

Научно-теоретический журнал

ВЕСТНИК

БГТУ им. В.Г. Шухова

ISSN 2071-7318

7

2020

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**

№ 7, 2020 год

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

Vol. 7. 2020

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: http://vestnik_rus.bstu.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/255810462/>

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: http://vestnik_eng.bstu.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).
Баженов Юрий Михайлович, академик РААСН наук, д-р техн. наук, проф., заведующий кафедрой технологии вяжущих веществ и бетона НИУ МГСУ (РФ, г. Москва).

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).

Большаков Андрей Геннадьевич, д-р арх., проф., зав. каф. архитектурного проектирования Иркутского национального исследовательского технического университета (РФ, г. Иркутск).

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., зав. каф. 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 МГСУ (РФ, г. Москва).

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Павленко Вячеслав Иванович, д-р техн. наук, проф., 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-ОГ-НЕУПОР» (РФ, г. Санкт-Петербург).

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

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

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

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

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

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

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

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

Фишер Ханс-Бертрам, Dr.-Ing., заместитель заведующего кафедрой "Строительные материалы" Баухаус-Университет 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).

Шабовалов 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).

Yuriy M. Bazhenov, Academician of the Russian Academy of Architecture and Construction Sciences, Doctor of Technical Sciences, Professor, Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (Russian Federation, Moscow).

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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).

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).

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).

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

Лесовик Р.В., Ахмед А.А.А., Аль Мамури С.К.Ш., Гунченко Т.С. КОМПОЗИЦИОННЫЕ ВЯЖУЩИЕ НА ОСНОВЕ БЕТОННОГО ЛОМА	8
Духанина У.Н., Строкова В.В., Балицкий Д.А. ВЛИЯНИЕ МИКРОБНОЙ КАРБОНАТНОЙ МИНЕРАЛИЗАЦИИ НА ГИДРОФОБНОСТЬ ПОВЕРХНОСТИ ЦЕМЕНТНОГО КАМНЯ	19
Юрьев А.Г., Панченко Л.А., Серых И.Р., Чернышева Е.В. ОПТИМИЗАЦИЯ СТРУКТУРЫ ПОЛА ПРОМЫШЛЕННОГО ЗДАНИЯ	26
Жданова И.В., Кузнецова А.А., Михайлина П.И. ВЫЯВЛЕНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ АРХИТЕКТУРНОЙ ТИПОЛОГИИ ДОМОВ ПРЕСТАРЕЛЫХ	33
Оболенский А.В., Белова А.Ю. РОМАНТИЧЕСКИЕ ТЕНДЕНЦИИ В АРХИТЕКТУРНОЙ КОКУРСНОЙ ПРАКТИКЕ ДОНСКОГО РЕГИОНА КОНЦА XIX – НАЧ. XX ВВ	40
Чечель И.П. ФОРМИРОВАНИЕ И РАЗВИТИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНО-ПЛАНИРОВОЧНОЙ СТРУКТУРЫ ОБЩЕОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ШКОЛ БЕЛГОРОДСКОЙ ОБЛАСТИ (1904–2020 гг.)	49
Алексеев Ю.В., Мурад Алашкар И.Х., Рукосуева Е.А., Маджорзадехзахири А. УЧЕТ ИНТЕРЕСОВ ЖИТЕЛЕЙ Г. ХОМС ПРИ РЕНОВАЦИИ ЖИЛОЙ ЗАСТРОЙКИ ПОСЛЕ РАЗРУШЕНИЯ	66
Иванова-Ильичева А.М., Орехов Н.В., Орехов А.Н. ВЛИЯНИЕ ПРОИЗВЕДЕНИЙ В.О. ШЕРВУДА НА ФОРМИРОВАНИЕ «КИРПИЧНОГО СТИЛЯ» В РОСТОВЕ-НА-ДОНУ (НА ПРИМЕРЕ АСМОЛОВСКОГО ТЕАТРА)	75

ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ

Новоселов А.Г., Васина Ю.А., Новоселова И.Н., Горяйнова Д.Н., Ершова Ю.И. ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ СНИЖЕНИЯ ЦИРКУЛЯЦИИ ЛЕТУЧИХ СОЕДИНЕНИЙ ВО ВРАЩАЮЩЕЙСЯ ПЕЧИ СУХОГО СПОСОБА ПРОИЗВОДСТВА	84
Тужилин С.П., Лопатина Ю.А., Свиридов А.С. ПЕРЕРАБОТКА ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ МЕТОДОМ СВОБОДНОГО ЛИТЬЯ В ВАКУУМЕ	93

МАШИНОСТРОЕНИЕ И МАШИНОВЕДЕНИЕ

Дурыхин А.А., Хуртасенко А.В. ВЛИЯНИЕ СТРАТЕГИЙ ФРЕЗЕРОВАНИЯ НА ДЕФОРМАЦИИ ОБРАБАТЫВАЕМЫХ НЕЖЕСТКИХ ЭЛЕМЕНТОВ ДЕТАЛЕЙ ИЗ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ	101
Макаров А.В., Кудряшов А.Е., Невезин С.В., Герасимов А.С., Владимиров А.А., Авдеева Н.Е. ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕХНОЛОГИИ ЛАЗЕРНОЙ НАПЛАВКИ ДЛЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ РОЛИКОВ МАШИН НЕПРЕРЫВНОГО ЛИТЬЯ ЗАГОТОВОК	109

CONSTRUCTION AND ARCHITECTURE

Lesovik R.V., Ahmed A.A.A., Al Mamouri S.K.S., Gunchenko T.S. COMPOSITE BINDERS BASED ON CONCRETE SCRAP	8
Dukhanina U.N., Strokova V.V., Balitsky D.A. INFLUENCE OF MICROBIAL CARBONATE MINERALIZATION ON HYDROPHOBICITY OF A CEMENT STONE SURFACE	19
Yuriev A.G., Panchenko L.A., Serykh I.R., Chernysheva E.V. OPTIMIZATION OF THE FLOOR STRUCTURE OF AN INDUSTRIAL BUILDING	26
Zhdanova I.V., Kuznetsova A.A., Mikhailina P.I. REVEALING FEATURES OF THE ARCHITECTURAL TYPOLOGY OF NURSING HOMES	33
Obolensky A.V., Belova A.Y. ROMANTIC TRENDS IN ARCHITECTURAL COMPETITION OF THE DON REGION OF THE LATE XIX – EARLY XX CENTURY	40
Chechel I.P. THE FORMATION AND DEVELOPMENT OF FUNCTIONAL-PLANNING STRUCTURE OF GENERAL EDUCATION SCHOOLS IN BELGOROD REGION (1904–2020)	49
Alekseev Y.V., Mourad Alashkar E.H., Rukosueva E.A., Majorzadehzahiri A. CONSIDERATION OF INTERESTS OF HOMES RESIDENTS WHEN RENOVATING A RESIDENTIAL BUILDING AFTER DESTRUCTION	66
Ivanova-Ilyicheva A.M., Orekhov N.V., Orekhov A.N. INFLUENCE OF SHERWOOD'S WORKS ON THE FORMATION OF THE «BRICK STYLE» IN ROSTOV-ON-DON (ON THE EXAMPLE OF ASMOLOV THEATER	75

CHEMICAL TECHNOLOGY

Novosyolov A.G., Vasina Y.A., Novoselova I.N., Goriaynova D.N., Ershova Yu.I. INVESTIGATION OF THE POSSIBILITY OF REDUCING THE CIRCULATION OF VOLATILE COMPOUNDS IN A ROTARY KILN OF A DRY PRODUCTION METHOD	84
Tuzhilin S.P., Lopatina J.A., Sviridov A.S. PROCESSING POLYMER MATERIALS BY FREE CASTING UNDER VACUUM	93

MACHINE BUILDING AND ENGINEERING SCIENCE

Durykhin A.A., Hurtasenko A.V. INFLUENCE OF MILLING STRATEGIES ON DEFORMATIONS OF NON-RIGID ELEMENTS OF ALUMINUM ALLOY PARTS	101
Makarov A.V., Kudryashov A.E., Nevezhin S.V., Gerasimov A.S., Vladimirov A.A., Avdeeva N.E. TECHNOLOGY FOR RESTORING ROLLERS OF CONTINUOUS CASTING MACHINES	109

СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

DOI: 10.34031/2071-7318-2020-5-7-8-18

*Лесовик Р.В., *Ахмед А.А.А., Аль Мамури С.К.Ш., Гунченко Т.С.**Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова***E-mail: Civileng85@yahoo.com*

КОМПОЗИЦИОННЫЕ ВЯЖУЩИЕ НА ОСНОВЕ БЕТОННОГО ЛОМА

Аннотация. Объектом исследования является композиционные вяжущие полученные из бетонного лома разрушенных зданий и сооружений для производства различных строительных изделий и конструкций. В работе использовали фракции бетонного лома 0,00–0,16 мм и 0,16–0,315 мм, так как рентгено-фазовый анализ различных фракций бетонного лома показал, что именно эти фракции имеют наибольшее содержание негидратированных частиц алита и белита. Установлено влияние удельной поверхности на нормальную густоту цементного теста и сроки схватывания вяжущих.

Сравнительные физико-механические показатели твердения вяжущих с различными удельными поверхностями свидетельствуют, что наиболее стабильными результатами с равномерным нарастанием прочности является состав вяжущего с удельной поверхностью 964 м²/кг, с приростом прочности от 2 до 7 суток – 27 % и от 7 до 28 суток – 21 %. Это вяжущее характеризуется оптимальными показателями прочности в возрасте 28 суток – 25,5 МПа. При удельной поверхности 964 м²/кг создаются наилучшие условия для формирования первичного каркаса и дальнейшего обрастания его различными кристаллогидратами кальция, обеспечивающими оптимальные плотность и прочность. Этот состав композиционного вяжущего, имея удельную поверхность 964 м²/кг, характеризуется наиболее энергоэффективным.

Композиционные вяжущие, полученные в вибрационной мельнице из бетонного лома фракции (0,0–0,16 и 0,16–0,315 мм), удовлетворяют требованиям нормативной документации по срокам схватывания и физико-механическим показателям, что позволяет рекомендовать их для использования в качестве вяжущих при получении строительных изделий и конструкций различного назначения.

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

Введение. Вследствие вооружённых конфликтов и природных катастроф на планете Земля появилось очень много разрушенных городов, населенных пунктов, отдельных домов и объектов. Вопрос стоит в том, как восстанавливать и отстраивать эти города и что делать с элементами разрушенных зданий и сооружений. Одним из подходов, к сожалению, широко практикуемых, является их складирование (захоронение) в отрицательных формах рельефа, засыпке грунтами и рекультивации полученных территорий (например, посадка леса). При таком подходе для производства новых строительных материалов необходимо вновь добывать и обрабатывать природное сырьё, чтобы строить эти города и населённые пункты. С учётом затрат на утилизацию, это очень дорогостоящее мероприятие, которое идёт вразрез с действующими и активно внедряемыми во многих странах нормами «зеленого строительства», к примеру, CLSM (низкомарочные материалы) [1–4].

В настоящей работе исследовали влияние размеров фракций на предел прочности при сжатии композиционных вяжущих из бетонного лома. При этом в эксперименте использовали фракции 0,00–0,16 мм и 0,16–0,315 мм, так как

рентгено-фазовый анализ различных фракций бетонного лома показал, что именно эти фракции имеют наибольшее содержание негидратированных частиц алита и белита. Результаты исследования показали, что полученные композиционные вяжущие обладают прочностью при сжатии, удовлетворяющие требованиям для производства различных видов строительных материалов.

