектуре, 1954. 255 с.

Информация об авторах

Андреева Дарья Викторовна, аспирант кафедры графики и информационных технологий архитектурного проектирования. E-mail: darandreeva@sfedu.ru. Академия архитектуры и искусств Южный Федеральный Университет, Россия, 344082, Ростов-на-Дону, пр. Будёновский, д. 39.

Иевлева Ольга Тихоновна, доктор технических наук, профессор кафедры графики и информационных технологий архитектурного проектирования. E-mail: ijevleva@sfedu.ru. Академия архитектуры и искусств Южный Федеральный Университет, Россия, 344082, Ростов-на-Дону, пр. Будёновский, д. 39.

Поступила 01.12.2020

© Андреева Д.В., Иевлева О.Т., 2021

***Andreeva D.V., Ievleva O.T.**

Academy of architecture and arts Southern Federal University

*E-mail: darandreeva@sfedu.ru

EVOLUTION OF THE ARCHITECTURE OF THE CAPITAL CLUBS OF ENGLAND AND RUSSIA AT THE TURN OF XVII-XIX CENTURIES

Abstract. The article deals with the problem of organizing the environment of human cultural activity in the 18th century and the search for its solution by architects. The aim is to identify the features (functional, structural and other) of previously existing architectural objects (clubs) of the 18th-19th centuries. A comparative analysis of a number of the buildings (clubs) under study is carried out on the example of two large countries of the world, England and Russia. The buildings and premises adapted for clubs, which originally appeared in London, and later in St. Petersburg, are described. The article considers one of the first club facilities in St. Petersburg, the "English Club", which was formed by the "English Assembly" taking into account the historical roots of London clubs. On the basis of field studies and the study of preserved historical graphic materials, the characteristic stages of development and the peculiarities of the emergence of a new type of public club buildings for that time are revealed. Using a comparative and typological method, the authors describe the planning and functional features of the development of club architecture in "adapted clubs", which influenced the formation of their own type of building. The criteria for choosing a building adapted for a club are defined. These include: the presence of a spacious hall, a courtyard, an acceptable rental price, the presence of a large dining room, the importance of territorial location. With the help of the analysis, the principles of designing a club as its own type of building are formed.

Keywords: architecture of English clubs, political clubs, coffee houses, taverns, club communities, English Club of St. Petersburg, Assembly of the nobility.

REFERENCES

1. Coffee house Old Slaughter's [Kofejnya Old Slaughter's]. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Old_Slaughter%27s_Coffee_House (date accessed: 09/20/2020) (rus)
2. White's: A (very) Short History. URL: <http://historyhoydens.blogspot.com/2013/03/whites-very-short-history.html> (date accessed: 20.09.2020)
3. Disowned by Cameron, the raffish men-only club that his father once ran. URL: <https://www.dailymail.co.uk/news/article-2369652/Disowned-David-Cameron-raffish-men-club-father-ran.html> (date accessed: 20.10.2020)
4. St. James Street, East Side. URL: <https://www.british-history.ac.uk/survey-london/vols29-30/pt1/pp433-458#fnn3> (date accessed: 10/20/2020) (rus)
5. St. James's Street, East Side. URL: <https://www.british-history.ac.uk/survey-london/vols29-30/pt1/pp433-458#anchorn72> (date accessed: 10/20/2020)
6. Travelers Club, Pall Mall, 1829-1832. [Klub puteshestvennikov, Pell-Mell, 1829-1832 gg.] URL: <https://www.british-history.ac.uk/survey-london/vols29-30/pt1/plate-88> (date accessed: 19.09.2020) (rus)
7. Pall Mall, South Side, Past Buildings: Carlton Club. [Pell-Mell, Yuzhnaya storona, Proshlye postrojki: Klub Karlton] URL: <https://www.british-history.ac.uk/survey-london/vols29-30/pt1/plate-88>

history.ac.uk/survey-london/vol29-30/pt1/pp354-359 (date accessed: 20.09.2020) (rus)

8. Junior Carlton Club. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Junior_Carlton_Club (date accessed: 10/20/2020)

9. Headquarters' of speech Spaces, politics and club talk in late-victorian club architecture. URL: https://www.academia.edu/7351322/Headquarters_of_Speech_Spaces_Politics_and_Club_Talk_in_late-Victorian_Club_Architecture. (date of access: 20.10.2020). (rus)

10. Reform Club, Pall Mall. URL: <https://www.british-history.ac.uk/survey-london/vols29-30/pt1/plate-97> (date accessed: 10/20/2020)

11. House of Kusel - House of Lepen [Dom Kyuzelya - Dom Lepena] URL: <https://www.citywalls.ru/house1981.html?S=uco4551oqotr5v521lcsmlg396> (date accessed: 20.09.2020) (rus)

12. Butorov A.V. Prince Nikolay Borisovich Yusupov. Nobleman, diplomat, collector [Knyaz' Nikolaj Borisovich Usupov. Vel'mozha, diplomat, kollektioner]. Publishing house Astrel SPb, 2012. Pp. 656. (rus)

13. Zaitseva D.A. Gogol lived here [Zdes' zhil Gogol']. For centuries. 2011. No. 10 Pp. 36. (rus)

14. Watercolors Bagants. Malaya Morskaya street, houses No 17 and 19 [Malaya Morskaya ulica, doma No 17 i 19]. AdobeAcrobatReader. URL: <https://giper.livejournal.com/182187.html> (date accessed: 20.09.2020) (rus)

15. Measurement The Demidovs' estate. Main house. View from the courtyard (Grivtsova Lane, 1). Photo 1965 [Obmer Usad'ba Demidovyh. Glavnyj dom. Vid so storony dvora (Pereulok Grivcova, 1).

Foto 1965]. URL: <https://pastvu.com/p/486497> (date accessed: 10/20/2020). (rus)

16. St. Petersburg Encyclopedia [Sankt-Peterburg enciklopediya]. URL: <http://www.ensspb.ru/object/2804003317?lcru> (date accessed: 20.09.2020). (rus)

17. The invisible mansion (House No. 16 on the Palace Embankment) [Osobnyak-nevidimka (Dom No 16 po Dvorcovej naberezhnoj)]. URL: <https://design.wikireading.ru/16390> (date accessed: 20.09.2020). (rus)

18. Esaulov G.V., Chernitsyna V.A. Architectural chronicle of Rostov-on-Don [Arhitekturnaya letopis' Rostova-na-Donu] Publishing house 2 supplemented, Rostov-on-Don, 2002. Pp. 304 (rus)

19. Zavyalova L.V. Petersburg English club, 1770-1918 [Peterburgskij Anglijskij klub, 1770-1918. Ocherki istorii]. Publishing house SPN. 2004. Pp. 42 (rus)

20. ACT based on the results of the state historical and cultural examination of project documentation for the preservation of a cultural heritage site of federal significance. "Scientific research and design work of the" Noble Assembly [AKT po rezul'tatam gosudarstvennoj istoriko-kul'turnoj ekspertizy proektnoj dokumentacii na provedenie rabot po sohraneniyu ob"ekta kul'turnogo naslediya federal'nogo znacheniya. «Nauchno-izyskatel'skie i proektnye raboty «Dvoryanskogo sobraniya»]. AdobeAcrobatReader. URL: <http://kgiop.gov.spb.ru/media/uploads/userfiles/2020/08/24/01-26-1635.pdf> (date accessed: 24.08.2020) (rus)

21. Yearbook "Soviet architecture" Vol. 3. [Ezhegodnik "Sovetskaya arhitektura" Tom 3.]. Publishing house of the State publishing house of literature on construction and architecture, 1954. Pp 255. (rus)

Information about the authors

Andreeva, Daria V. Postgraduate student. E-mail: darandreeva@sfedu.ru. Academy of Architecture and Arts Southern Federal University, Russia, 344082, Rostov-on-Don, Budennovsky prospect, 39.

Ievleva, Olga T. DSc, Professor. E-mail: ijevleva@sfedu.ru. Academy of Architecture and Arts Southern Federal University, Russia, 344082, Rostov-on-Don, Budennovsky prospect, 39.

Received 01.12.2020

Для цитирования:

Андреева Д.В., Иевлева О.Т. Эволюция архитектуры столичных клубов Англии и России на рубеже XVII-XIX вв. // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2021. № 1. С. 46–57. DOI: 10.34031/2071-7318-2021-6-1-46-57

For citation:

Andreeva D.V., Ievleva O.T. Evolution of the architecture of the capital clubs of England and Russia at the turn of XVII-XIX centuries. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2021. No. 1. Pp. 46–57. DOI: 10.34031/2071-7318-2021-6-1-46-57

DOI: 10.34031/2071-7318-2021-6-1-58-65

Иванова-Ильичева А.М., Орехов Н.В.Южный федеральный университет, Академия архитектуры и искусств***E-mail: AMI0202@yandex.ru*

РОСТОВСКИЙ ТЕАТР КУКОЛ: «СТАРОЕ» И «НОВОЕ» В АРХИТЕКТУРЕ СОВЕТСКОГО МОДЕРНИЗМА

Аннотация. Ростовский Театр кукол – один из интереснейших примеров раннего этапа советского модернизма в регионе – имеет необычную историю строительства, определившую его своеобразие. Лаконичное с упрощенными формами здание, внешне соответствующее образу массовой застройки 1960–1970 годов, при этом обладает особенными чертами, отличающими его в ряду аналогичных построек – сомасштабность и гармоничное включение в окружающую пространственную среду, соответствие архитектурных форм здания расположенному рядом жилому комплексу Дом сотрудников госбезопасности, включение в архитектуру здания мозаичного панно. На основе натурных исследований Кукольного театра, изучения архивных материалов, в том числе проектных чертежей, авторам удалось уточнить факты истории строительства, выявить черты стилистики модернизма, особенности пространственно-планировочной структуры и архитектурно-художественного образа здания. Был использован метод сравнительного анализа, сопоставления материалов натурных и историко-архивных исследований Кукольного театра с проектной документацией и сохранившимися изображениями Благовещенской церкви, на месте которой он был построен. специфика объекта, определяющая многие современные проблемы его эксплуатации и охраны, заключается в том, что внутренний объем включает остатки конструкций разрушенной Благовещенской церкви. Небольшое по масштабам здание стало наглядной иллюстрацией столкновения «старого» и «нового» в архитектуре советского модернизма, отражением процессов смены эстетических представлений времени.

Ключевые слова: советский модернизм, Театр кукол в Ростове-на-Дону, архитектура Ростова-на-Дону, монументальное искусство, мозаика, Благовещенская греческая церковь.

Введение. Совокупность явлений советской архитектуры временного периода, ограниченного 1955 и 1991 годами, в современной истории архитектуры устойчиво определяется как «советский модернизм». Обобщенно понятие модернизм было определено как «условное обозначение тенденций развития искусства, течений, школ, деятельности отдельных мастеров, стремящихся к обновлению художественного языка и считающих формальный эксперимент основой творческого метода» [1].

С формальной точки зрения в 1970–1980-е годы, когда явления советского модернизма проявились наиболее ярко, модернизм в мировой практике изживает себя. «В семидесятые критики уже констатировали, что «новая архитектура» умерла, называя и точную дату ее смерти – 15 июня 1972 г. В этот день в Сент-Луисе, Миссури, США, были взорваны корпуса квартала Проутт-Айгоу» [2]. Вместе с тем, зародившиеся в эпоху «оттепели» и развивающиеся на протяжении более чем 30 лет, процессы в архитектуре Советского Союза опираются в первую очередь на принципы мирового модернизма, хотя обусловлены сложившимися на рубеже в конце 1950-х годов экономическими требованиями и переломом государственной идеологии. Используя слова С.О. Хан-Магомедова, в это время «наша

архитектура вернулась на столбовую дорогу мировой архитектуры» [3].

В настоящее время произведения 1960–1980 годов еще не рассматриваются как исторические постройки, заслуживающие внимания и нуждающиеся в охране. Это «предмет, не только не ставший национальным достоянием, но и рискующий им не стать вовсе» [4]. Причин много, среди них:

- небольшой временной отрезок, отделяющий эти произведения от современности;
- тиражирование лучших идей архитектуры модернизма в массовых постройках, упрощенных и низкокачественных;
- распространение типового строительства;
- неготовность широкой общественности к признанию художественной ценности упрощенных и стандартизированных произведений модернизма.

Вместе с тем в последние годы постепенно возрастает интерес к произведениям столичного и регионального вариантов советского модернизма. Примером может послужить не только появление исследований и публикаций, посвященных архитектуре 1960-1980гг. в различных регионах Советского Союза, но и пробуждение общественной инициативы по включению в реестр объектов культурного наследия произведений модернизма. В Ростове-на-Дону катализатором

послужила опасность утраты мозаичных панно в результате ремонта и реконструкции произведений советского модернизма. Так, возник риск уничтожения мозаичного панно на фасаде Ростовского кукольного театра в связи с передачей объекта в собственность Русской православной церкви и намерением провести масштабную реконструкцию с изменением его функции. Мозаика по всеобщему признанию обладает художественной и исторической ценностью, но сюжетно и образно не соответствует будущей функции объекта. В 2020 году, в результате длительных дискуссий, здание вместе с мозаичным панно признано выявленным объектом культурного наследия.

В современных условиях обострился интерес к истории строительства модернистских объектов, проблеме взаимодействия «нового» и «старого» в постройках регионального модернизма, стала актуальной необходимость широких научных исследований архитектуры 1960-1980 годов. Важным представляется сбор и систематизация достоверных историко-архивных материалов, натурные обследования, обмеры, графическая фиксация сохранившихся объектов и графическая реконструкция утраченных.

Научную новизну данной статьи определяют систематизация исторических данных, уточнение истории строительства, а также всесторонний анализ архитектурно-художественного и конструктивно-технического решения здания Кукольного театра в Ростове-на-Дону. Впервые в научный обиход вводятся историко-архивные материалы, иллюстрирующие историю проектирования и строительства здания. На основе исследования истории строительства и современного состояния здания Театра кукол в Ростове-на-Дону были выявлены особенности стилистики регионального модернизма. Специфика объекта, определяющая многие современные проблемы его эксплуатации и охраны, заключается в том, что внутренний объем включает остатки конструкций разрушенной Благовещенской церкви. Впервые в научной публикации на примере Юга России было показано столкновение «старого» и «нового» в архитектуре советского модернизма, отражающее процессы смены эстетических представлений времени.

Практическая значимость исследования заключается в том, что его материалы могут быть использованы при подготовке документов по включению произведений советского модернизма в реестр объектов культурного наследия, а также охранных обязательств по уже включенным объектам, при составлении исторических справок по постройкам 1960–1980-х годов. Мате-

риалы натурных обследований, а также исторические графические и фотографические материалы могут быть востребованы в ходе осуществления ремонтно-реставрационных работ.

Методология. В ходе подготовки материалов статьи использовались методы натурных исследований и обмеров объекта, а также части городской территории, на которой до 1964 года была Благовещенская церковь, а в 1968 году был построен Театр кукол. Многие данные были получены в ходе историко-архивных исследований. Авторами был проведен анализ сохранившихся документов и несущих элементов здания с целью определения сохранившихся конструкций утраченного храма. Особенности и характерные черты Театра кукол как примера советского модернизма выявлялись с использованием методов сравнительного анализа материалов натурных и историко-архивных исследований здания в стиле советского модернизма с проектной документацией и сохранившимися изображениями Благовещенской церкви, на месте которой оно было построено. Авторы также использовали метод аналогий.

Основная часть. Строительство Театра кукол в Ростове-на-Дону относится к начальному этапу становления советского модернизма, здание построено в 1968 году. Это период, когда, говоря словами А. В. Анисимова, «желание создать что-то достойное было огромным», но при этом на практике многочисленные примитивные и однообразные здания «"разбегались" по всей стране в виде пятиэтажных панельных домов, двухэтажных магазинов с большими неуклюжими витринами и зданий типовых школ и детских садов» [5]. Ростовский театр кукол мог бы также стать в ряд подобных безликих построек, если бы не ряд обстоятельств его истории и некоторые архитектурно-художественные особенности. Это история строительства и постсоветского существования здания, характер взаимодействия с окружающей пространственной средой, обогащение архитектурно-художественного образа средствами монументального искусства.

История строительства Театра кукол в Ростове-на-Дону. В 1907 году на углу улицы Мало-Садовой и переулка Ткачевского (в настоящее время улицы Суворова и переулка Университетского) состоялась закладка Благовещенской греческой церкви на участке, принадлежавшем Эллинскому благотворительному обществу, на средства местной греческой общины. Построено и освящено здание было в 1909 году, и в том же году фотография и информация о новой церкви была опубликована в профессиональном журнале «Ежегодник Общества Архитекторов-Ху-

дожников» [6]. В литературе, посвященной строительству здания Благовещенской церкви, авторами названы два архитектора. В исторических источниках (статье о закладке церкви, Ежегоднике Общества Архитекторов-Художников, жур-



Рис. 1. Благовещенская греческая церковь в Ростове-на-Дону.

Архит. Г. Н. Васильев, 1907–1909 гг. [6, 8]

Греческая церковь (рис. 1), построенная в «античном стиле», имела значительные размеры и, по мнению современников, была рассчитана на 1500 молящихся. В журнале «Зодчий» дано описание здания: «Стены церкви кирпичные, кладка на сложном растворе, с облицовкой инкерманским известняком; из него же сделаны колонны, карнизы и прочие наружные украшения. Внутренние потолочные перекрытия и колонны – железобетонные, системы Геннебика. Отопление центральное водяное, с вытяжной вентиляцией. Иконостас мраморный (из греческого мрамора с острова Самос)» [9].

В 1930-е годы в здании храма разместили детскую техническую станцию, с 1942 по 1958 гг. была возвращена функция церкви, а с 1959 года в здании разместили спортзал и мастерские соседней школы. [7].

В 1965 году после решения об устройстве Театра кукол в Ростове-на-Дону строительная организация УНР-612 приступила к демонтажу предусмотренных проектом частей Благовещенской церкви – колокольни и купола. «Начальной стадией предусматриваются работы по разборке, и в частности, по разборке мраморных изделий как внутри, так и снаружи» [10]. Завершено строительство было в 1968 году, а мозаичное панно было выполнено в начале 1970-х годов (рис. 2)

Объемно-пространственное и функционально-планировочное решение здания Кукольного театра в Ростове-на-Дону. Проект Театра кукол был разработан архитекторами Ростовгражданпроекта Л. Адамкович и Е. Потаповым. Чертежи и пояснительная записка к проекту показывают стремление авторов максимально сохранить конструкции церковного здания, при этом скрыв их за новым фасадом в современных

формах: «существующее здание церкви сохраняется с незначительными изменениями внутренней планировки» [11]. Следует отметить, что чертежи планов в большей степени раскрывают характер сочетания старых стен церкви и новых конструкций, чем функционально-планировочное решение здания кукольного театра.

Проектируемое здание Театра кукол должно было иметь ассиметричный план простой конфигурации, основанный на четкой функциональной схеме и графике движения посетителей. «Посетитель через главный вход, расположенный в центральной части здания, попадает в гардеробы – вестибюль и далее в фойе. Кассовый вестибюль имеет самостоятельный наружный выход и связан с вестибюлем - гардеробом. К фойе примыкают – помещение буфета с кладовой продуктов и моечной и туалетные мужские и женские.» [11]. Зрительный зал театра был рассчитан на 300 посетителей. Ряды кресел предполагалось расположить между существующими колоннами таким образом, чтобы видимость с каждого места в зале была одинаково хорошей. Пол сцены, расположенной в бывшем алтаре храма, был устроен на одном уровне со зрительным залом. Кроме того, предусматривались боковые пожарные выходы и специальный помост вдоль портала сцены.

Сравнительный анализ проектной документации и реализованного объема показывает, что в ходе строительных работ были внесены изменения. Так, предполагалось «для размещения всех необходимых помещений театра кукол, для нормальной его работы предусмотрены по ул. Суворова постройки в два этажа и по пер. Университетскому в один этаж» [11]. В реализованном здании фасад по пер. Университетскому также двухэтажный.

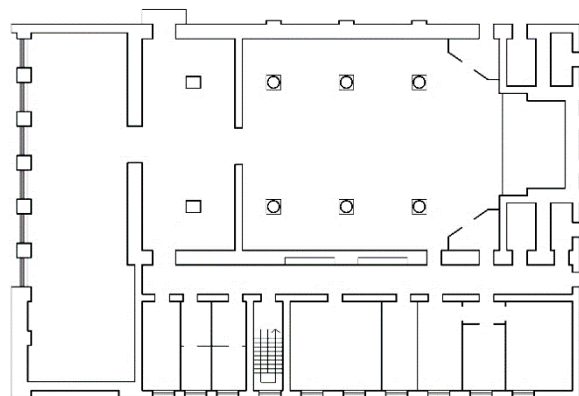


Рис. 2. Театр кукол в Ростове-на-Дону.

Архит. Л. Адамкович и Е. Потапов, 1968 г. Фотография 1969 года [12]. Схема плана

Архитектурно-художественный образ здания. Конец 1950-х годов в архитектуре Советского Союза – это время «творческой перестройки», освобождения от «архаичной стилистики», что сопровождалось нарочитым упрощением художественного решения фасадов зданий, подчеркнутой приверженностью к «чистоте форм». «Значительно сложнее было освоить художественно-композиционные средства и приемы современной архитектуры, которые были наработаны за четверть века зарубежными архитекторами, пока наши зодчие с увлечением использовали стилистику в духе классического ордера» [3]. Результат творческих поисков воплотился в проектировании подражающих мировым тенденциям упрощенных архитектурных форм, лишенных деталей. «...Значение архитектуры как источника информации, задающего определенную эмоциональную программу, осознается представителями профессионального сообщества (о чем свидетельствуют многочисленные статьи в профессиональных журналах 1970–1980-х гг.) и не только. Не ослабевает также роль архитектурного сооружения как объекта монументальной пропаганды» [13]. Бедность архитектурных форм и отсутствие архитектурного языка, определяющего эмоциональную и образную наполненность произведения, в зданиях советского модернизма зачастую компенсируют средствами синтеза искусств.

Во второй половине 1960-х годов распространенной практикой стало обогащение архитектурных объектов и градостроительной среды средствами монументального искусства. В эти же годы активизируется деятельность объединений художников-монументалистов, профессиональное сообщество формулирует принципы синтеза монументально-декоративного и художественно-оформительского искусства с архитектурой на различных уровнях. «В конце 1978 г.

в Москве было проведено творческое совещание представителей союзов художников и архитекторов СССР и социалистических стран на тему: "Синтез изобразительного искусства и архитектуры в социалистическом обществе"» [14].

Проектом здания Ростовского кукольного театра были предусмотрены различные формы синтеза архитектуры и монументального искусства, дизайнерские приемы: «светящийся козырек», «дорожки из разноцветных плиток, керамические вазы с цветами» [15]. В зрительном зале благодаря устройству «звезд»-светильников создавался эффект звездного неба. Вместе с тем, главным элементом декоративного убранства фасадов здания стало мозаичное панно, заполнившее всю плоскость стены главного фасада. Композиционная и художественно-образная концепция мозаичного произведения была сформирована одновременно с разработкой архитектурного проекта. В газетной заметке 1966 года одновременно с описанием архитектурной концепции раскрываются и основы художественного решения мозаичного панно: «Панно, эскизы которого пока еще в портфелях ростовских художников, украсит фасад здания. Вечная тема сказок – победа добра над злом – вот что обещают показать в керамике и пластиках молодые художники Е. Серебренников и Г. Снесарев» [15]. Окончательный эскиз произведения и работа в материале были выполнены художниками Г.Н. Снесаревым и В.В. Коробовым. Композиционно уравновешенная многофигурная композиция сочетает образы сказочных персонажей (Буратино, Мальчиш-Кибальчиш, Арлекин) с символическими театральными образами. Лаконичные архитектурные формы нового здания в стилистике модернизма поддержаны декоративизмом изобразительных форм и ограниченной цветовой гаммой произведения с преобладанием красного и синего цветов на белом фоне (рис. 3).

В асимметричной композиции фасада стена с мозаичным панно контрастирует с визуально легкой остекленной поверхностью входной группы, являясь композиционным и цветовым

акцентом. Таким образом, мозаика на фасаде помогает решить проблему индивидуализации объекта советского модернизма.



Рис. 3. Театр кукол в Ростове-на-Дону.
Архит. Л. Адамкович и Е. Потапов, 1968 г. Фотография 2020 года.
Мозаичное панно. Худ. Г. Снесарев, В. Коробов

«Старое» и «новое» в архитектуре Ростовского театра кукол. Период становления советского модернизма — эпоха «оттепели» — в столичной и региональных архитектурных школах характеризуется общими тенденциями в формировании нового архитектурного облика зданий, отрицающего исторические аналогии.

В истории архитектуры советского модернизма немало примеров сочетания исторических и новых форм, демонстрирующих, как правило, доминирование архитектуры модернизма. Доминирующее положение «новой» архитектуры по отношению к историческим объектам наглядно демонстрирует реализованный проект Нового Арбата в Москве «Резкий контраст живописного облика церкви св. Симеона Столпника постройки 1679 года на фоне многоэтажных монолитов зданий Нового Арбата в Москве стал своего рода архитектурной моделью утверждения «нового» в «старом»» [16]. В ряде случаев историческое здание или часть его окружается новой оболочкой, скрывается в интерьере модернистской постройки. Таким примером может служить особняк Лева (1885 г., арх. П.П. Зыков) [17] в Москве, который в результате реконструкции 1985 года был окружен стенами административного здания и приобрел лаконичный облик, свойственный архитектуре XX века. При этом интерьеры особняка, контрастирующие с его внешним обликом, сохранились. Не менее решительно поступили архитекторы с фасадами бывшего доходного дома И.Р. Гоц в Ростове-на-Дону, в котором в советское время размещались кинотеатр «Родина»

и магазин «Пионер». Не соответствующий тематической направленности кинотеатра и магазина фасад в стиле модерн был полностью скрыт непрозрачным витражом. В середине 1990-х годов в ходе ремонтно-реставрационных работ навесной фасад - витраж был демонтирован и был открыт подлинный облик исторического здания.

Подобным образом сохранившиеся части Благовещенской церкви были скрыты внутри новых конструкций кукольного театра в Ростове, колонны, стены и фундаменты которого сохранены и отчасти представляют конструктивную и планировочную основу здания, но скрыты внутри современных по формам и материалам стен. Также, как и подобный подход архитекторов, характеризует отношение к архитектурному наследию как к отжившему элементу городской застройки, сложившееся в 1960-е годы, вступление к заметке о строительстве Театра кукол в местной периодической печати: «Отступают старые здания. То в одном, то в другом районе нашего города появляются строительные площадки. Магазины, жилые дома, клубы «вырисовываются» под руками строителей» [15].

Сохраненные из соображений экономики и «замаскированные» части исторической церкви оказали значительное влияние на планировку нового кукольного театра. Так пространство центрального нефа стало зрительным залом, определив его параметры и ритм опорных колонн. В бывшей алтарной части разместили сцену. Заранее предусмотренное проектом театра сохранение западного фасада в виде внутренней стены,

отделяющей входную зону театра от зрительного зала, негативно сказалось на пространственных характеристиках вестибюля, имевшего таким образом ширину колонного портика бывшей церкви, и фойе. Так, например, ряды опорных колонн и параметры зала отчасти ограничивают видимость.

Параметрами исторического здания продиктованы и простые, лишённые декора, но традиционные решения северного, южного и восточного фасадов, только главный западный фасад построен в соответствии с эстетическими принципами модернизма. Таким образом, внешне доминирующие новые формы во многом следовали логике исторической архитектуры.

Выводы. В конце 1960 – начале 1970-х годов во многих городах Советского Союза строятся новые здания для кукольных театров, образование которых в основном относится к 1930-м годам. Самым ярким примером стало новое здание Кукольного театра С.В. Образцова в Москве (1970), прогрессивное функционально-планировочное решение и техническое оснащение которого послужили примером для подражания. В рамках этого процесса строится здание Ростовского театра кукол.

История строительства Театра кукол непосредственно связана с разрушением исторического здания Благовещенской греческой церкви, фундаменты, колонны и часть стен которой стали основой пространственно-планировочного решения интерьера театрального здания, в том числе зрительного зала.

Формы архитектуры модернизма прочитываются в асимметрии объема Кукольного театра и решении главного фасада по переулку Университетскому, который, согласно проекту, скрывает части старого здания.

Являясь характерным примером советского модернизма, здание Театра кукол демонстрирует также ряд особенностей, отличающих его от массовой архитектуры 1960–1980-х годов. Это лаконичные геометризованные формы фасадов, сомасштабность окружающей застройке, использование средств дизайна и монументально-декоративного искусства в архитектурно-художественном образе здания.

Ростовский Театр кукол – специфический объект советского модернизма в регионе, иллюстрирующий столкновение «старого» и «нового» в архитектуре, что обусловило некоторые современные проблемы его эксплуатации и охраны.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Малинина Т.Г. Модернизм и "модернизмы": о содержании понятия и расширении его границ к XXI веку в архитектурной критике. Методологические заметки // Искусствознание. 2014. № 3-4. С. 106–125.
2. Иконников А.В. Архитектура XX века. Утопии и реальность: в 2-х т. / под ред. А.Д. Кудрявцевой. Москва: Прогресс-Традиция, 2002. Т. II. 672 с.
3. Хан-Магомедов С.О. Хрущевский утилитаризм: плюсы и минусы. Эстетика "оттепели": новое в архитектуре, искусстве, культуре / под ред. О.В. Казаковой. Москва: РОССПЭН, 2013. с. 100–133.
4. Броневицкая А., Малинин Н. Москва. Архитектура советского модернизма, 1955–1991: справочник-путеводитель / фото Ю. Пальмина. Москва: Музей современного искусства Garage, 2016. 328 с.
5. Анисимов А.В. Мечты об архитектуре в начале 1960-х гг. Свидетельство очевидца. Эстетика "оттепели": новое в архитектуре, искусстве, культуре / под ред. О.В. Казаковой. М.: РОССПЭН, 2013. С. 238–246.
6. Греческая церковь в Ростове на Дону. // Ежегодник Общества Архитекторов-Художников: Выпуск четвертый. С.-Петербург: Типография Т-ва А.Ф. Маркс, 1909. LXXV, 163 с.
7. Малаховский Е.И. Храмы и культовые сооружения Ростова-на-Дону, утраченные и существующие. Ростовское региональное отделение Общественной организации Всероссийское общество охраны памятников истории культуры (ВООПИК). Изд. 2-е перераб. и доп. Ростов-на-Дону. 2012. 311 с.
8. Васильев Г.Н. Греческая церковь в Ростове-на-Дону // Зодчий. 1917. № 35–38. Табл. 13
9. Васильев Г.Н. Греческая церковь в Ростове-на-Дону // Зодчий. 1917. № 35–38. С. 200
10. ГАРО (Государственный архив Ростовской области) Ф. Р-4329 Оп. 2 Д. 132 Л. 22
11. ГАРО (Государственный архив Ростовской области) Ф. Р-4329 Оп. 2 Д. 132 Л. 26
12. Театр кукол в Ростове-на-Дону. Фотография 1969 года из семейного архива семьи Липкович [Электронный ресурс]. Систем. требования: AdobeAcrobatReader. URL: <https://pastvu.com/p/1024589> (дата обращения: 30.11.2020)
13. Иванова-Ильичева А.М., Стушняя И.А., Орехов Н.В. Мозаика в декоративном убранстве зданий эпохи советского модернизма (на примере города Ростова-на-Дону) // Исторические, философские, политические и юридические науки, культурология и искусствоведение. Вопросы теории и практики. - Тамбов: Грамота, 2017. № 12(86): в 5-ти ч. Ч. 5. с. 100–103.
14. Самойлова Н. Синтез изобразительного искусства и архитектуры в социалистических

странах Европы // Архитектура СССР. 1979. №5. С. 57–61.

15. Листопадов Л. Куклы ждут новоселья. // Вечерний Ростов. 1966. 21 мая. С. 4

16. Есаулов Г.В. Архитектура Юга России: от истории к современности. Очерки. Монография. Москва: Архитектура-С. 2016. 568 с.

17. Объекты культурного наследия. Москва

[Электронный ресурс] // Портал открытых данных правительства Москвы. URL: <https://data.mos.ru/opendata/7702155262-obekty-kulturnogo-naslediya-i-vyyavlennye-obekty-kulturnogo-naslediya/data/table?versionNumber=6&releaseNumber=58> (дата обращения: 25.11.2020)

Информация об авторах

Иванова-Ильичева Анна Михайловна, кандидат архитектуры, доцент, заведующая кафедрой истории архитектуры, искусства и архитектурной реставрации. E-mail: AMI0202@yandex.ru. Южный федеральный университет, Академия архитектуры и искусств. Россия, 344082, г. Ростов-на-Дону, ул. Максима Горького, 75.

Орехов Николай Власович, доцент кафедры живописи, графики и скульптуры. E-mail: NIKOR42@yandex.ru. Южный федеральный университет, Академия архитектуры и искусств. Россия, 344082, г. Ростов-на-Дону, ул. Максима Горького, 75.

Поступила 04.12.2020

© Иванова-Ильичева А.М., Орехов Н.В., 2021

***Ivanova-Ilyicheva A.M., Orekhov N.V.**

Southern Federal University, Academy of architecture and arts

**E-mail: AMI0202@yandex.ru*

ROSTOV PUPPET THEATER: "OLD" AND "NEW" IN THE ARCHITECTURE OF SOVIET MODERNISM

Abstract. *Rostov Puppet Theater is an interesting example of the early stage of Soviet modernism in the region. It has an unusual building history and originality. The building with laconic and simplified forms outwardly corresponds to the image of the mass development of the 1960–1970s. Special features distinguish the building from among similar buildings. These are scale and harmony with the environment, compliance with the residential complex House of State Security Officers, and mosaic panels. On the basis of field studies of the Puppet Theater, the study of archival materials and design drawings, the authors managed to clarify the facts of the history of construction, identify the features of the stylistics of modernism, features of the spatial and planning structure and the architectural and artistic image of the building. The method of comparative analysis is used, comparing the materials of full-scale and historical-archival studies of the Puppet Theater with the project documentation and preserved images of the Annunciation Church, on the site of which it was built. The internal volume of the theater includes the remains of the structures of the destroyed church. The building became a clear illustration of the collision of "old" and "new" in the architecture of Soviet modernism, a reflection of the processes of changing aesthetic ideas of the time.*

Keywords: *Soviet modernism, Puppet Theater in Rostov-on-Don, architecture of Rostov-on-Don, monumental art, mosaic, Annunciation Greek Church.*

REFERENCES

1. Malinina T.G. Modernism and "modernisms": on the content of the concept and the expansion of its boundaries to the XXI century in architectural criticism. Methodological notes [Modernizm i "modernizmy": o soderzhanii ponyatiya i rasshirenii yego granits k XXI veku v arkhitekturnoy kritike. Metodologicheskiye zametki]. Art. 2014. No. 3–4. Pp. 106–125 (rus)

2. Ikonnikov A.V. Architecture of the XX century. Utopias and reality: in 2 volumes [Arkhitektura XX veka. Utopii i real'nost']. ed. A.D. Kudryavtseva. Moscow: Progress-Tradition, 2002. Vol. II. 672 p. (rus)

3. Khan-Magomedov S.O. Khrushchev utilitarianism: pros and cons. Aesthetics of the "thaw": new in architecture, art, culture [Khrushchevskiy utilitarizm: plyusy i minusy. Estetika "ottepeli": novoye v arkhitekture, iskusstve, kul'ture]. ed. O. V. Kazakova. Moscow: ROSSPEN, 2013. Pp. 100–133 (rus)

4. Bronovitskaya A., Malinin N. Moscow. The architecture of Soviet modernism, 1955–1991: guidebook [Moskva. Arkhitektura sovetskogo modernizma, 1955–1991: spravochnik-putevoditel']. photo by Y. Palmin. Moscow: Garage Museum of Contemporary Art, 2016. 328 p. (rus)

5. Anisimov A.V. Dreams about architecture in the early 1960s. Eyewitness testimony. Aesthetics of

the "thaw": new in architecture, art, culture [Mechty ob arkhitekture v nachale 1960-kh gg. Svidetel'stvo ochevidtva. Estetika "ottepeli": novoye v arkhitekture, iskusstve, kul'ture]. ed. O. V. Kazakova. Moscow: ROSSPEN, 2013. Pp. 238–246 (rus)

6. Greek Church in Rostov-on-Don [Grecheskaya tserkov' v Rostove na Donu]. Yearbook of the Society of Architects-Artists: Fourth edition St. Petersburg: Printing house A. F. Marks. 1909. LXXV, 163 p. (rus)

7. Malakhovsky E.I. Temples and places of worship in Rostov-on-Don, lost and existing [Khramy i kul'tovyye sooruzheniya Rostova-na-Donu, utrachennyye i sushchestvuyushchiye]. Rostov Regional Branch of the Public Organization All-Russian Society for the Protection of Monuments of Cultural History (VOOPIK). Ed. 2nd revised and add. Rostov-on-Don. 2012. 311 p. (rus)

8. Vasiliev G.N. Greek Church in Rostov-on-Don [Grecheskaya tserkov' v Rostove-na-Donu]. Architect. 1917. No. 35–38. Tab. 13 (rus)

9. Vasiliev G.N. Greek Church in Rostov-on-Don [Grecheskaya tserkov' v Rostove-na-Donu]. Architect. 1917. No. 35–38. Pp. 200 (rus)

10. GARO (State Archives of the Rostov Region) F. R-4329 Op. 2 D. 132 L. 22 (rus)

11. GARO (State Archives of the Rostov Region) F. R-4329 Op. 2 D. 132 L. 26 (rus)

12. Puppet theater in Rostov-on-Don. Photo of 1969 from the Lipkovich family archive [Teatr kukol v Rostove-na-Donu. Fotografiya 1969 goda iz semeynogo arkhiva sem'i Lipkovich]. System. requirements: Adobe Acrobat Reader. URL:

<https://pastvu.com/p/1024589> (date accessed: 30.11.2020) (rus)

13. Ivanova-Ilyicheva A.M., Stushnyaya I.A., Orekhov N.V. Mosaics in the decoration of buildings of the era of Soviet modernism (for example, the city of Rostov-on-Don) [Mozaika v dekorativnom ubranstve zdaniy epokhi sovetskogo modernizma (na primere goroda Rostova-na-Donu)]. Historical, philosophical, political and legal sciences, cultural studies and art history. Questions of theory and practice. Tambov: Diploma, 2017. No. 12 (86): in 5 hours, Part 5. Pp. 100–103. (rus)

14. Samoilova N. Synthesis of fine art and architecture in the socialist countries of Europe [Sintez izobrazitel'nogo iskusstva i arkhitektury v sotsialisticheskikh stranakh Yevropy]. Architecture of the USSR. 1979. No. 5. Pp. 57–61 (rus)

15. Listopadov L. Dolls are waiting for housewarming [Kukly zhдут novosel'ya]. Evening Rostov. 1966. 21 May. P. 4 (rus)

16. Esaulov G.V. Architecture of the South of Russia: from history to the present. Essays. Monograph. [Arkhitektura Yuga Rossii: ot istorii k sovremennosti. Ocherki. Monografiya]. Moscow: Architecture-S. 2016. 556 p. (rus)

17. Objects of cultural heritage. Moscow [Electronic resource]. Open data portal of the Moscow government. URL:

<https://data.mos.ru/opendata/7702155262-obekty-kulturnogo-naslediya-i-vyyavlennyye-obekty-kulturnogo-naslediya/data/table?versionNumber=6&releaseNumber=58> (accessed 25.11.2020) (rus)

Information about the authors

Ivanova-Ilyicheva, Anna M. PhD, Assistant professor. Head of the Department of History of Architecture, Art and Architectural Restoration. E-mail: AMI0202@yandex.ru. Southern Federal University, Academy of architecture and arts. Russia, 344082, Rostov-on-Don, Maxim Gorky street, 75.