Многочисленные исследования, проведённые по использованию бетонного лома в качестве вторичного заполнителя для изготовления бетонных изделий и конструкций, подтвердили его высокую эффективность [5–9]. Теоретической основой развития материаловедения является новое трансдисциплинарное направление геоника (геомиметика) которая решает инженерные задачи с использованием знаний, полученных при изучении природных процессов. исследуют аналоги строительных композитов – горные породы и на основе полученной информации разрабатывают технологии производства материалов нового поколения [10–14]. Несмотря на то, что технологии по строительству постоянно совершенствуются, основной целью данной идеи является «зеленое строительство» и оптимизация системы

«человек-материал-среда обитания». Таким образом, предложены теоретические подходы и начата их практическая реализация по эффективному использованию фрагментов зданий и сооружений. Одним из самых актуальных решений этой проблемы в республике Ирак является использование фрагментов разрушенных зданий и сооружений для получения строительных композитов. Однако вопрос о возможности получения бесцементных вяжущих на основе бетонного лома ещё не достаточно изучен, хотя имеющиеся данные позволяют предположить его высокую ценность, именно в этом качестве. Авторы [15–17] исследовали влияние замещения вторичных компонентов, таких как переработанный бетонный заполнитель, в качестве частичной замены крупнозернистого и мелкого заполнителей. Результаты показали, что оптимальное содержание наполнителя составляет 22 % при 150 минутной активации и одержания органической примеси в количестве – 0,5 %. Стандартная консистенция такого композиционного вяжущего снизилась с 26,5 % до 22,4 %. Математические модели, предложенные авторами, рекомендуются для использования при проектировании самоуплотняющихся бетонных смесей.

Исследованы свойства бесцементного вяжущего, активированного порошком силиката натрия. В качестве исходных материалов использовалась летучая зола и измельченный гранулированный доменный шлак. Результаты испытаний показали, что потеря текучести и предела прочности при сжатии щелочно-активированного раствора в значительной степени зависят от используемой щелочи. Авторы [15–17] исследо-

вали новое вяжущее, включающее полностью побочные продукты для производства. Новое бесцементное вяжущее, предварительно названное Fa-RmLG, было изготовлено из летучей золы (Fa), извести (L), гипса (G) и красного шлама (Rm). Полученные результаты показали, что свойства (текучесть, сроки схватывания, предел прочности при сжатии и микроструктурный анализ) и воздействие на окружающую среду (коррозионная стойкость, наличие тяжелых металлов) CLSM, изготовленного с использованием предлагаемого бесцементного вяжущего, соответствуют требованиям ACI 229R.

Между тем, ни одно из этих исследований не отражает получение композиционного вяжущего на основе бетонного лома, а также не рассматривается влияние размеров фракций на его характеристики по прочности раствора, а также показатели сцепления в растворе. Эти вопросы очень важны и являются целями настоящего исследования. Представляется, что эти исследования дадут более глубокие знания для понимания процессов структурообразования при создании строительных композитов нового поколения и их рационального применения в зелёном строительстве.

Методы и материалы. Для применения бетонного лома в производстве строительных материалов необходимо производить тщательный отбор и контроль используемого сырья. В связи с этим было установлено его влияние на процессы структурообразования в бетоне и на эксплуатационные свойства композитов, такие, как пористость, трещиностойкость, морозостойкость. В работе использовали отсеvy щебня фрагментов разрушенных зданий и сооружений в г.Эр-Раме (Ирак) (рис.1).



Рис. 1. Фрагменты из разрушенных зданий и сооружений

Бетонный лом подвергали дроблению на лабораторной щековой дробилке, рассеивали на фракции 0,00–0,16 мм; 0,16–0,315 мм; 0,315–0,63

мм; 0,63–1,25 мм; 1,25–2,5 мм; 2,5–5 мм. Результаты испытания приведены в таблице 1.

Таблица 1

Гранулометрический состав отсеков дробления бетонного лома

Показатель	Размер отверстий сит, мм					
	2,5	1,25	0,63	0,315	0,16	< 0,16
Масса остатков на сите, г	350	83	113	133	155	166
Частные остатки, %	35	8,3	11,3	13,3	15,5	16,6
Полные остатки, %	35	43,3	54,6	67,9	83,4	100

Представлял интерес вопрос о возможности использования мелких фракций (0,00–0,16 мм; 0,16–0,315), составляющих цементный камень бетонного лома для получения бесцементного вяжущего, в связи с этим в работе использовали эти

фракции для последующего дробления и измельчения. Идентификация различных фаз в их смеси на основе анализа дифракционной картины, даваемой исследуемым образцам, – основная задача рентгенофазового анализа (РФА) (рис. 2).