Orekhov, Nikolay V. Assistant professor. Department of Painting, Graphics and Sculpture. E-mail: NIKOR42@yandex.ru. Southern Federal University, Academy of architecture and arts. Russia, 344082, Rostov-on-Don, Maxim Gorky street, 75.

Received 04.12.2020

Для цитирования:

Иванова-Ильичева А.М., Орехов Н.В. Ростовский театр кукол: «старое» и «новое» в архитектуре советского модернизма // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2021. № 1. С. 58–65. DOI: 10.34031/2071-7318-2021-6-1-58-65

For citation:

Ivanova-Ilyicheva A.M., Orekhov N.V. Rostov puppet theater: "old" and "new" in the architecture of soviet modernism. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2021. No. 1. Pp. 58–65. DOI: 10.34031/2071-7318-2021-6-1-58-65

ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ

DOI: 10.34031/2071-7318-2021-6-1-66-73

^{1,*}Готлиб Е.М., ^{1,2}Ха Т.Н.Ф., ³Гимранова А.Р., ³Галимов Э.Р., ²Do Huyen Trang¹Казанский национальный исследовательский технологический университет²Viet Tri University of Industry³Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева

*Email: egotlib@yandex.ru

ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ ЭПОКСИДНЫХ ПОКРЫТИЙ, НАПОЛНЕННЫХ СИНТЕТИЧЕСКИМ ВОЛЛАСТОНИТОМ НА ОСНОВЕ РИСОВОЙ ШЕЛУХИ

Аннотация. Добыча природного волластонита в мире ограничена, поэтому актуальным является синтез его на основе доступного кальций и кремнийсодержащего сырья, причем в качестве источника диоксида кремния перспективно применять рисовую шелуху, как отход рисопереработки.

За счет игольчатой формы частиц природный волластонит повышает износостойкость эпоксидных покрытий, что делает интересным исследование влияния на этот показатель фазового состава и свойств синтетического волластонита.

Синтезированный нами силикат кальция, содержит преимущественно β -волластонит, который является целевым компонентом. Максимальное содержание его, примерно на уровне природного Миволла 10–97, достигается при температуре синтеза не выше 950 °С. В качестве примеси в составе синтетического волластонита обнаружен ларнит, является островным силикатом, который имеет цепочную структуру, и поэтому он не может обеспечивать такого модифицирующего эффекта, как наполнители с анизодиаметричной формой частиц. Характер кривых распределения частиц по размерам как природного, так и синтетического волластонита, имеет два максимума, независимо от температуры синтеза наполнителя, за исключением силиката кальция, полученного при 900 °С, который характеризуется унимодальным распределением частиц. У природного Миволла 10–97 более узкое, чем у синтезированных наполнителей, распределение частиц и они меньше по размерам.

Износостойкость эпоксидных композиций, при наполнении их как природным, так и синтетическим волластонитом, увеличивается. Наибольший рост этого показателя достигается при применении синтетического волластонита, полученного при соотношении оксида кальция и диоксида кремния 1:1 и температурах 900–1000 °С. Таким образом, эпоксидные материалы, наполненные, как природным, так и синтетическим волластоном, полученным при оптимальных соотношениях исходных компонентов и температурах синтеза, эффективно и экономично использовать в качестве износостойких покрытий.

Ключевые слова: износостойкость, эпоксидные полимеры, синтетический волластонит, фазовый состав, распределение частиц по размерам.

Введение. Месторождения природного волластонита, который является одним из эффективных наполнителей полимерных материалов [1, 2], во многих странах отсутствуют. Это делает актуальным синтез его на основе доступного кальций- и кремнийсодержащего сырья [3, 4]. Особый интерес представляет получение волластонита на базе отхода переработки риса [5–7].

За счет игольчатой формы частиц природный волластонит повышает износостойкость эпоксидных покрытий [8]. Это делает интересным исследование влияния на степень их износа фазового состава и свойств синтетического волластонита, полученного при разном соотношении компонентов исходной смеси и температурах синтеза.

Экспериментальная часть. Эпоксидные композиции получали на основе диановой смолы ЭД-20 (ГОСТ 10587-84), отверждаемой аминоалкилфенолом АФ-2 (ТУ 2494-052-00205423-

2004) при комнатной температуре в течение 7 суток. Содержание отвердителя определялось эквивалентным соотношением [эпоксигруппы]:[амин].

В качестве наполнителя применялся синтетический волластонит, полученный на основе оксида кальция и золы рисовой шелухи, как источника аморфного диоксида кремния [6, 7], при соотношениях этих компонентов: 1,2:1, 1:1 и 1:1,2, и температурах от 800 °С до 1100 °С в течение 2 часов. Для сравнения использовался природный волластонит марки Миволл 10–97 (ТУ 5777–006–40705684–2003).

Рентгенографический количественный фазовый анализ (РКФА) проводился на многофункциональном дифрактометре Rigaku SmartLab при следующих параметрах съёмки: угловой интервал от 3° до 65° с шагом сканирования 0,02, с экспозицией 1 секунда в точке.

Анализ размера частиц синтетического волластонита проводится методом лазерной дифракции в соответствии с ГОСТ Р 8.777 – 2011.

Износостойкость образцов измерялась на вертикальном оптиметре ИЗВ-1 при удельном давлении – 1 МПа, скорости скольжения – 1 м/сек, без смазки.

Обсуждение результатов. Полученный нами синтетический волластонит, не зависимо от температуры синтеза и соотношения диоксида

кремния и оксида кальция в исходной смеси, содержит преимущественно β -волластонит.

В качестве примеси в его составе обнаружен ларнит – силикат двух молекул кальция Ca_2SiO_3 . В отличие от волластонита, который имеет цепочную структуру, ларнит является островным силикатом, поэтому он не может обеспечивать такого модифицирующего эффекта, как наполнители с анизодиаметричной формой частиц [9].

Таблица 1

Фазовый состав по данным РКФА синтетического волластонита, полученного при разных соотношениях $\text{CaO}:\text{SiO}_2$ и различных температурах

Соотношение $\text{CaO}:\text{SiO}_2$	1,2: 1		1:1		1: 1,2	
	β -Волластонит (%)	Ларнит (%)	β -Волластонит (%)	Ларнит (%)	β -Волластонит (%)	Ларнит (%)
800 °C	75	25	76	24	78	22
850 °C	74	26	75	25	79	21
900 °C	77	23	74	26	70	30
950 °C	75	25	70	30	68	32
1000 °C	56	44	59	41	66	34
1050 °C	57	43	57	43	63	37
1100 °C	58	42	44	56	62	38

Представленные в таблице 1 результаты свидетельствуют о том, что максимальное содержание в составе синтезированного наполнителя β -волластонита, который является целевым компонентом [10], достигается при температуре процесса получения не выше 900–950 °C.

Интересно отметить, что при избытке диоксида кремния в исходной смеси содержание β -волластонита в составе наполнителя в меньшей степени зависит от температуры синтеза, чем при

избытке оксида кальция, или соотношении исходных компонентов 1:1 (табл. 1).

Соотношение диоксида кремния и оксида кальция в исходной смеси при оптимальных температурах синтеза (800–900 °C) не значительно влияет на количество β -волластонита в составе получаемого наполнителя (табл.1).

Содержание этого целевого компонента в волластоните, синтезированном при оптимальной температуре и составе исходной смеси, примерно на уровне природного Миволла 10–97 (80 %).



Рис. 1. Кривые распределения по размерам частиц синтетического волластонита с молярным соотношением оксида кальция и диоксида кремния 1,2:1, полученного при различных температурах, в сравнении с природным минералом

Характер кривых распределения частиц по размерам как природного, так и синтетического волластонита, имеет два максимума (рис. 1), независимо от температуры синтеза наполнителя, за исключением силиката кальция, полученного при 900 °С, который характеризуется унимодальным распределением частиц, со средними размерами 20–40 мкм.

С ростом температуры синтеза волластонита количество мелких (1–2 мкм) частиц его растет, особенно при температуре получения 1100 °С.

У природного Миволла 10–97 более узкое, чем у синтезированных наполнителей, распределение частиц, они меньше по размерам, которые варьируются от 1–2 до 10 мкм (рис. 1).

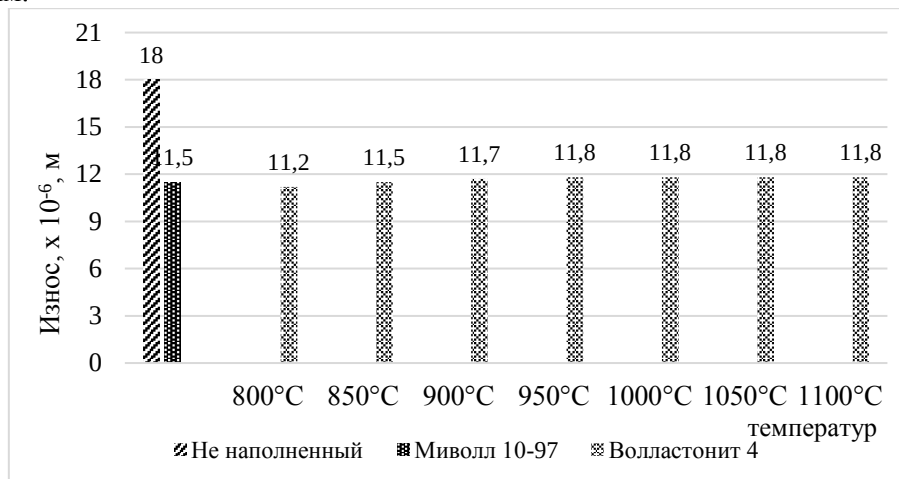


Рис. 2. Износостойкость эпоксидных покрытий, модифицированных 10 масс. ч. синтетического волластонита с соотношением $\text{CaO}:\text{SiO}_2 = 1,2:1$, полученного при разных температурах

Срок службы эпоксидных покрытий существенно зависит от износостойкости связующего, на которую значительное влияние оказывает тип применяемого наполнителя [11].

Анализ полученных нами экспериментальных данных показал, что изнашивание эпоксидных композитов при наполнении их как природным, так и синтетическим волластонитом, уменьшается (рис. 2 и 3). Это связано с анизодиаметричной формой частиц этих коротковолокнистых наполнителей, оказывающих, согласно литературным данным [12], общее усиливающее действие, особенно влияющее на усталостные свойства материалов.

Снижение степени поперечного сшивания эпоксидных композиций при введении в их со-

став волластонита [13] обуславливает увеличение подвижности элементов трехмерной сетчатой структуры полимерной матрицы, что способствует повышению скорости релаксации контактных напряжений, и, следовательно, уменьшению интенсивности изнашивания [14].

Наименьший износ наблюдается для эпоксидных композиций с синтетическим волластонитом, полученным при соотношении оксида кальция и диоксида кремния 1:1 (рис. 3). Этот показатель заметно ниже по сравнению с использованием в качестве наполнителя природного минерала. При этом температура синтеза волластонита не значительно влияет на износостойкость наполненных им материалов (рис. 2, 3 и 4).

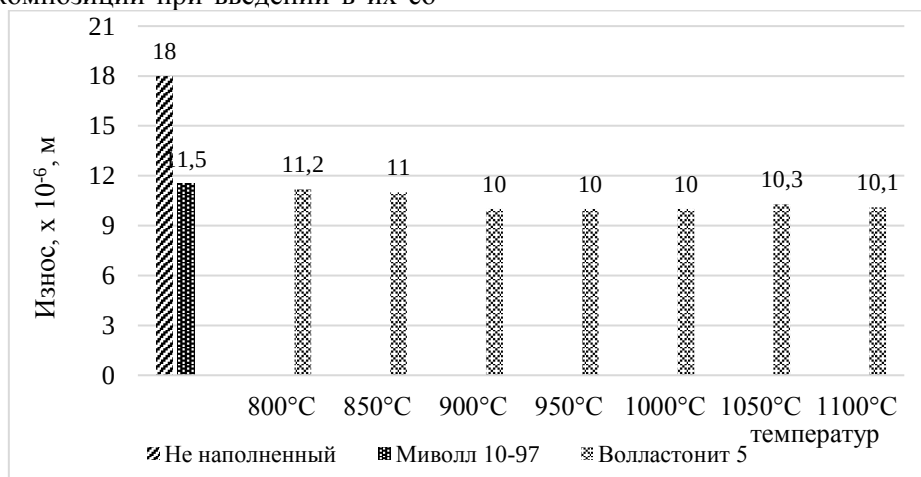


Рис. 3. Износостойкость эпоксидных материалов, модифицированных 10 масс. ч. синтетического волластонита с соотношением $\text{CaO}:\text{SiO}_2 = 1:1$, синтезированного при разных температурах

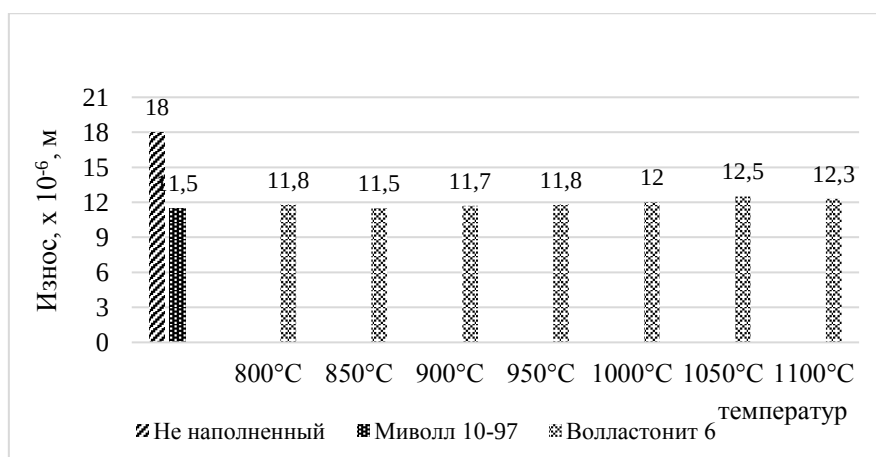


Рис. 4. Износостойкость эпоксидных материалов, модифицированных 10 масс. ч. синтетического волластонита с соотношением $\text{CaO}:\text{SiO}_2$ 1:1,2, синтезированного при разных температурах

Не обнаружена корреляция степени износа наполненных эпоксидных покрытий с размером частиц волластонита (рис. 1 и 2).

В тоже время имеет место определенная взаимосвязь между содержанием β -волластонита в составе синтезированного наполнителя и

износостойкостью наполненных эпоксидных материалов.

Так, при температуре синтеза волластонита выше 950°C износостойкость эпоксидных покрытий с этим наполнителем несколько уменьшается, как и содержание компонента с игольчатой формой частиц (табл. 1 и рис. 2-4).

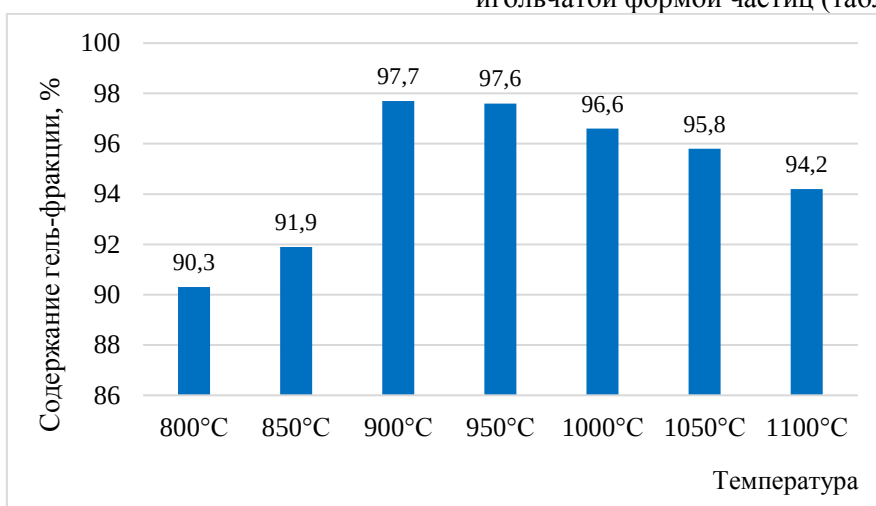


Рис. 5. Содержание гель-фракции эпоксидных композиций, наполненных 10 масс. ч. синтетического волластонита с соотношением $\text{CaO}:\text{SiO}_2$ 1,2:1, полученного при разных температурах

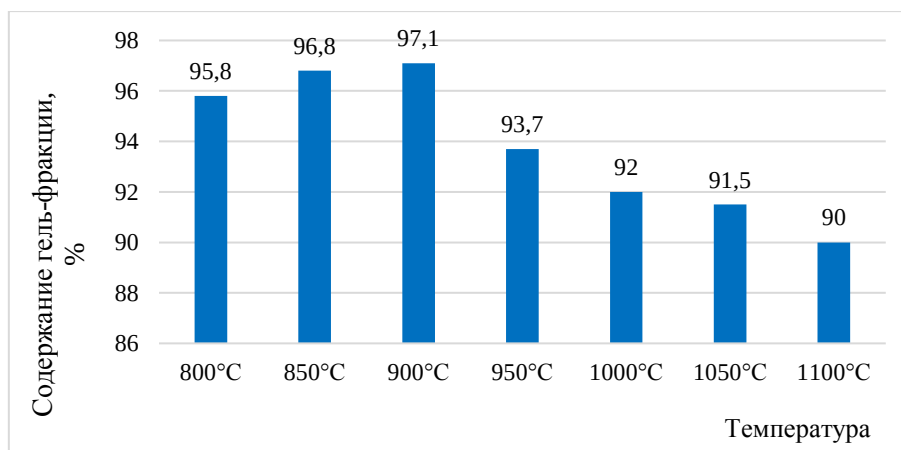


Рис. 6. Содержание гель-фракции эпоксидных композиций, наполненных 10 мас. ч. синтетического волластонита с соотношением $\text{CaO}:\text{SiO}_2$ 1:1, полученного при разных температурах

Причем, зависимость содержания гель-фракции наполненных синтетическим волластонитом композиций от структуры наполнителя больше, чем в случае степени их износа.

Количество β -волластонита в составе синтезированного наполнителя влияет и на содержание гель-фракции наполненной эпоксидной композиции (рис. 5 и 6). В

зависимости от соотношения оксидов кальция и кремния этот показатель, характеризующий плотность сетчатой структуры материалов, выше при температуре получения волластонита 850–950 °С.

Таким образом, содержание гель-фракции в наполненных синтетическим волластонитом эпоксидных материалах существенно зависит от фазового состава наполнителя.

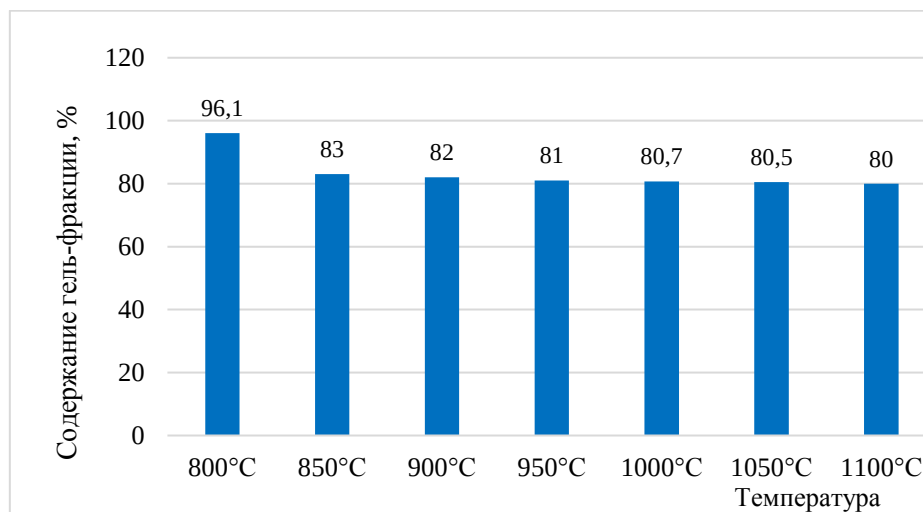


Рис. 7. Содержание гель-фракции эпоксидных композиций, наполненных 10 мас. ч. синтетического волластонита с соотношением $\text{CaO}:\text{SiO}_2$ 1:1,2, полученного при разных температурах

Заключение. Наибольший рост износостойкости эпоксидных материалов достигается при наполнении синтетическим волластонитом, полученным при соотношении оксида кальция и диоксида кремния из рисовой шелухи 1:1 и температурах синтеза 850–950 °С.

Количество β -волластонита в фазовом составе синтезированного наполнителя влияет на содержание гель-фракции наполненных эпоксидных композиций и износостойкость покрытий на их основе.

Таким образом, эпоксидные материалы, наполненные 10 масс. ч., как природного волластонита марки Миволл 10–97, так и синтетического силиката кальция на основе золы рисовой шелухи, полученного при оптимальных соотношениях исходных компонентов и температурах синтеза, эффективно и экономично использовать в качестве износостойких покрытий [15].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ciullo P.A., Robinson S. Wollastonite - versatile functional filler // *Paint and Coatings Industry*. 2009. № 11. Pp. 50.
2. Готлиб Е.М., Ильичева Е.С., Соколова А.Г. Волластонит как эффективный наполнитель композиционных материалов: учеб. Пособие. М.: 2013. 87 с.

3. Балкевич В.Л., Перес Ф.С., Когос А.Ю. и др. Синтез волластонита из природной карбонатно-кремнеземистой композиции // *Стекло и керамика*. 2005. № 1. С. 20–21.

4. Гладун В.Д., Акатьева Л.В., Андреева Н.Н., Холькин А.И. Получение и применение синтетического волластонита из природного и техногенного сырья // *Химическая технология*. 2004. № 9. С. 4–11.

5. Sarangi M.S., Bhattacharyya, Beher R.C. (2009). Effect of temperature on morphology and phase transformations of nanocrystalline silica obtained from rice husk. *Phase Transitions: A Multinational Journal*, Vol. 82. № 5. 2011. Pp. 377–386.

6. Kumar S., Sangwan P., Dhankhar R. Mor V., Bidra S Utilization of Rice Husk and Their Ash // *A Review Res. J. Chem. Env. Sci.*, Vol. 1. № 5. 2013. Pp.126–129.

7. Ghosh, R., Bhattacharjee S. A review study on precipitated silica and activated carbon from rice husk // *Journal of Chemical Engineering and Process Technology*. 2013. Vol. 4. Iss. 4. Pp. 156–162.

8. Коробщикова Т.С., Орлова Н.А. Исследование гранулометрического состава волластонита Синюхинского месторождения и его влияния на свойства наполненных полимерных композиций // *Лакокрасочные материалы и их применение*. 2010. № 5. С. 26–29.

9. Hamisah Ismail, Roslinda Shamsudin, Muhammad Azmi, Abdul Hamid and Azman Jalar Synthesis and Characterization of Nano-Wollastonite from Rice Husk Ash and Limestone // Materials Science Forum Vol. 756. 2013. Pp 43–47.

10. Yazdani H., Rezaie R., Ghassai H. Investigation of hydrothermal synthesis of wollastonite using silica and nano silica at different pressures // J. Ceram. Process. Res. Vol. 11. 2010. Pp. 348–353.

11. Grellmann W., Seidler S. Deformation and Fracture Behaviour of Polymers // Springer-Verlag Berlin Heidelberg. 2001. Pp. 405–418.

12. Терентьев В. Ф. Триботехническое материаловедение // Красноярск: Материаловедение, 2003. 103 с.

13. Готлиб Е.М., Ха Т.Н.Ф., Хасанова А.Р., Галимов Э.Р. Сравнение модифицирующего действия в эпоксидных полимерах природного и синтетического волластонита // Вестник Томского государственного университета. Химия. 2019. № 13. С. 13–19.

14. Mohan T.P., Ramesh Kumar M., Velnrirugan R. Mechanical and vibration characteristics of epoxy-clay nanocomposites // Journal of materials science. 2006. Vol. 41. Pp. 5951 – 5925.

15. Tverdov I., Gotlib E., Ha T.N.P., Sokolova A. and Islamova G. The impact of crystallite size of naturally occurring and synthetic wollastonite on its modifying effect in epoxy coatings // Proceedings of the XXIII International Scientific Conference FORM 2020, the journal IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. 2020. Pp. 869.

Информация об авторах

Готлиб Елена Михайловна, доктор технических наук, профессор кафедры технологии синтетического каучука. E-mail: egotlib@yandex.ru. Казанский национальный исследовательский технологический университет. Россия, Республика Татарстан, 420015, Казань, ул. Карла Маркса, д. 68.

Ха Тхи Нья Фыонг, аспирант кафедры технологии синтетического каучука. E-mail: phuonghtn@vui.edu.vn. Казанский национальный исследовательский технологический университет. Россия, Республика Татарстан, 420015, Казань, ул. Карла Маркса, д. 68.

Гимранова Альмира Рамазановна, ассистент кафедры материаловедения, сварки и производственной безопасности. E-mail: miracle543543@mail.ru. Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева. Россия, Республика Татарстан, 420011, Казань, ул. Карла Маркса, д. 10.

Галимов Энгель Рафикович, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой материаловедения, сварки и производственной безопасности. E-mail: kstu-material@mail.ru. Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева. Россия, Республика Татарстан, 420011, Казань, ул. Карла Маркса, д. 10.

Do Huyen Trang, Faculty of Chemical Technology – Environment. E-mail: huyentrangpt49@gmail.com. Viet Tri University of Industry. Vietnam, Phu Tho, Lam Thao, Tien Kien.

Поступила 20.11.2020

© Готлиб Е.М., Ха Т.Н.Ф., Гимранова А.Р., Галимов Э.Р., Do Huyen Trang, 2021

^{1,*}Gotlib E.M., ^{1,2}Ha T.N.P., ³Gimranova A.R., ³Galimov E.R., ²Do Huyen Trang

¹Kazan National Research Technological University

²Viet Tri University of Industry

³Kazan National Research Technological University named after A.N. Tupolev

*Email: egotlib@yandex.ru

WEAR RESISTANCE OF EPOXY COATINGS FILLED WITH SYNTHETIC WOLLASTONITE BASED ON RICE HUSK

Abstract. The extraction of natural wollastonite in the world is limited, so it is relevant to synthesize it on the basis of available calcium and silicon-containing raw materials, and it is promising to use rice husks as a source of silicon dioxide, as a waste of rice processing. Due to the needle shape of the particles, natural wollastonite increases the wear resistance of epoxy coatings, which arouses interest to study the influence of the phase composition and properties of synthetic wollastonite on this property. The calcium silicate synthesized by authors contains β -wollastonite, which is the target component. Its maximum content is achieved at a synthesis temperature not higher than 950 °C, approximately at the level of natural Mivall 10–97. Larnite is found as an impurity in the composition of synthetic wollastonite, it is an island silicate with a chain structure

and therefore cannot provide such a modifying effect as fillers with anisodiametric particle shape. The nature of the particle size distribution curves of both natural and synthetic wollastonite has two maxima, regardless of the filler synthesis temperature, with the exception of calcium silicate obtained at 900 °C, the particle distribution is narrower than in synthesized fillers, and they are smaller. The wear resistance of epoxy compositions, when filled with both natural and synthetic wollastonite, increases. The greatest increase in this indicator is achieved when using synthetic wollastonite, obtained at a ratio of calcium oxide and silicon dioxide 1: 1 and temperatures of 900-1000 °C. Thus, epoxy materials filled with both natural and synthetic wollastonite obtained at optimal ratios of the initial components and synthesis temperatures can be effectively and economically used as wear-resistant coatings.

Keywords: wear resistance, epoxy polymers, synthetic wollastonite, phase composition, particle size distribution.

REFERENCES

1. Ciullo P.A., Robinson S. Wollastonite - versatile functional filler/ Paint and Coatings Industry. 2009. No. 11. Pp. 50.
2. Gotlib E.M., Ilyicheva E.S., Sokolova A.G. Wollastonite as an effective filler for composite materials: textbook [Vollastonit kak effektivnyy napolnitel' kompozitsionnykh materialov: uchebnyy]. Benefit. M: 2013. 87 p. (rus)
3. Balkevich V.L., Peres F.S., Kogos A.Yu. et al. Synthesis of wollastonite from natural carbonate-siliceous composition [Sintez vollastonita iz prirodnogo karbonatno-kremnezemistoy kompozitsii]. Glass and ceramics. 2005. No. 1. Pp. 20–21. (rus)
4. Gladun V.D., Akateva L.V., Andreeva N.N., Kholkin A.I. Production and application of synthetic wollastonite from natural and technogenic raw materials [Poluchenie i primeneniye sinteticheskogo vollastonita iz prirodnogo i tekhnogennogo syr'ya]. Chemical technology. 2004. No. 9. Pp. 4–11. (rus)
5. Sarangi M. S, Bhattacharyya, Beher R. C. (2009). Effect of temperature on morphology and phase transformations of nanocrystalline silica obtained from rice husk. Phase Transitions: A Multinational Journal. 2011. Vol. 82. No. 5. Pp. 377–386.
6. Kumar S., Sangwan P., Dhankhar R. Mor V., Bidra S Utilization of Rice Husk and Their Ash. A Review Res. J. Chem. Env. Sci. 2013. Vol. 1. No. 5. Pp.126–129.
7. Ghosh, R., Bhattacharjee S. A review study on precipitated silica and activated carbon from rice husk. Journal of Chemical Engineering and Process Technology. 2013. Vol. 4. Iss. 4. Pp. 156–162.
8. Korobchikova T.S., Orlova N.A. Investigation of the granulometric composition of wollastonite of the Sinyukhinsky deposit and its effect on the properties of filled polymer compositions [Issledovaniye granulometricheskogo sostava vollastonita Sinyukhinskogo mestorozhdeniya i yego vliyaniya na svoystva napolnennykh polimernykh kompozitsiy]. Paints and varnishes and their application. 2010. No. 5. Pp. 26–29. (rus)
9. Hamisah Ismail, Roslinda Shamsudin, Muhammad Azmi, Abdul Hamid and Azman Jalar Synthesis and Characterization of Nano-Wollastonite from Rice Husk Ash and Limestone. Materials Science Forum. 2013. Vol. 756. Pp 43–47.
10. Yazdani H., Rezaie R., Ghassai H. Investigation of hydrothermal synthesis of wollastonite using silica and nano silica at different pressures. J. Ceram. Process. Res. 2010. Vol. 11. Pp. 348–353.
11. Grellmann W., Seidler S. Deformation and Fracture Behaviour of Polymers. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. 2001. Pp. 405–418.
12. Terentyev V.F. Tribotechnical Materials Science [Tribotekhnicheskoye materialovedeniye]. Krasnoyarsk: Materials Science. 2003. 103 p. (rus)
13. Gotlib E.M., Ha T.N.P., Khasanova A.R., Galimov E.R. Comparison of modifying action in epoxy polymers of natural and synthetic wollastonite [Sravneniye modifitsiruyushchego deystviya v epoksidnykh polimerakh prirodnogo i sinteticheskogo vollastonita]. Bulletin of the Tomsk State University. Chemistry. 2019. No. 13. Pp. 13–19. (rus)
14. Mohan T.P., Ramesh Kumar M., Velnrirugan R. Mechanical and vibration characteristics of epoxy-clay nanocomposites. Journal of materials science. 2006. Vol. 41. Pp. 5951–5925.
15. Tverdob I., Gotlib E., Ha T.N.P., Sokolova A., Islamova G. The impact of crystallite size of naturally occurring and synthetic wollastonite on its modifying effect in epoxy coatings. Proceedings of the XXIII International Scientific Conference FORM 2020, the journal IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. 2020. Pp. 869.

Information about the authors

Gotlib, Elena M. DSc, Professor. E-mail: egotlib@yandex.ru. Kazan National Research Technological University. Russia, Republic of Tatarstan, 420015, Kazan, st. Karl Marx, 68.

Ha Thi Nha Phuong PhD Student, Department of Synthetic Rubber Technology. E-mail: phuonghtn@vui.edu.vn. Kazan National Research Technological University. Russia, Republic of Tatarstan, 420015, Kazan, st. Karl Marx, 68.

Gimranova, Almira R. Assistant. E-mail: miracle543543@mail.ru. Kazan National Research Technological University named after A.N. Tupolev. Russia, Republic of Tatarstan, 420011, Kazan, st. Karl Marx, 10.

Galimov, Engel R. DSc, Professor. E-mail: kstu-material@mail.ru. Kazan National Research Technological University named after A.N. Tupolev. Russia, Republic of Tatarstan, 420011, Kazan, st. Karl Marx, 10.

Do Huyen Trang. Faculty of Chemical Technology – Environment. E-mail: huyentrangpt49@gmail.com. Viet Tri University of Industry. Vietnam, Phu Tho, Lam Thao, Tien Kien.

Received 20.11.2020

Для цитирования:

Готлиб Е.М., Ха Т.Н.Ф., Гимранова А.Р., Галимов Э.Р., До Хуен Trang. Износостойкость эпоксидных покрытий, наполненных синтетическим волластонитом на основе рисовой шелухи // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2021. № 1. С. 66–73. DOI: 10.34031/2071-7318-2021-6-1-66-73

For citation:

Gotlib E.M., Ha T.N.P., Gimranova A.R., Galimov E.R., Do Huyen Trang. Wear resistance of epoxy coatings filled with synthetic wollastonite based on rice husk. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2021. No. 1. Pp. 66–73. DOI: 10.34031/2071-7318-2021-6-1-66-73

DOI: 10.34031/2071-7318-2021-6-1-74-81

**Морева И.Ю., Вареникова Т.А., *Кириллова Н.К., Дороганов В.А.,
Лебедев М.С., Евтушенко Е.И., Шакурова Н.В.**

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова
E-mail: kirillova_nk@edu.bstu.ru

К ВОЗМОЖНОСТИ ТРЕХМЕРНОЙ ПЕЧАТИ СИЛИКАТНЫМИ МАССАМИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КЕРАМИЧЕСКИХ И ГИДРАТАЦИОННЫХ СВЯЗУЮЩИХ

Аннотация. Технологии 3D-печати появились достаточно давно и успешно применяются в ряде производств. Так, без их использования уже практически не обходится деятельность многих передовых компаний по созданию макетов, моделей и прототипов узлов, агрегатов, изделий и т.д. На очереди технологии серийного производства, обладающие высокой производительностью в сочетании с низкой себестоимостью, сопоставимой с традиционными способами изготовления изделий. Производство различных изделий из силикатных масс аддитивным способом серьезно сдерживается рядом проблем, обусловленными спецификой самого материала. Одна из главных - достижение высоких физико-механических характеристик возможно только после гидратации (для цементов) или термической обработки (керамические массы) изделия. Значительное влияние оказывает способ изготовления изделия, наиболее удобным и наименее энергозатратным способом (в сравнении с порошковыми способами 3D-печати с использованием лазерного спекания) представляется послойное литье шликером или экструзия пластической массой, однако и здесь есть нерешенные проблемы. В данной работе освещены ключевые проблемы применения аддитивного способа производства конструкционных изделий на керамических и гидратационных связках с использованием пластичных и жестких масс в сочетании с вибрационными воздействиями.

Ключевые слова: трехмерная печать, аддитивный способ производства, конструкционные изделия, керамические связующие (глина), гидратационные вяжущие (портландцемент), жесткие массы.

Введение. В настоящее время создание современных конструкционных изделий различного назначения серьезно сдерживается развитием потенциала традиционных технологий. Привычные способы производства зачастую не могут обеспечить сочетания высоких физико-механических свойств (термостойкость, легкость, прочность) со сложными геометрическими конфигурациями. Так, керамические материалы сложной формы востребованы в машиностроении, в конструкциях газотурбинных двигателей, в медицине для создания ортопедических изделий, имплантов, в химической промышленности для получения коррозионно-стойкой огнеупорной посуды, тиглей, элементов котлов и реакторов, наконец, в производстве бытовых и декоративных керамических изделий. Актуальными являются исследования с использованием гидратационных вяжущих. Это могут быть портландцементные растворы и бетоны, а также огнеупорные материалы на глиноземистых и высокоглиноземистых цементах. Наиболее перспективным способом производства в этом отношении безусловно является трехмерная печать, однако существует ряд барьеров, препятствующих развитию производства изделий аддитивным способом [1].

Глобально аддитивные процессы можно разделить на два типа:

1. Одношаговые процессы, в которых изделие или его часть производится единичной операцией, формирование нужных геометрических и физико-механических параметров материала происходит сразу;

2. Так называемые «непрямые» процессы, которые включают две и более операции для получения изделия заданной формы и свойств.

Производство керамики аддитивным способом в абсолютном большинстве случаев относится ко второму типу процессов и основано на использовании различных связующих для консолидации частиц керамического порошка. Разнообразные технологические приемы позволяют получать широкий спектр керамических изделий, однако всегда требуют энергозатратного этапа по отжигу связующего и, соответственно, не относятся к быстрым способам печати [2].

Достижение высоких физико-химических свойств керамики в значительной степени зависит от микроструктуры изделия, которая формируется и изменяется на каждой стадии технологического цикла от подготовки сырья до ключевого процесса – спекания. Формование керамических деталей методами быстрого прототипирования по первому типу процессов имеет существенные ограничения. Тонкие керамические порошки, используемые в аддитивных процессах, склонны к агломерации и накоплению электростатического заряда, вследствие чего снижается плотность упаковки частиц. Пористость изделия

может увеличиваться и на следующей стадии при удалении связующего. Применение лазерных технологий спекания (плавления) порошкообразных материалов при трехмерной печати керамики заведомо не обеспечивает оптимизацию микроструктуры и фазового состава готового изделия. Высокие градиенты нагрева создают существенные напряжения в структуре, которые возможно снять только через дополнительный отжиг, а кратковременное воздействие лазерного излучения не может обеспечить полноценное формирование жидкой фазы [3].

Единственным одношаговым способом 3D-печати керамики является метод, в котором порошок наносится послойно, и поверхность каждого слоя расплавляется тепловой энергией (powder bed fusion - синтез на подложке), разновидностью являются селективное лазерное плавление (SLM – Selective Laser Melting) и селективное лазерное спекание (SLS – Selective Laser Sintering). Эти способы являются более быстрыми и эффективными в сравнении с непрямыми, однако пока не могут обеспечить необходимый широкий ассортимент изделий. Другой существенной проблемой при использовании этих методов является растрескивание изделий из-за термического шока от лазерного излучения. Особенности процессов лазерного спекания керамики раскрыты в работе [4, 5].

Пористость и низкая плотность изделий является общей проблемой для всех аддитивных процессов, и может быть решена оптимизацией технологических параметров непосредственно при формировании изделий, или дополнительными операциями после [6].

В традиционных способах получения керамических материалов плотность готового изделия во многом определяется плотностью полуфабриката, поэтому разработка технологических приемов, позволяющих формировать плотные слои и обеспечивать их консолидацию, остается актуальной задачей во всех сферах аддитивного производства.

В 2002 г. немецкими учеными был запатентован метод, сочетающий литьевые технологии и лазерное спекание, который известен как Layerwise Slurry Deposition – LSD (послойное шликерное осаждение). В работах [7, 8] методом LSD получены образцы фарфора, литиевых стекол, стеклокерамики с высокими физико-механическими свойствами. Техника стереолитографии основана на фотополимеризации жидких смол, наполненных керамическими частицами (до 40-60 % по объему) [9]. Такой способ позволяет получать полуфабрикат с высокой истинной плотностью ($2,56 \text{ г/см}^3$) и конечной плотностью после

спекания 99 % (данные приведены для образцов из порошка Al_2O_3) [10].

Очень мало работ посвящено развитию трехмерной печати с использованием керамических шликеров на водной основе [11]. В этом случае могут быть использованы классические приемы приготовления суспензий с применением порошков с размерами частиц от 100 нм до 100 мкм. Важным преимуществом является возможность контроля межчастичного взаимодействия, а подвижность частиц в шликере определяет их свободное размещение с предпосылкой получения оптимальной структуры.

Можно уверенно говорить о том, что с точки зрения формирования оптимальной микроструктуры полуфабриката в традиционном производстве приоритетными являются «влажные» способы формования – литье, экструзия. Однако при использовании водных керамических шликеров и масс в 3D-принтерах необходимо достижение таких реотехнологических характеристик, которые будут обеспечивать высокую степень пластичности, способность к формообразованию даже сложных изделий, и одновременно высокую пластическую прочность и малоусадочность изделий. Немаловажным при этом является процесс сцепления слоев между собой. Наиболее удобным и наименее энергозатратным способом представляется послойное литье шликером или экструзия пластической массой. Однако требуется детальное изучение межчастичного взаимодействия с учетом влажности, плотности суспензии, скорости движения печатающего устройства и др. При использовании керамических порошков и жестких масс эффективными могут быть технологические приемы, связанные с вибрационным воздействием. Эффективным может стать использование безобжиговых технологий получения керамических (огнеупорных) изделий.

Еще одно перспективное направление аддитивных технологий – организация компьютеризированного изготовления конструкционных изделий, а также строительного процесса с помощью 3D-печати. Так, крупнейший игрок на рынке строительной печати Countour Crafting Corp применяют растворы на основе сульфатостойкого цемента и песка с использованием пластификаторов на поликарбоксилатной основе и полипропиленовых фибровых волокон [12].

Из российских компаний, занимающихся строительной печатью, наиболее известными являются ApisCor и АМТ-СПЕЦАВИА. Принтер компании ApisCor представляет собой безрамную моноопорную конструкцию с печатающей головкой кранового типа, что обеспечивает простоту монтажа. Размеры печати ограничены и

разработчики представили минимальные требования к ним: класс по прочности на сжатие бетона – не менее B20, марка по морозостойкости – не менее F200, марка по водонепроницаемости – не менее W6, марка по средней плотности – не ниже D2000 [13]. В г. Ступино ApisCor [14] напечатали дом площадью 38 м² в феврале 2017 г, а в октябре того же года АМТ-СПЕЦАВИА представила жилой дом, изготовленный методом аддитивной печати, по сборочно-модульной технологии. Компания применяет как специализированные цементные смеси, так и традиционный мелкозернистый бетон марки М300. Программное обеспечение и строительный принтер являются универсальными в применении [15].

Самым высоким зданием, построенным по аддитивным технологиям, считается 5-этажное здание, построенное китайской компанией Shanghai WinSun Decoration Design Engineering Co [16]. Также в г. Дубай представлен офис будущего, построенный по аддитивным технологиям WinSun. На сегодняшний день в сфере аддитивной печати зданий самой передовой является система D-Shape, которая использует стереолитографический печатный процесс, который позволяет создать полноразмерные объекты из песка [17].

Точное соблюдение технологии при печати непосредственно на строительной площадке – довольно сложная задача. В связи с этим большее развитие получили технологии, в которых возводимый объект разбивается на элементы-модули, печатающиеся на организованном стационарном производстве. Конечная сборка элементов проводится на строительной площадке.

Приведенные выше примеры различных отечественных и зарубежных технологий 3D-печати в строительстве говорят о высокой заинтересованности ученых всех стран в развитии данных отраслей. Открытыми до сих пор остаются вопросы высокой себестоимости изделий при низкой производительности оборудования. Наряду с отсутствием нормативной и законодательной базы для конструктивных элементов и строительства зданий, актуальными являются исследования и технологические разработки, направленные на решение задач по повышению подвижности строительных смесей (для их подачи на расстоянии до нескольких сотен метров и обеспечения адгезии между слоями), повышению скорости твердения массы сразу после формовки, улучшению технологичности процесса, повышению качества изделий и т.д. [18].

Материалы и методы. В качестве сырьевых материалов в экспериментальной части керамических масс использована глина Латненского месторождения (ЛТ-1) (Воронежская область). В

соответствии с ГОСТ 21216-2014 «Сырье глинистое. Методы испытаний» были определены пластические и формовочные свойства, коэффициент чувствительности к сушке, воздушная усадка глины. Физико-механические свойства определены согласно ГОСТ 7025-91 «Методы определения водопоглощения, плотности и контроля морозостойкости», ГОСТ 8462-85 «Материалы стеновые. Методы определения пределов прочности при сжатии и изгибе».

В качестве сырьевых материалов бетонных масс использованы бетоны на мелкозернистых (заполнитель – песок) и тяжелых (заполнитель – песок или отсев дробления щебня и щебень – с размером до 10 мм). Портландцемент использовался марки ПЦ 500-Д0. Физико-механические характеристики определены согласно ГОСТ 10180-2012 «Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам», ГОСТ 12730.1-78 «Бетоны. Методы определения плотности».

Основная часть. Целью данной работы было изучение возможности использования пластичных и жестких масс на керамических и гидратационных связующих (глина, портландцемент, высокоглиноземистый цемент) с использованием вибрационных воздействий.

Керамические связующие. На первом этапе работы были изучены массы, обладающие типично тиксотропным характером течения и при определенной влажности – высокой пластической прочностью. Принципиальная возможность получения керамических изделий путем 3D-печати осуществлялась с использованием глины Латненского месторождения (ЛТ-1), которая относится к огнеупорным, среднепластичным глинам (число пластичности – 15), с коэффициентом чувствительности к сушке – 1,1 и воздушной линейной усадкой – 5,8 %. Формовочная влажность этой глины около 18 %, поэтому массу для транспортировки к точке формования готовили в грануляторе, с подбором оптимальной формовочной влажности полужестких масс в интервале от 12 до 18 %. Формование осуществлялось с использованием вибрационных воздействий по поверхности (виброскорость 11–100 м/с), создаваемых вибратором мощностью около 20 Вт и массой 2,6 кг.

В ходе выполненного эксперимента установлено, что образцы сырца на естественных керамических связующих, полученные аддитивным способом при влажности массы около 16 %, практически не уступают по основным физико-механическим свойствам контрольным, сформованным на прессе. Результаты представлены в таблице 1.

Образцы, полученные по 3D-технологии, после обжига имеют плотную, спеченную структуру, однако в некоторых местах имеет место расслоение, связанное, вероятно, с недостаточным закреплением слоев между собой во время

формования. Однако, дополнительные мероприятия по упрочнению контактного слоя путем разрыхления или создания заданного рельефа на свежееотформованном слое способны решить эту проблему.

Таблица 1

Физико-механические характеристики образцов, полученных различными способами

Характеристика	Контроль (пластическое формование) (Wмассы=16 %)	Образцы, полученные аддитивным способом (Wмассы=16 %)
Плотность после сушки, г/см ³	2,03	1,96
Воздушная усадка, %	5,8	5,3
Прочность сырца, МПа	5	5
Предел прочности при сжатии после термической обработки, МПа	20	20

Гидратационные связующие. Исследования проводились на мелкозернистых (заполнитель – песок) и тяжелых (заполнитель – песок или отсев дробления щебня и щебень - с размером до 10 мм) бетонах. После послойной печати полученный композит помещался в условия для нормального твердения – температура 20±2 °С и относительная влажность окружающего воздуха не менее 90 %. По истечении 28 суток образцы бетона (рис. 1) распиливались на стандартные балочки 4×4×16 см (с определенной погрешностью), для которых определялись объем, средняя

плотность и прочностные показатели на изгиб и сжатие. Разработанные составы и свойства бетонных образцов представлены в таблице 2.

Пригодность состава для трехмерной печати оценивали по двум ключевым факторам: 1 – Фактор связности, т.е. способность растекаться без нарушения сплошности, что придает массе в первую очередь цементное тесто; 2 – Фактор пластической прочности для дальнейшей печати.

Таблица 2

Составы и физико-механические характеристики бетонных образцов, полученных по технологии трехмерной печати

№ состава	1	2	3	4	5	6
Портландцемент	50	50	30	30	20	25
Песок	50	50	–	–	–	25
Отсев дробления	–	–	30	30	40	–
Щебень	–	–	40	40	40	50
Вода*	17,5	15	9	10,5	7,5	9
Средняя плотность, кг/м ³	2166	2180	2185	2317	2161	2445
Пористость, %	16,3	15,3	18,1	12,2	18,5	7,4
Прочность (марка) на растяжение при из- гибе, МПа	5,2 (В _{тб} 4,0)	7,24 (В _{тб} 5,6)	4,3 (В _{тб} 3,2)	5,6 (В _{тб} 4,4)	3,68 (В _{тб} 2,8)	5,86 (В _{тб} 4,4)
Прочность (марка) на сжатие, МПа	27,5 (М250)	33,62 (М350)	22,88 (М200)	34,36 (М350)	19,74 (М200)	36,40 (М350)

*Содержание воды сверх 100 % твердой фазы

Результаты испытаний свидетельствуют о том, что по технологическим характеристикам (сохранение формы и необходимой пластической прочности изделия при послойной печати) и физико-механическим свойствам наиболее эффективными являются составы 2, 4 и 6. Достаточную

для сохранения формы и нанесения последующих слоев прочность удалось получить только при 50 % содержании заполнителя размером до 10 мм и общей влажности массы до 10 %.

Дальнейшими исследованиями будут разработаны и другие составы с различным содержанием компонентов.



Рис. 1. Образец бетона, полученный по технологии трехмерной печати

Выводы. Таким образом, проведенные исследования показали принципиальную возможность прямого использования жестких печатных масс на керамических и гидратационных связующих. Установлено, что в зависимости от дисперсного состава могут применяться составы с влажностью 9–18 %, обеспечивающей их удобоукладываемость при вибрационных воздействиях и необходимую пластическую прочность для непрерывного процесса печати. В результате выполненных работ методом трехмерной печати получены образцы керамических и бетонных материалов. Показано, что аддитивный способ прямой печати силикатных изделий хотя и имеет свои недостатки, но при использовании некоторых технологических приемов и грамотном подборе технологических характеристик массы позволяет получать образцы сложной формы с требуемыми характеристиками. При этом общая производительность 3D-печати жесткими массами может быть многократно превышена в сравнении с литьевыми составами.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Maurath J., Willenbacher N. 3D printing of open-porous cellular ceramics with high specific strength. *Journal European Ceramic Society*. 2017. Vol. 37. Issue. 15. Pp. 4833–4842.
2. Minas C., Carnelli D., Tervoort E., Studart Ar. 3D printing of emulsions and foams into hierarchical porous ceramics. *Advanced Materials*. 2016. Vol. 28. Issue. 45. Pp. 9993–9999. DOI: 10.1002/adma.201603390.
3. Ngo T.D., Kashani A., Imbalzano G., Nguyen K.T.Q., Hui D. Additive manufacturing (3D printing): A review of materials, methods, applications and challenges. *Composites Part B: Engineering*. 2018. Vol. 143. Pp. 172–196. DOI: 10.1016/j.compositesb.2018.02.012.
4. Qian B., Shen Z. Laser sintering of ceramics. *Journal of Asian Ceramic Societies*. 2013. Vol. 1. Issue. 4. Pp. 315–321. DOI:10.1016/j.jascer.2013.08.004.
5. Mühler T., Gomes C.M., Heinrich J., Günster J. Slurry-based additive manufacturing of ceramics *International Journal of Applied Ceramic Technology*. 2015. Vol. 12. Issue. 1. Pp. 18–25. DOI: 10.1111/ijac.12113
6. Deckers J., Vleugels J., Kruth J.-P. Additive manufacturing of ceramics. A review. *Journal of Ceramic Science and Technology*. 2014. Vol. 5. No. 4. Pp. 245–260. DOI: 10.4416/JCST2014-00032.
7. Gähler A., Heinrich J. G., Gunster J. Direct laser sintering of Al_2O_3 – SiO_2 dental ceramic components by layer-wise slurry deposition. *Journal of American Ceramic Societies*. 2006. Vol. 89. Issue. 10. Pp. 3076–3080. DOI: 10.1111/j.1551-2916.2006.01217.
8. Tian X., Muhler T., Gomes C., Gunster J., Heinrich J. G. Feasibility study on rapid prototyping of porcelain products. *Journal of Ceramic Science Technology*. 2011. Vol. 2. No. 4. Pp. 217–225. DOI: 10.4416/JCST2011-00038.
9. Zocca A., Colombo P., Gomes C.M., Gunster J. Additive manufacturing of ceramics: Issues, potentialities and opportunities. *Journal of American Ceramic Societies*. 2015. Vol. 98. Issue. 7. Pp. 1983–2001. DOI: 10.1111/jace.13700
10. Kiriha S. Creation of functional ceramic structure by using stereolithographic 3D printing. *Joining and Welding Research Institute*. 2014. Vol. 43. No. 1. Pp. 5–10.
11. Yen H. C. Experimental studying on development of slurry-layer casting system for additive manufacturing of ceramics. *International Journal Advanced Manufacturing Technology*. 2014. Vol. 77. Pp. 915–925. DOI: 10.1007/s00170-014-6534-8.
12. Maurath J., Willenbacher N. 3D printing of open-porous cellular ceramics with high specific

strength. Journal European Ceramic Society. 2017. Vol. 37. Issue. 15. Pp. 4833–4842.

13. Иноземцев А.С., Королев Е.В., Зыонг Тхань Куй. Анализ существующих технологических решений 3D-печати в строительстве // Вестник МГСУ. 2018. Т. 13. Вып. 7. С. 863–876.

14. Apis Cor. We print buildings [Электронный ресурс]. URL: <https://www.apis-cor.com/> (Дата обращения: 18.02.2020).

15. Максимов Н.М. Аддитивные технологии в строительстве: оборудование и материалы // Аддитивные технологии. 2014. №4. С. 54–62.

16. Winsun. Future of Construction [Электронный ресурс]. URL: <https://futureofconstruction.org/case/winsun/> (Дата обращения: 01.02.2020).

17. Jakupovic A. D-Shape report [Электронный ресурс]. URL: <http://3dprintetbyggeri.dk/pdf/bes%C3%B8gsrapporter/D-Shape.pdf> (Дата обращения: 08.02.2020).

18. Лесовик В.С., Елистраткин М.Ю., Глаголев Е.С., Шаталова С.В., Стариков М.С. Формирование свойств композиций для строительной печати // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2017. №10. С. 6–13. DOI: 10.12737/article_59cd0c57ede8c1.83340178.

Информация об авторах

Морева Ирина Юрьевна, кандидат технических наук, доцент кафедры технологии стекла и керамики. E-mail: moreva_bstu@mail.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Вареникова Татьяна Анатольевна, ведущий инженер кафедры технологии стекла и керамики. E-mail: varenikova.t@mail.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Кириллова Наталья Константиновна, аспирант кафедры технологии стекла и керамики. E-mail: kirillova_nk@edu.bstu.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Дороганов Владимир Анатольевич, кандидат технических наук, доцент кафедры технологии стекла и керамики. E-mail: dva_vadjik1975@mail.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Лебедев Михаил Сергеевич, кандидат технических наук, ведущий инженер центра высоких технологий. E-mail: michaelL1987@yandex.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Евтушенко Евгений Иванович, доктор технических наук, профессор кафедры технологии стекла и керамики. E-mail: eeviv@intbel.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Шакурова Наталия Васильевна, магистрант кафедры технологии стекла и керамики. E-mail: shaknv1978@mail.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Поступила 19.03.2020

© Морева И.Ю., Вареникова Т.А., Кириллова Н.К., Дороганов В.А., Лебедев М.С., Евтушенко Е.И., Шакурова Н.В., 2021

**Moreva I.Y., Varenikova T.A., *Kirillova N.K., Doroganov V.A.,
Lebedev M.S., Evtushenko E.I., Shakurova N.V.**
Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov
*E-mail: kirillova_nk@edu.bstu.ru

THE POSSIBILITY OF THREE-DIMENSIONAL PRINTING WITH SILICATE MASSES USING CERAMIC AND HYDRATION BINDERS

Abstract. The 3D printing technologies have appeared for a long time and are successfully used in a number of industries. The activities of many leading companies in the creation of layouts, models and prototypes of units, assemblies, products are practically not carried out without the use of 3D printing. The following

are batch production technologies with high productivity combined with low cost, comparable to traditional methods of manufacturing products. The production of various products from silicate masses in an additive manner is seriously constrained by a number of issues due to the specifics of the material itself. One of them - achieving high physical and mechanical characteristics is possible only after hydration (for cements) or heat treatment (ceramic masses) of the product. Significant influence is exerted by the method of manufacturing the product. The most convenient and least energy-consuming method (in comparison with the powder 3D printing methods using laser sintering) is layer-by-layer slip casting or plastic extrusion, however, there are some unresolved problems. This paper highlights the key problems of using the additive method of manufacturing structural products on ceramic and hydration bonds using plastic and rigid masses in combination with vibration effects.

Keywords: 3D-printing, additive manufacturing method, structural products, ceramic binders (clay), hydration binders (portland cement), hard masses.

REFERENCES

1. Maurath J., Willenbacher N. 3D printing of open-porous cellular ceramics with high specific strength. *Journal European Ceramic Society*. 2017. Vol. 37. Issue. 15. Pp. 4833–4842.
2. Minas C., Carnelli D., Tervoort E., Studart Ar. 3D printing of emulsions and foams into hierarchical porous ceramics. *Advanced Materials*. 2016. Vol. 28. Issue. 45. Pp. 9993–9999. DOI: 10.1002/adma.201603390.
3. Ngo T.D., Kashani A., Imbalzano G., Nguyen K.T.Q., Hui D. Additive manufacturing (3D printing): A review of materials, methods, applications and challenges. *Composites Part B: Engineering*. 2018. Vol. 143. Pp. 172–196. DOI: 10.1016/j.compositesb.2018.02.012.
4. Qian B., Shen Z. Laser sintering of ceramics. *Journal of Asian Ceramic Societies*. 2013. Vol. 1. Issue. 4. Pp. 315–321. DOI:10.1016/j.jascer.2013.08.004.
5. Mühler T., Gomes C.M., Heinrich J., Günster J. Slurry-based additive manufacturing of ceramics *International Journal of Applied Ceramic Technology*. 2015. Vol. 12. Issue. 1. Pp. 18–25. DOI: 10.1111/ijac.12113
6. Deckers J., Vleugels J., Kruth J.-P. Additive manufacturing of ceramics. A review. *Journal of Ceramic Science and Technology*. 2014. Vol. 5. No. 4. Pp. 245–260. DOI: 10.4416/JCST2014-00032.
7. Gahler A., Heinrich J. G., Gunster J. Direct laser sintering of Al_2O_3 - SiO_2 dental ceramic components by layer-wise slurry deposition. *Journal of American Ceramic Societies*. 2006. Vol. 89. Issue. 10. Pp. 3076–3080. DOI: 10.1111/j.1551-2916.2006.01217.
8. Tian X., Muhler T., Gomes C., Gunster J., Heinrich J. G. Feasibility study on rapid prototyping of porcelain products. *Journal of Ceramic Science Technology*. 2011. Vol. 2. No. 4. Pp. 217–225. DOI: 10.4416/JCST2011-00038.
9. Zocca A., Colombo P., Gomes C.M., Gunster J. Additive manufacturing of ceramics: Issues, potentialities and opportunities. *Journal of American Ceramic Societies*. 2015. Vol. 98. Issue. 7. Pp. 1983–2001. DOI: 10.1111/jace.13700
10. Kiriha S. Creation of functional ceramic structure by using stereolithographic 3D printing. *Joining and Welding Research Institute*. 2014. Vol. 43. No. 1. Pp. 5–10.
11. Yen H. C. Experimental studying on development of slurry-layer casting system for additive manufacturing of ceramics. *International Journal Advanced Manufacturing*
12. Maurath J., Willenbacher N. 3D printing of open-porous cellular ceramics with high specific strength. *Journal European Ceramic Society*. 2017. Vol. 37. Issue. 15. Pp. 4833–4842.
13. Inozemcev A.S., Korolev E.V., Zuong Thanh Qui. Analysis of existing 3D printing technology solutions in construction [Analiz sushchestvuyushchih tekhnologicheskikh reshenij 3D-pechati v stroitel'stve]. *Bulletin of MGSU*. 2018. Vol. 13. No. 7. Pp. 863–876. (rus)
14. Apis Cor. We print buildings. URL: <https://www.apis-cor.com/> (date of treatment: 18.02.2020).
15. Maksimov N.M. Additive technologies in construction: equipment and materials [Additivnye tekhnologii v stroitel'stve: oborudovanie i materialy]. (rus)
16. Winsun. Future of Construction. URL: <https://futureofconstruction.org/case/winsun/> (date of treatment: 01.02.2020).
17. Jakupovic A. D-Shape report. URL: <http://3dprintetbyggeri.dk/pdf/bes%C3%B8gsrapporter/D-Shape.pdf> (date of treatment: 08.02.2020).
18. Lesovik V.S., Elistratkin M.YU., Glagolev E.S., Shatalova S.V., Starikov M.S. Formation of properties of compositions for building printing [Formirovanie svoystv kompozitsij dlya stroitel'noj pechati]. *Bulletin BGTU named after V.G. Shukhov*. 2017. No. 10. Pp. 6–13. DOI: 10.12737/article_59cd0c57ede8c1.83340178. (rus)

Information about the authors

Moreva, Irina Y. PhD, Assistant professor. E-mail: moreva_bstu@mail.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Varenikova, Tat'yana A. Lead engineer. E-mail: varenikova.t@mail.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Kirillova, Nataliya K. Postgraduate student. E-mail: kirillova_nk@edu.bstu.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Doroganov, Vladimir A. PhD, Assistant professor. E-mail: dva_vadjik1975@mail.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Lebedev, Mihail S. PhD. E-mail: michaelL1987@yandex.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Evtushenko, Evgenij I. DSc, Professor. E-mail: eveviv@intbel.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Shakurova, N.V. Master student. E-mail: shaknv1978@mail.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Received 19.03.2020

Для цитирования:

Морева И.Ю., Вареникова Т.А., Кириллова Н.К., Дороганов В.А., Лебедев М.С., Евтушенко Е.И., Шакурова Н.В. К возможности трехмерной печати силикатными массами с использованием керамических и гидратационных связующих // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2021. № 1. С. 74–81. DOI: 10.34031/2071-7318-2021-6-1-74-81

For citation:

Moreva I.Y., Varenikova T.A., Kirillova N.K., Doroganov V.A., Lebedev M.S., Evtushenko E.I., Shakurova N.V. The possibility of three-dimensional printing with silicate masses using ceramic and hydration binders. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2021. No. 1. Pp. 74–81. DOI: 10.34031/2071-7318-2021-6-1-74-81

МАШИНОСТРОЕНИЕ И МАШИНОВЕДЕНИЕ

DOI: 10.34031/2071-7318-2021-6-1-82-94

*Никитина И.П., Поляков А.Н.

Оренбургский государственный университет

*E-mail: innanikitina@list.ru

ОСОБЕННОСТИ ПРОТЕКАНИЯ ТЕПЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ В ДВУСТОРОННИХ ТОРЦЕШЛИФОВАЛЬНЫХ СТАНКАХ

Аннотация. В работе представлен анализ протекания тепловых процессов в несущей системе двустороннего торцешлифовального станка. Для анализа использовались экспериментальные данные по температурам и перемещениям, полученные при работе станка на холостом ходу, и при имитации процесса шлифования с помощью электронагревателей различной мощности. Выполненные исследования показали, что тепловые деформации двусторонних торцешлифовальных станков с дуговой траекторией подачи заготовок происходят в широком диапазоне как по величине, так и по направлению, и могут нарушать основное требование точной работы станка – симметричность условий обработки на обоих торцах заготовки. Из экспериментов была установлена абсолютная величина непараллельности шлифовальных кругов после трех часов работы, которая почти в два раза превысила величину снимаемого припуска. Анализ кинетических изменений деформаций несущей системы станка при работе под тепловой нагрузкой показал, что с ее прогревом взаимное положение кругов постепенно изменяется от состояния «внизу шире» до состояния «внизу уже». Это приводит к самопроизвольному изменению динамической настройки технологической системы и соответствующему изменению точности обработки. Изменения динамической настройки технологической системы с разной интенсивностью продолжаются в течение всего времени работы станка.

Ключевые слова: торцешлифовальные станки, тепловые деформации, избыточные температуры, тепловые перемещения.

Введение. Шлифование имеет большое значение в качестве финишной операции в машиностроительном производстве. Поэтому шлифование и шлифовальные станки сегодня по-прежнему являются актуальной областью научных исследований. Достаточно большой объем исследований охватывает реализацию новых технологий шлифования для гарантированного достижения высокого качества поверхностей колец подшипников и торцов роликов с параметром шероховатости R_a не превышающим 0,04 мкм [1, 2]. Экспериментально было показано, что повышение качества поверхности существенно позволяет увеличить срок службы роликовых подшипников за счет стабилизации во времени значений момента трения [2]. В работе [3] авторами была предложена методика расчета параметров шероховатости, сил шлифования и толщины темного слоя на обработанных поверхностях колец подшипников. Предложенные зависимости учитывали конструкторские и технологические параметры процесса шлифования. Это позволило проводить оптимизацию процесса шлифования с контролем выходных параметров обрабатываемых колец подшипников. Для более точного определения температуры шлифования в зоне об-

работки рассчитывался тепловой поток, передаваемый в заготовку. Расчет толщины темного слоя основан на известном значении температуры 150 °С, при котором начинается фазовое превращение в подшипниковой стали. При этом фазовом превращении образуется поверхностный темный слой на кольцах подшипника. В работе [4] представлена тепловая модель шлифования внутреннего кольца подшипника, реализованная в САЕ-системе Ansys. Разработанная модель, учитывающая конструктивные параметры подшипника и технологические параметры шлифования, позволяет проводить оптимизацию процесса резания. В работе [5] рассмотрен прогрессивный метод ультразвукового врезного шлифования, который обеспечивает более чем на 20 % рост эффективности процесса шлифования, снижение шероховатости более чем на 25 %.

Современная тенденция механообработки – замена процесса шлифования лезвийными методами обработки находит отражение и в производстве подшипниковых компонентов [6, 7]. Представленные в работах [6, 7] результаты исследований твердого точения, примененные при изготовлении внутренних колец подшипника на различных станках: Hembrug Mikroturn-100 [6] и Goodway GLS-2000 [7], – показали возможность

достижения качества обработанной поверхности, сопоставимой со шлифованием. Однако, в работе [6] авторы дополнительно рекомендовали проводить после твердого точения глубокую прокатку, приводящую к упрочнению поверхностного слоя. Эти исследования показали, что пока технология шлифования не может быть однозначно заменена на лезвийную обработку.

Технология шлифования и шлифовальные станки не ограничиваются их использованием в подшипниковой промышленности. Так в работах [8, 9] исследованы тепловые характеристики зубошлифовального и червячно-шлифовального станков. Задача термоупругости для несущей системы зубошлифовального и станины червячно-шлифовального станка были реализованы в САЕ-системе Ansys. Расчетные данные были подтверждены экспериментально. В работах [10, 11] исследованы тепловые процессы глубинного шлифования. В работе [10] представлена тепловая конечно-элементная модель глубинного шлифования, так как основным ограничением этой технологии является термическое повреждение обрабатываемой детали и быстрый износ круга. В работе [11] показаны результаты экспериментальных исследований, полученные с использованием нового станка, реализующего глубинное шлифование. В работе [12] представлена разработанная упрощенная теоретическая модель тепловых деформаций зубошлифовального станка, основанная на решении задачи изгиба для балки. Эффективность модели была подтверждена экспериментально с погрешностью, не превысившей 5 %. В работах [13–17] исследованы тепловые процессы в чашечных кругах, смазочно-охлаждающей жидкости и заготовках, протекающие при шлифовании. Было показано, что знание изменений тепловых потоков и температур в этих компонентах термодинамической системы станка позволяет снизить тепловые напряжения, возникающие в заготовке при шлифовании и тем самым обеспечить качество обрабатываемых поверхностей.

В работе [18] предложена новая конструкция шлифовального круга, оснащенная тепловой трубкой. Приведены результаты экспериментальных исследований, которые доказывают создание охлаждающего эффекта для шлифовального круга и существенного снижения температуры, что позволяет осуществлять шлифование при более высоких скоростях резания без повреждения обрабатываемой поверхности.

В работе [19] представлена модель расчета температурного поля в зоне шлифования, основанная на методе конечных разностей. Разработанная модель генерации тепла позволяет учесть технологические режимы шлифования: подачу,

глубину резания и скорость резания. Было показано, что влияние подачи на температуру шлифования более значительно, чем скорость шлифования и глубина резания.

Таким образом, обзор современных исследований, выполненных для шлифовальных станков за последние пять-семь лет, показал, что одним из важнейших факторов, определяющих точность и качество обработанных поверхностей, являются тепловые процессы в зоне шлифования. Работы, в которых комплексно исследуются тепловые процессы, протекающие в несущей системе шлифовального станка, сегодня встречаются редко. В представленной работе рассмотрены особенности протекания тепловых процессов в двустороннем торцешлифовальном станке, выявленные экспериментально.

Экспериментальное исследование. Эксперименты проводились на станке модели 3А343АДФ2 (1990 год выпуска) с индивидуальным баком охлаждения, характеристика которого приведена в [20]. Температура характерных точек станка измерялась по методике, предложенной в [20], изменение углового положения кругов оценивалось с помощью принципа пневматического упора, по методике, также предложенной в [20]. Контролировались температуры окружающей среды и смазочно-охлаждающей жидкости (СОЖ), выходящей из станка. Температура измерялась в точках, показанных на рис. 1.

Экспериментальное исследование на холостом ходу. Изменения температур узлов станка в зависимости от продолжительности работы станка на холостом ходу показаны на рис. 2 и 3.

Избыточные температуры корпусов (задней и передней стенок) шпиндельных бабок (рис. 2) в точках 5, 6, 15, 16, 8, 9, 18, 19 определялись избыточными температурами пинолей в зоне передних опор шпиндельных узлов, и составляли в диапазоне от 0,8 до 1,5 °С. Избыточные температуры торцов шпиндельных бабок (точки 1, 2, 11, 12) определялись избыточными температурами пинолей в зоне задних опор шпиндельных узлов и выделением тепла от приводных шкивов и электродвигателей. Избыточная температура торцов шпиндельных бабок в точках 1, 2, 11, 12 составила в диапазоне от 1,5 до 2 °С.

Избыточная температура торцов станины определялась выделением тепла от пинолей шпиндельных бабок, приводных шкивов и электродвигателей [20]. Избыточные температуры верхней и нижней частей поверхности торцов станины одинаковы, вследствие того, что к внутренней верхней поверхности каждого торца примыкает множество перегородок, отводящих тепло от торцевой поверхности. В нижней части

поверхности каждого торца станины перегородки отсутствуют, поэтому происходит накопление тепла. Избыточная температура в точках 3, 13, 4, 14 составляла в диапазоне от 0,8 до 1,3 °С (рис. 3). Верхняя часть станины, вблизи ограждения (точки 7, 17, 10, 20), имела избыточную температуру в диапазоне от 0,5 до 0,9 °С, определяемая избыточными температурами пинолей в

зоне задних опор шпиндельных узлов и СОЖ. Наименьшую избыточную температуру имела нижняя часть станины (точка 23) – 0,1 °С, как наиболее удаленная от источников тепловыделения. Избыточная температура под кожухами шкивов (точки 21, 22) составила 3,9 °С (рис. 4), СОЖ – 4 °С (рис. 5).

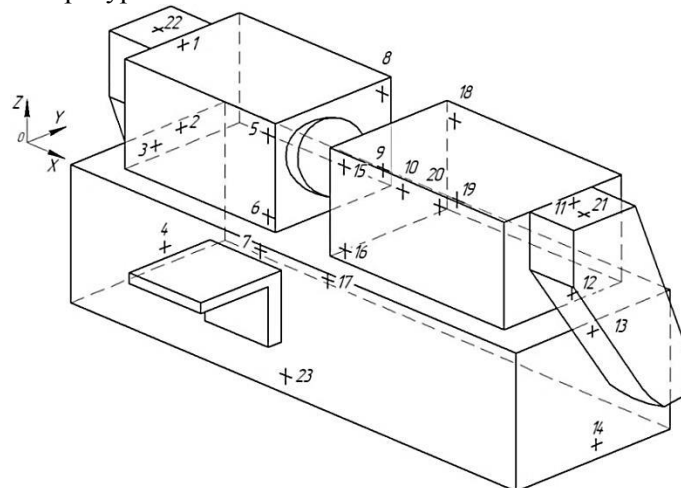


Рис. 1. Схема распределения контрольных точек измерения температур (редуктор с диском подачи не показаны)

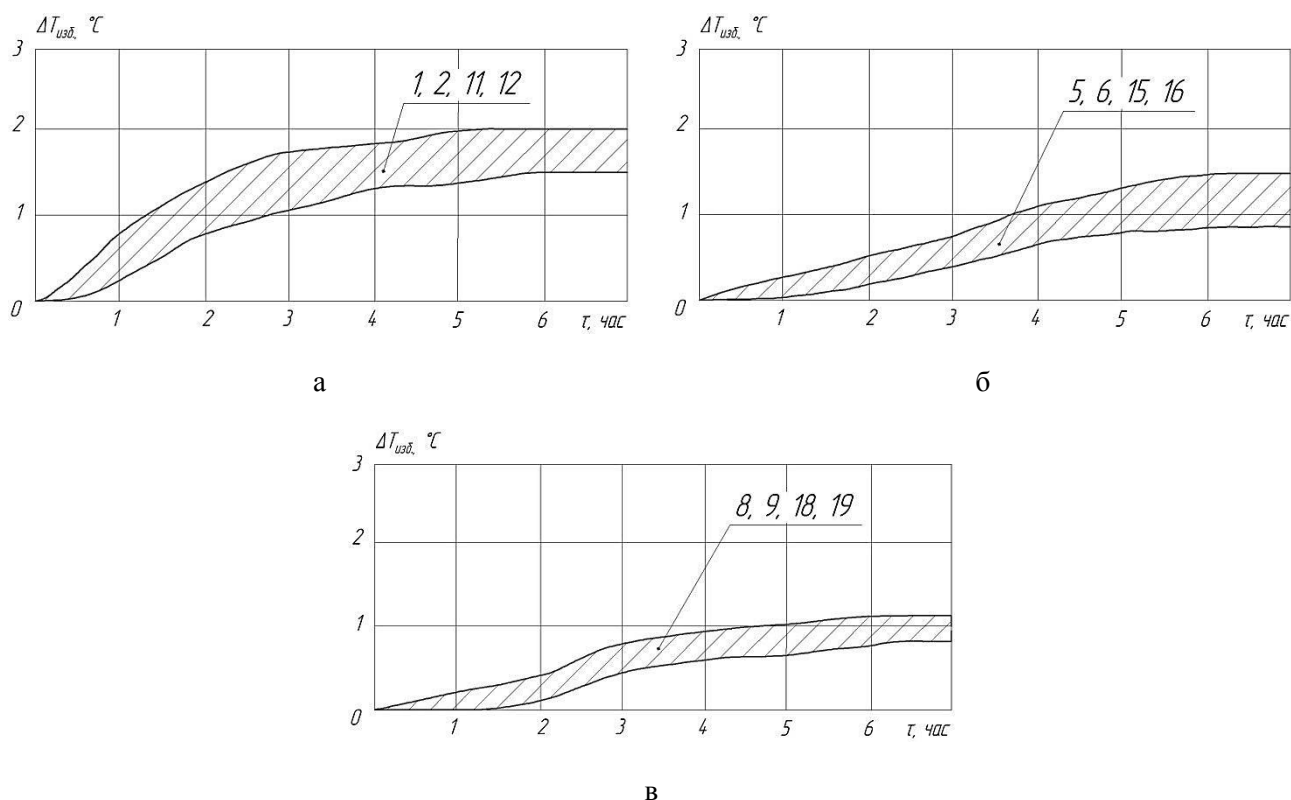


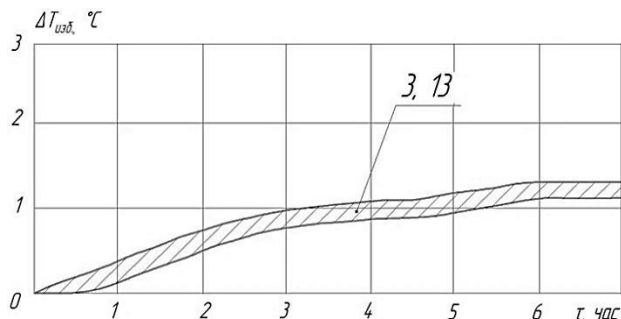
Рис. 2. Изменения температур характерных точек шпиндельных бабок станка при работе на холостом ходу: а – избыточная температура внешних торцов (точки 1, 2, 11, 12); б – избыточная температура передних стенок (точки 5, 6, 15, 16); в – избыточная температура задних стенок (точки 8, 9, 18, 19)

Выполненные измерения смещений фланцев шпинделя при работе станка на холостом ходу показали, что тепловые перемещения кругов от-

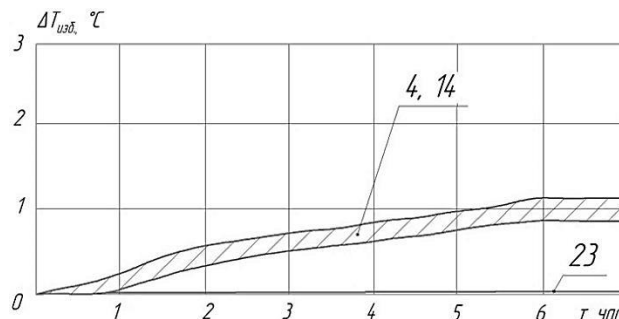
носительно плоскости подачи заготовки происходят неодинаково (рис. 6). Основной процент перемещений происходил в первые два часа работы станка и составлял: у левого круга – 8 мкм,

у правого – 22 мкм. Это означает, что левый круг изменяет свое положение относительно диска подачи на величину практически вдвое меньшую, чем правый круг. Стабилизация положения фланца правого круга наступала через 6–7 часов работы, а положение левого круга при этом оставалось практически стабильным. Таким образом,

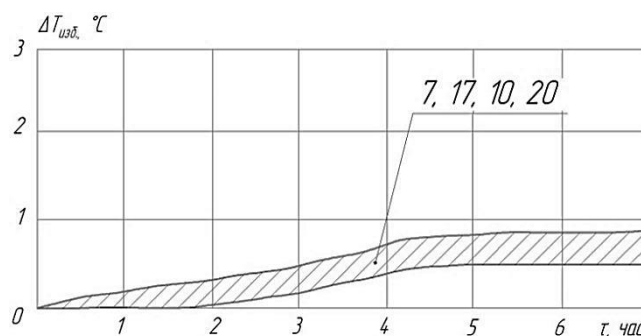
за время работы станка круги занимали положение, называемое «внизу шире». Это объясняется тем, что основными деформируемыми под действием тепловых процессов элементами станка оказываются наружные торцы шлифовальных бабок и станины, так как центр станины прогревался существенно слабее.



а



б



в

Рис. 3. Изменения температур характерных точек станины станка при работе на холостом ходу:
а – избыточные температуры верхних торцов станины (точки 3, 13); б – избыточные температуры нижних торцов (точки 4, 14) и нижней части передней стенки (точка 23) станины;
в – избыточные температуры верхних частей передней и задней стенок станины вблизи ограждения (точки 7, 17, 10, 20)

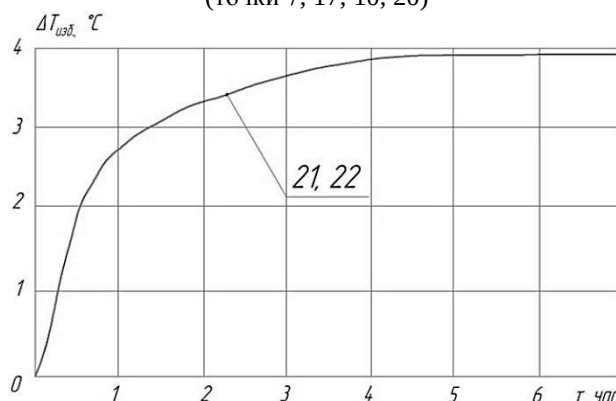


Рис. 4. Изменения избыточных температур кожухов шкивов на холостом ходу

Экспериментальное исследование при имитации рабочего хода. Изменения температур узлов станка в зависимости от продолжительности работы электронагревателей с мощностью 6 кВт, используемых для имитации

работы станка при шлифовании [20], показано на рис. 7 и рис. 8.

Так избыточные температуры на передней и задней стенках шпиндельных бабок (точки 5, 6, 15, 16, 8, 9, 18, 19), а также на их торцах внизу

(точки 2, 12) имели значения в диапазоне от 3,1 до 3,7 °С. На торцах шпиндельных бабок сверху (точки 1, 11) избыточные температуры составляли в диапазоне от 2,1 до 2,5 °С. Избыточные температуры корпусов шпиндельных бабок в соответствующих точках оказывались практически одинаковыми и имели равную скорость нарастания. Наибольшую избыточную температуру имела верхняя часть

станины вблизи ограждения (точки 7, 17, 10, 20) – диапазон температур составлял от 4,3 до 4,8 °С. Наименьшую избыточную температуру имела нижняя часть станины (точки 4, 14, 23) – диапазон температур составлял от 1 до 1,2 °С. Торцы станины в верхней ее части (точки 3, 13) имели избыточные температуры в диапазоне от 2,3 до 2,9 °С. Избыточная температура СОЖ составляла 14 °С (рис. 9).

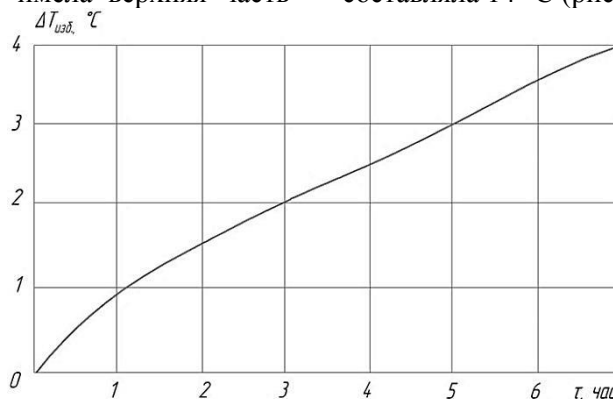


Рис. 5. Изменение избыточной температуры СОЖ на холостом ходу

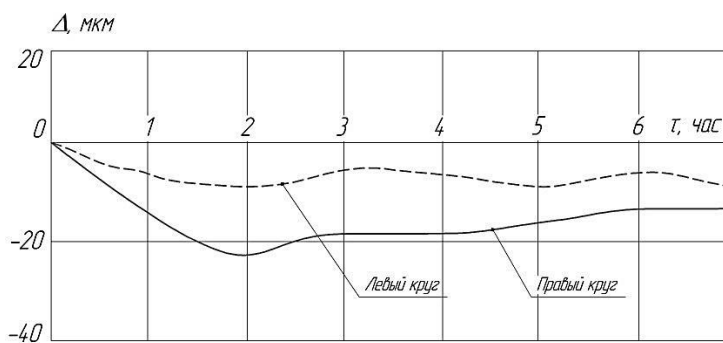


Рис. 6. Тепловые перемещения шлифовальных кругов на холостом ходу

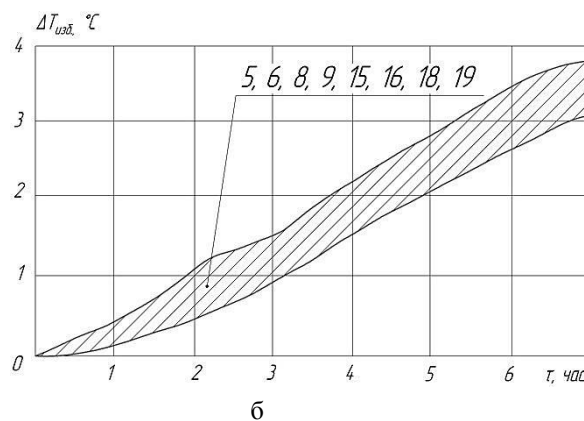
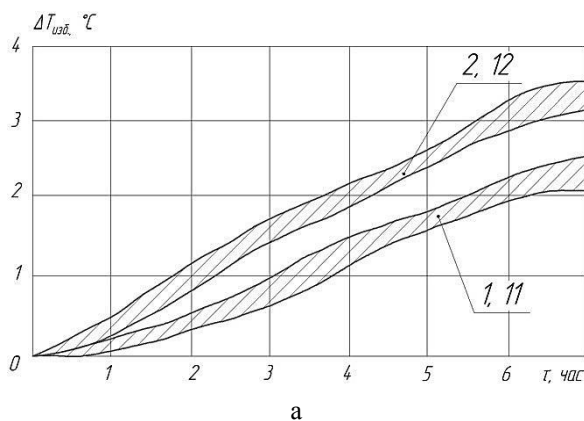


Рис. 7. Изменения температур характерных точек шпиндельной бабки станка при работе под тепловой нагрузкой ($N = 6$ кВт):

а – избыточные температуры верхней (точки 1, 11) и нижней (точки 2, 12) частей внешних торцов шпиндельной бабки; б – избыточные температуры на передних (точки 5, 6, 15, 16) и задних (точки 8, 9, 18, 19) стенках шпиндельных бабок

На рис. 10 и рис. 11 показаны изменения температур характерных точек станка при нагреве СОЖ нагревателями мощностью 18 кВт [20]. Избыточные температуры торцов станины в точках 3, 13 и торцов шпиндельных бабок в точках 2, 12

составляли в диапазоне от 3,5 до 5 °С. В верхней части торцов шпиндельных бабок (точки 1, 11) фиксировался диапазон избыточных температур от 3 до 3,4 °С. Избыточные температуры на корпусах шпиндельных бабок вблизи ограждения

составляли в диапазоне от 5,6 до 6,7 °С. Наибольшую избыточную температуру имела средняя часть станины вблизи ограждения – в диапазоне от 12,5 до 13,5 °С. Избыточная температура СОЖ при этом фиксировалась на уровне 32 °С (рис. 9). Наименьшую избыточную

температуру имела нижняя часть станины – в диапазоне от 1 до 1,5 °С.

По характеру распределения температур видно, что при работе станка под тепловой нагрузкой доминирующим источником тепловыделения является СОЖ.

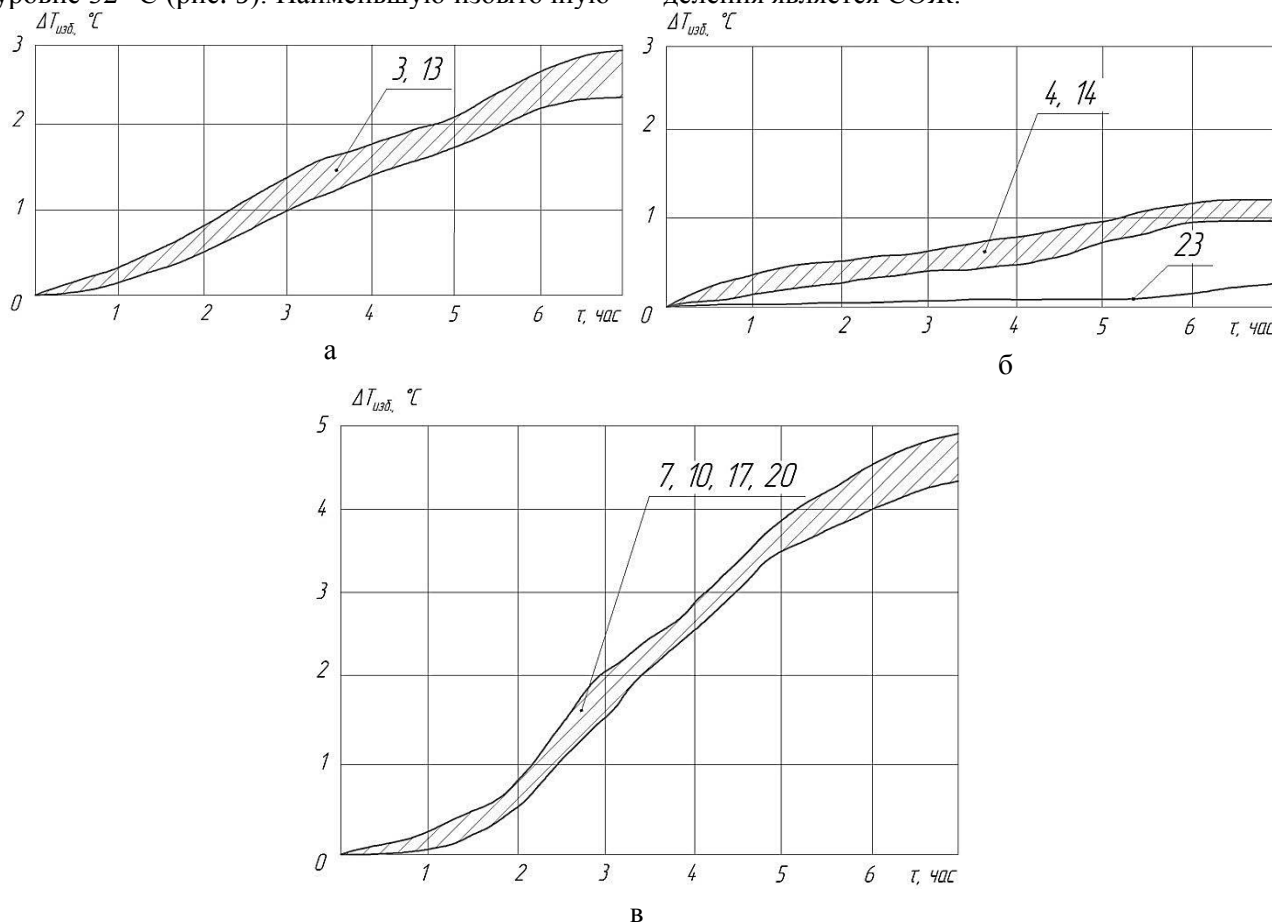


Рис. 8. Изменения температур характерных точек станины станка при работе под тепловой нагрузкой ($N = 6 \text{ кВт}$):

а – избыточная температура верхней части торцов станины (точки 3, 13); б – избыточные температуры нижней части торцов (точки 4, 14) и нижней части передней стенки (точка 23) станины; в – избыточные температуры верхней части передней (точки 7, 17) и задней (точки 10, 20) стенок станины вблизи ограждения

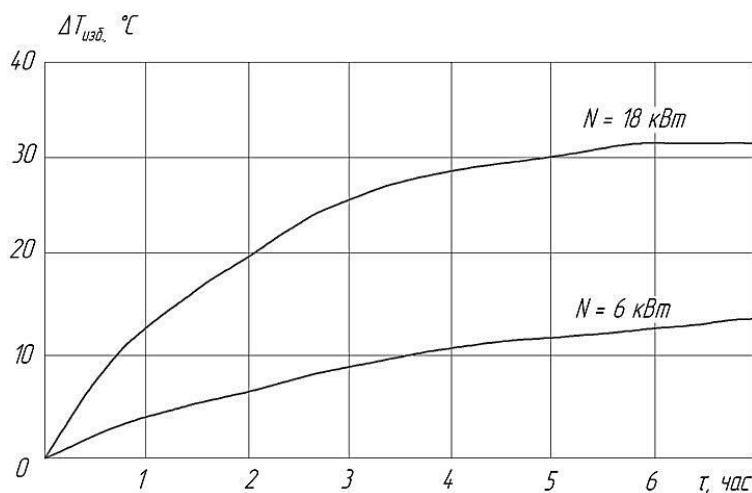


Рис. 9. Изменение избыточной температуры СОЖ при работе под тепловой нагрузкой

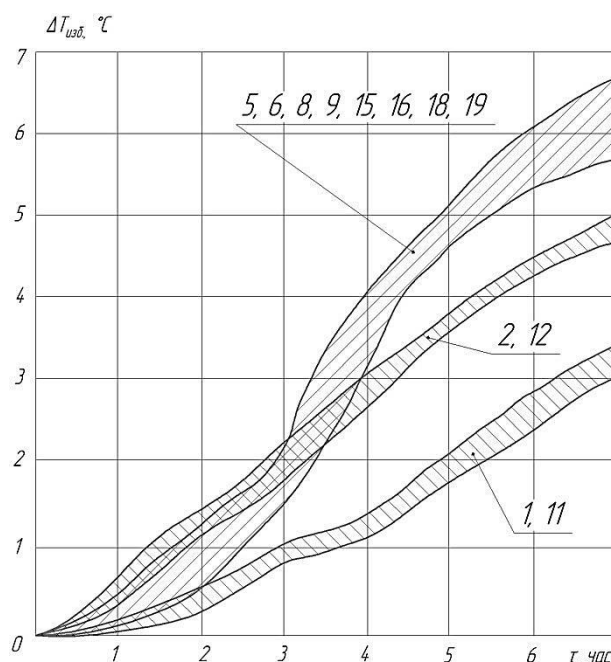


Рис. 10. Изменения температур характерных точек шпиндельной бабки станка при работе под тепловой нагрузкой ($N = 18$ кВт)

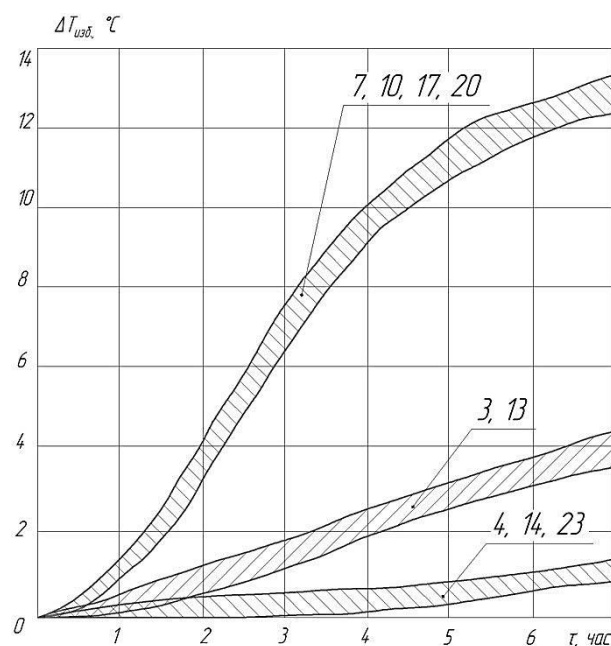


Рис. 11. Изменения температур характерных точек станины станка при работе под тепловой нагрузкой ($N = 18$ кВт)

Обсуждение. Как показали исследования, тепловые перемещения фланцев кругов относительно плоскости подачи заготовки на холостом ходу станка происходили неодинаково. Еще более разительна перемена при работе под нагрузкой. Из графика (рис. 12) видно, что стабилизация положения правого круга за 7 часов не происходила, но скорость изменения углового положения значительно снижалась. Так, если по завершению второго часа эксперимента изменение углового положения правого круга за один час ($N = 6$ кВт) составило 14 мкм, то после семи часов эксперимента часовое изменение составило лишь

7 мкм. При этом абсолютные значения изменений угловых положений кругов за 7 часов работы составили: правого – 82 мкм, левого – 5 мкм.

При работе под нагрузкой в 18 кВт (рис. 13) изменения угловых положений кругов за 7 часов работы станка составили: правого – 152 мкм, левого – 45 мкм. Выделенное в середине станка тепло привело к полной асимметричности положения кругов относительно плоскости подачи заготовки, тем самым нарушая одно из основных требований высококачественного шлифования. Стабилизация положения фланцев кругов происходила через 5–6 часов нагрева.

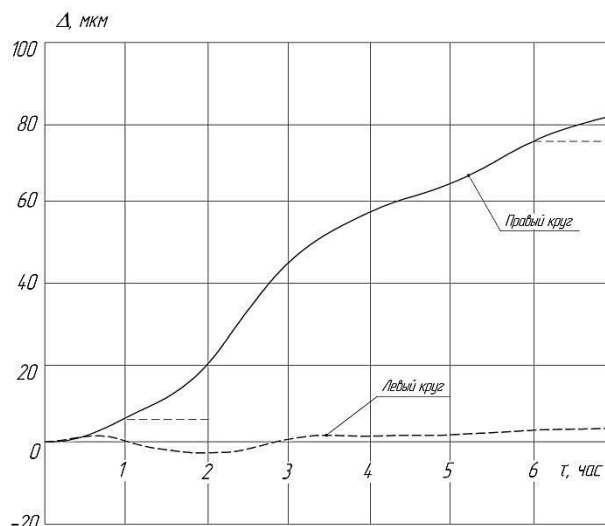


Рис. 12. Тепловые перемещения шлифовальных кругов при работе под тепловой нагрузкой ($N = 6$ кВт)

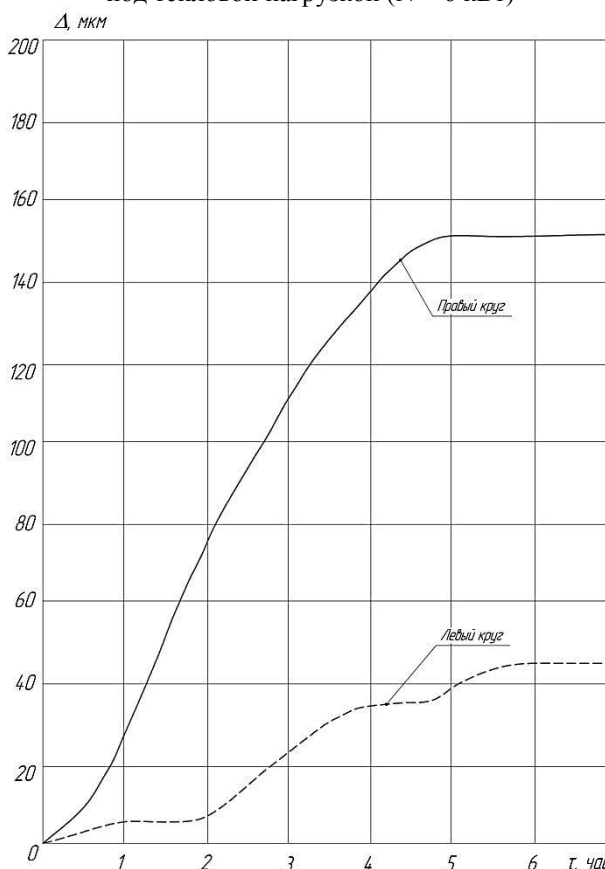


Рис. 13. Тепловые перемещения шлифовальных кругов при работе под тепловой нагрузкой ($N = 18$ кВт)

На рис. 14 показан характер изменения несимметричности перемещений шлифовальных кругов $\Delta_{\text{пр}}/\Delta_{\text{л}}$ (отношение перемещения правого круга $\Delta_{\text{пр}}$ к левому $\Delta_{\text{л}}$) при тепловой нагрузке 18 кВт.

Из графика видно, что несимметричность имела максимальное значение после 1,5 часов работы станка — $\Delta_{\text{пр}}/\Delta_{\text{л}} = 10$ в отличие от первоначального значения — 1.

При работе станка под тепловой нагрузкой

станина, в центральной своей части прогревалась сильнее торцов, что приводило к изменению относительного положения, называемого «внизу уже».

Таким образом, экспериментально было установлено, что при работе станка тепловые деформации происходили в широком диапазоне, как по величине, так и по направлению.

Исключение фактора времени позволило получить зависимости: изменения углового

положения шлифовальных кругов от избыточной температуры СОЖ (рис. 15); изменения величины торцевого биения обработанных

роликов от величины угловых перемещений шлифовальных кругов (рис. 16).

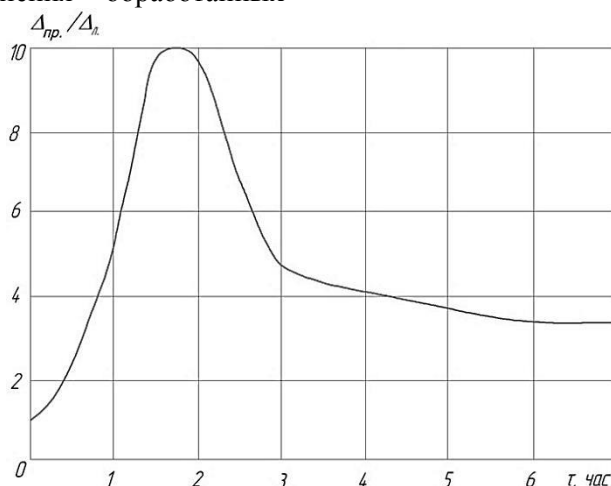


Рис. 14. Изменение несимметричности перемещений шлифовальных кругов

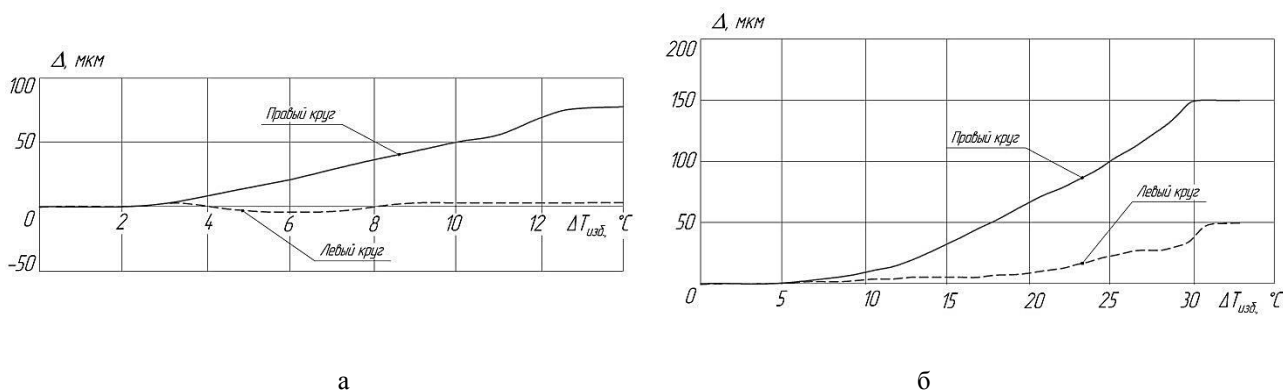


Рис. 15. Изменения угловых положений шлифовальных кругов в зависимости от величины избыточной температуры СОЖ:

а – при работе под тепловой нагрузкой $N = 6$ кВт; б – при работе под тепловой нагрузкой $N = 18$ кВт

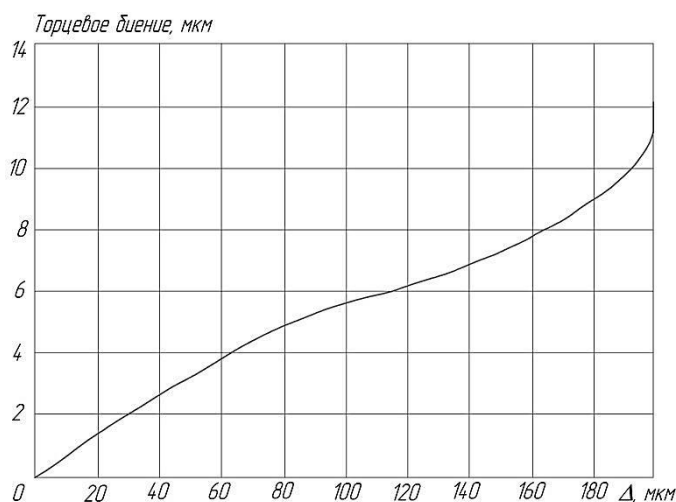


Рис. 16. Влияние тепловых перемещений шлифовальных кругов на торцевое биение ролика

Выводы.

1. Температурные характеристики станка на холостом ходу и при работе под тепловой нагрузкой разные.

2. Узлы торцешлифовального станка при работе на холостом ходу и при работе под тепловой

нагрузкой нагреваются неодинаково. Наибольшие температуры при работе станка на холостом ходу имеют торцы шпиндельных бабок и станины, а при работе под тепловой нагрузкой – части станины, находящиеся вблизи ограждения зоны шлифования и торцы шпиндельных бабок,

обращенные к ограждению.

3. Температурные перемещения кругов неодинаковы. Перемещение правого круга относительно диска подачи заготовок в 3 раза больше, чем левого на холостом ходу и в 5 раз больше – при работе под тепловой нагрузкой.

4. При работе станка на холостом ходу круги вследствие температурных деформаций перемещаются в направлении «внизу шире», что лишает зону обработки участка калибрования заготовки и приводит к ухудшению точности шлифования.

5. При работе под тепловой нагрузкой станок постепенно прогревается, а взаимное положение кругов постепенно изменяется от «внизу шире» до «внизу уже», т.е. самопроизвольно изменяется настройка станка, его зона обработки. При этом эти изменения с разной интенсивностью продолжаются за все время работы станка.

6. Шлифовальные круги изменяют свое положение в вертикальной плоскости пропорционально величине избыточных температур СОЖ и времени работы станка.

7. Выявлен скачок по величине торцового биения после 1,5 часов работы станка, который определился максимальной на данный момент несимметричностью перемещений шлифовальных кругов. Дальнейший рост величины торцового биения обусловлен ростом абсолютной величины непараллельности взаимного положения кругов.

8. Величина торцового биения обработанных роликов увеличивается пропорционально величине угловых перемещений шлифовальных кругов.

9. Круги перемещаются относительно диска на разную величину, что создает несимметричность зоны обработки относительно подающего диска (технологической базы заготовки), которая, в свою очередь, создает на заготовке асимметричность силовых нагрузок, которые нарушают законы вращения заготовки вплоть до полной остановки.

10. Абсолютная величина изменяющейся непараллельности шлифовальных кругов после 3-х часов работы составила 0,13 мм, что можно признать достаточно большим, так как при шлифовании весь снимаемый припуск составляет 0,05–0,07 мм. Рациональный припуск на обработку связан с взаимным положением кругов, следовательно, если это положение изменяется (увеличивается), а заданный припуск остается постоянным, то условия обработки отклоняются от заданных.

Итак, выполненные исследования показывают, что тепловые деформации двусторонних торцешлифовальных станков с дуговой траекторией подачи заготовок происходят в широком

диапазоне как по величине, так и по направлению, и могут нарушать основное требование точной работы станка – симметричность условий обработки на обоих торцах заготовки. Следовательно, для дальнейшего повышения качества работы станков данного типа необходимо рассмотреть мероприятия, которые уменьшили бы тепловые деформации и обеспечили симметричность работы станка во всех температурно-временных диапазонах.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Luk'yanov K.Y. More efficient grinding of conical roller-bearing surfaces by the end of a discontinuous wheel // *Russ. Engin. Res.* 2011. Vol. 31. Pp. 185–186.
2. Jurko J., Panda A., Valíček J., Harničárová M., Pandová I. Study on cone roller bearing surface roughness improvement and the effect of surface roughness on tapered roller bearing service life // *Int. J. Adv. Manuf. Technol.* 2016. Vol. 82. Pp. 1099–1106.
3. Jiang J., Ge P., Sun S., Wang D. The theoretical and experimental research on the bearing inner ring raceway grinding process aiming to improve surface quality and process efficiency based on the integrated grinding process model // *Int. J. Adv. Manuf. Technol.* 2017. Vol. 93. Pp. 747–765.
4. Yu G., Wang Q., Song Z., Fang D., Li Y., Yao Y. Toward the temperature distribution on ball bearing inner rings during single-grit grinding // *Int. J. Adv. Manuf. Technol.* 2019. Vol. 102. Pp. 957–968.
5. Zhao B., Guo X., Yin L., Chang B., Li P., Wang X. Surface quality in axial ultrasound plunging-type grinding of bearing internal raceway // *Int. J. Adv. Manuf. Technol.* 2020. Vol. 106. Pp. 4715–4730.
6. Denkena B., Grove T., Maiss O. Influence of the cutting edge radius on surface integrity in hard turning of roller bearing inner rings // *Prod. Eng. Res. Devel.* 2015. Vol. 9. Pp. 299–305.
7. Afteni M., Terecoasa I., Afteni C., Paunoiu V. Study on hard turning process versus grinding in manufacturing some bearing inner rings // In: *Proceedings of 5th international conference on advanced manufacturing engineering and technologies*. 2017. Pp. 95–111.
8. Shi X., Zhu K., Wang W., Fan L., Gao J. A thermal characteristic analytic model considering cutting fluid thermal effect for gear grinding machine under load // *Int. J. Adv. Manuf. Technol.* 2018. Vol. 99. Is. 5–8. Pp. 1755–1769.
9. Shi X., Wang W., Mu Y., Yang X. Thermal characteristics testing and thermal error modeling on a worm gear grinding machine considering cutting fluid thermal effect // *Int. J. Adv. Manuf.*

Technol. 2019. Vol. 103. Pp. 4317–4329.

10. Ortega N., Bravo H., Pombo I., Sanchez J.A., Vidal G. Thermal analysis of creep feed grinding // Procedia Engineering. 2015. Vol. 132. Pp. 1061–1068.

11. Batako A.D.L., Morgan M.N., Rowe B.W. High efficiency deep grinding with very high removal rates // Int. J. Adv. Manuf. Technol. 2013. Vol. 66. Pp. 1367–1377.

12. Wang S., Zhou B., Fang C., Sun S. Research on thermal deformation of large CNC gear profile grinding machine tools // Int. J. Adv. Manuf. Technol. 2017. Vol. 91. Is. 1–4. Pp. 577–587.

13. Winter M., Madanchi N., Herrmann C. Comparative thermal analysis of cutting fluids in pendular surface grinding // Int. J. Adv. Manuf. Technol. 2016. Vol. 87. Pp. 1751–1763.

14. Zhang Xl., Yao B., Chen Bq., Sun Wf., Wang Mm., Luo Q. Thermo-mechanical properties of bowl-shaped grinding wheel and machining error compensation for grinding indexable inserts // J. Cent. South Univ. 2015. Vol. 22. Pp. 3830–3836.

15. Ivanova T.N. Structural-Technological Methods for Reduction of Thermal Stress in Grinding // J. Eng. Phys. Thermophy. 2018. Vol. 91. Pp. 1413–1418.

16. Nadolny K., Kieraś S., Sutowski P. Modern Approach to Delivery Coolants, Lubricants and

Antiadhesives in the Environmentally Friendly Grinding Processes // Int. J. of Precis. Eng. and Manuf.-Green Tech. 2020. <https://doi.org/10.1007/s40684-020-00270-y>.

17. Said Z., Gupta M., Hegab H., Arora N., Khan A.M., Jamil M., Bellos E. A comprehensive review on minimum quantity lubrication (MQL) in machining processes using nano-cutting fluids // Int. J. Adv. Manuf. Technol. 2019. Vol. 105. Pp. 2057–2086.

18. He Q., Fu Y., Chen J., Cui Z. Experimental investigation of cooling characteristics in wet grinding using heat pipe grinding wheel // Int. J. Adv. Manuf. Technol. 2018. Vol. 97. Pp. 621–627.

19. Wang X., Yu T., Sun X., Shi Y., Wang W. Study of 3D grinding temperature field based on finite difference method: considering machining parameters and energy partition // Int. J. Adv. Manuf. Technol. 2016. Vol. 84. Pp. 915–927.

20. Никитина И. П., Поляков А. Н. Экспериментальное исследование температурных и точностных характеристик двустороннего торцевшлифовального станка // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2019. № 11. С. 112–120.

Информация об авторах

Никитина Инна Петровна, кандидат технических наук, доцент кафедры технологии машиностроения, металлообрабатывающих станков и комплексов. E-mail: innanikitina@list.ru. Оренбургский государственный университет. Россия, 460018, г. Оренбург, просп. Победы, д. 13.

Поляков Александр Николаевич, доктор технических наук, заведующий кафедрой технологии машиностроения, металлообрабатывающих станков и комплексов, профессор. E-mail: anp_temos@mail.ru. Оренбургский государственный университет. Россия, 460018, г. Оренбург, просп. Победы, д. 13.

Поступила 09.01.2021

© Никитина И.П., Поляков А.Н., 2021

***Nikitina I.P., Polyakov A.N.**

Orenburg state University

*E-mail: innanikitina@list.ru

SPECIFIC FEATURES OF THERMAL PROCESSES IN DOUBLE-SIDED FACE GRINDING MACHINES

Abstract. The paper presents an analysis of thermal processes in the bearing system of a double-sided face grinding machine. Experimental data on temperatures and displacements obtained when the machine is idling and when imitating the grinding process with the help of electric heaters of various powers are used for analysis. The performed studies have shown that thermal deformations of double-sided face grinding machines with an arc trajectory of workpiece feed occur in a wide range in magnitude and direction. It can violate the main requirement for the precise operation of the machine - the symmetry of processing conditions at both ends of the workpiece. From the experiments, the absolute value of the non-parallelism of the grinding wheels after three hours of operation is established; it is almost twice the value of the removed allowance. Analysis of the kinetic change in the deformations of the supporting system of the machine tool during operation under thermal load shows that as it warms up, the relative position of the grinding wheels gradually changes from

the state "wider at the bottom" to the state "narrower below". This leads to a spontaneous change in the dynamic tuning of the technological system and a corresponding change in the processing accuracy. Changes in the dynamic tuning of the technological system with varying intensity continue throughout the entire operating time of the machine.

Keywords: face grinding machines, thermal deformations, excess temperatures, thermal displacements.

REFERENCES

1. Luk'yanov K.Y. More efficient grinding of conical roller-bearing surfaces by the end of a discontinuous wheel. *Russ. Engin. Res.* 2011. Vol. 31. Pp. 185–186.
2. Jurko J., Panda A., Valíček J., Harničárová M., Pandová I. Study on cone roller bearing surface roughness improvement and the effect of surface roughness on tapered roller bearing service life. *Int. J. Adv. Manuf. Technol.* 2016. Vol. 82. Pp. 1099–1106.
3. Jiang J., Ge P., Sun S., Wang D. The theoretical and experimental research on the bearing inner ring raceway grinding process aiming to improve surface quality and process efficiency based on the integrated grinding process model. *Int. J. Adv. Manuf. Technol.* 2017. Vol. 93. Pp. 747–765.
4. Yu G., Wang Q., Song Z., Fang D., Li Y., Yao Y. Toward the temperature distribution on ball bearing inner rings during single-grit grinding. *Int. J. Adv. Manuf. Technol.* 2019. Vol. 102. Pp. 957–968.
5. Zhao B., Guo X., Yin L., Chang B., Li P., Wang X. Surface quality in axial ultrasound plunging-type grinding of bearing internal raceway. *Int. J. Adv. Manuf. Technol.* 2020. Vol. 106. Pp. 4715–4730.
6. Denkena B., Grove T., Maiss O. Influence of the cutting edge radius on surface integrity in hard turning of roller bearing inner rings. *Prod. Eng. Res. Devel.* 2015. Vol. 9. Pp. 299–305.
7. Afteni M., Terecoasa I., Afteni C., Paunoiu V. Study on hard turning process versus grinding in manufacturing some bearing inner rings. In: *Proceedings of 5th international conference on advanced manufacturing engineering and technologies.* 2017. Pp. 95–111.
8. Shi X., Zhu K., Wang W., Fan L., Gao J. A thermal characteristic analytic model considering cutting fluid thermal effect for gear grinding machine under load. *Int. J. Adv. Manuf. Technol.* 2018. Vol. 99. Is. 5–8. Pp. 1755–1769.
9. Shi X., Wang W., Mu Y., Yang X. Thermal characteristics testing and thermal error modeling on a worm gear grinding machine considering cutting fluid thermal effect. *Int. J. Adv. Manuf. Technol.* 2019. Vol. 103. Pp. 4317–4329.
10. Ortega N., Bravo H., Pombo I., Sanchez J.A., Vidal G. Thermal analysis of creep feed grinding. *Procedia Engineering.* 2015. Vol. 132. Pp. 1061–1068.
11. Batako A.D.L., Morgan M.N., Rowe B.W. High efficiency deep grinding with very high removal rates. *Int. J. Adv. Manuf. Technol.* 2013. Vol. 66. Pp. 1367–1377.
12. Wang S., Zhou B., Fang C., Sun S. Research on thermal deformation of large CNC gear profile grinding machine tools. *Int. J. Adv. Manuf. Technol.* 2017. Vol. 91. Is. 1–4. Pp. 577–587.
13. Winter M., Madanchi N., Herrmann C. Comparative thermal analysis of cutting fluids in pendular surface grinding. *Int. J. Adv. Manuf. Technol.* 2016. Vol. 87. Pp. 1751–1763.
14. Zhang Xl., Yao B., Chen Bq., Sun Wf., Wang Mm., Luo Q. Thermo-mechanical properties of bowl-shaped grinding wheel and machining error compensation for grinding indexable inserts. *J. Cent. South Univ.* 2015. Vol. 22. Pp. 3830–3836.
15. Ivanova T.N. Structural-Technological Methods for Reduction of Thermal Stress in Grinding. *J. Eng. Phys. Thermophy.* 2018. Vol. 91. Pp. 1413–1418.
16. Nadolny K., Kieraś S., Sutowski P. Modern Approach to Delivery Coolants, Lubricants and Antiadhesives in the Environmentally Friendly Grinding Processes. *Int. J. of Precis. Eng. and Manuf.-Green Tech.* 2020. <https://doi.org/10.1007/s40684-020-00270-y>.
17. Said Z., Gupta M., Hegab H., Arora N., Khan A.M., Jamil M., Bellos E. A comprehensive review on minimum quantity lubrication (MQL) in machining processes using nano-cutting fluids. *Int. J. Adv. Manuf. Technol.* 2019. Vol. 105. Pp. 2057–2086.
18. He Q., Fu Y., Chen J., Cui Z. Experimental investigation of cooling characteristics in wet grinding using heat pipe grinding wheel. *Int. J. Adv. Manuf. Technol.* 2018. Vol. 97. Pp. 621–627.
19. Wang X., Yu T., Sun X., Shi Y., Wang W. Study of 3D grinding temperature field based on finite difference method: considering machining parameters and energy partition. *Int. J. Adv. Manuf. Technol.* 2016. Vol. 84. Pp. 915–927.
20. Nikitina I.P., Polyakov A.N. Experimental investigation of the temperature and accuracy characteristics of a bilateral face grinding machine [Экспериментальное исследование температурных и точностных характеристик двустороннего торцешлифовального станка]. *Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov.* 2019. No. 11. Pp. 112–120. (rus)

Information about the authors

Nikitina, Inna P. PhD, Assistant professor. E-mail: innanikitina@list.ru. Orenburg State University. Russia, 460018, Orenburg, av. Pobedy, 13.

Polyakov, Aleksandr N. PhD, Professor. E-mail: anp_temos@mail.ru. Orenburg State University. Russia, 460018, Orenburg, av. Pobedy, 13.

Received 09.01.2021

Для цитирования:

Никитина И.П., Поляков А.Н. Особенности протекания тепловых процессов в двусторонних торцешлифовальных станках // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2021. № 1. С. 82–94. DOI: 10.34031/2071-7318-2021-6-1-82-94

For citation:

Nikitina I.P., Polyakov A.N. Specific features of thermal processes in double-sided face grinding machines. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2021. No. 1. Pp. 82–94. DOI: 10.34031/2071-7318-2021-6-1-82-94

Научное издание

«Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова»
№ 1, 2021 г.

Научно-теоретический журнал

Координатор журнала
Алфимова Наталия Ивановна

Редактор журнала
Агеева Марина Сергеевна

Компьютерная верстка
Яшкина Светлана Юрьевна

Перевод на английский язык
Колесник Оксана Юрьевна

Учредитель журнала – Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова»
(БГТУ им. В.Г. Шухова)

Федеральная служба по надзору за соблюдением законодательства в сфере массовых коммуникаций и охране культурного наследия ПИ №ФС 77-26533 от 07.12.2006

Подписано в печать 29.01.21. Опубликовано 16.03.21. Формат 60×84/8

Усл. печ. л. 10,93. Уч.-изд. л. 11,75

Тираж 40 экз. Заказ 4. Цена договорная.

Все публикуемые материалы представлены в авторской редакции.

Адрес редакции: 308012, г. Белгород, ул. Костюкова, 46, оф. 724/4 Гк.

Номер сверстан в редакции научно-теоретического журнала

«Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова».

Отпечатано в РИЦ БГТУ им. В.Г. Шухова

308012, г. Белгород, ул. Костюкова, 46