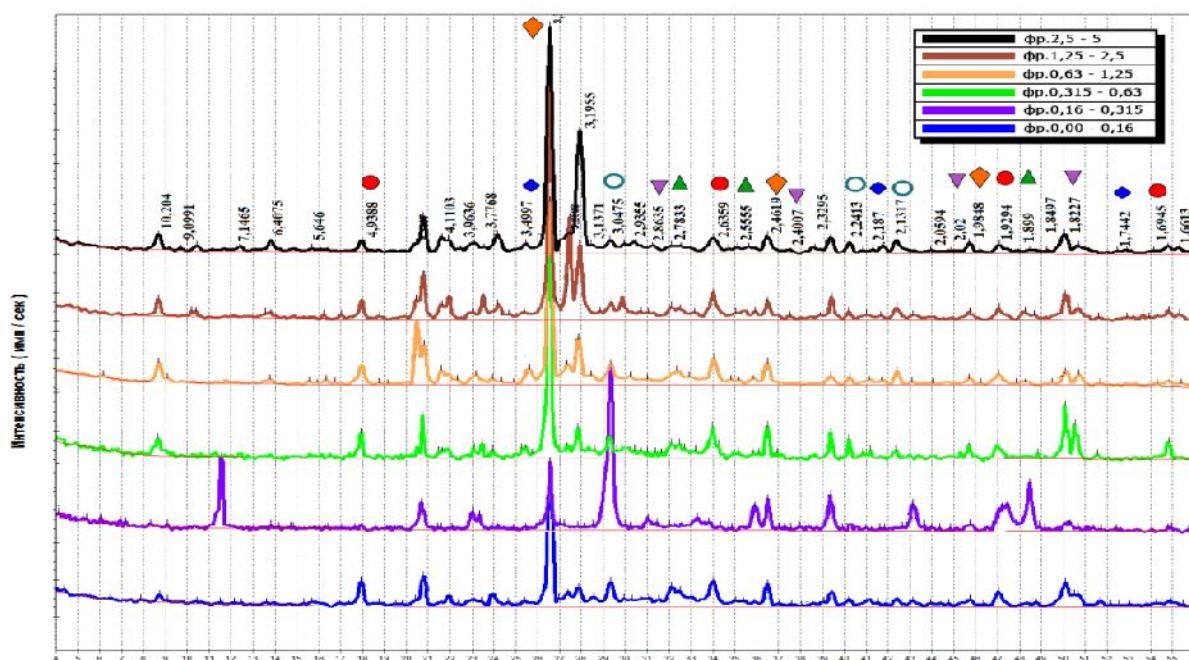


Рис. 2. Рентгенограмма фракций отсеков дробления бетонного лома

Было выявлено, что основными составляющими отсеков дробления бетонного лома являются: непрогидратированные клинкерные минералы C_3S – ($d = 2,77; 2,19 \dots \text{Å}$); C_2S – ($d = 2,75; 2,74; 2,19 \dots \text{Å}$); кварц – ($d = 4,24; 3,34; 2,45; 2,280 \dots \text{Å}$), портландит $Ca(OH)_2$ – ($d = 4,93; 3,11; 2,63; 1,93; 1,79 \dots \text{Å}$); кальцит $CaCO_3$ – $d = 3,85; 3,35; 3,04; 2,78; 2,49; 2,28 \dots \text{Å}$; частично закристаллизованный тоберморитоподобный гидросиликат кальция $CSH(B)$ – $d = 9,8; 4,9; 3,07; 2,85; 2,80 \dots \text{Å}$); гидроферриты кальция, твердые растворы комплексных соединений и др.

После дробления бетона на зернах заполнителя остаются слои в виде растворной составляющей или тонких пленок гидратных фаз, а также присутствуют тонкодисперсные частицы цементного камня. Минералы цементного камня в основном представлены; клинкерными минералами: алитом C_3S ; белитом C_2S и частично закристаллизованным гидросиликатом кальция $CSH(B)$ и портландитом $Ca(OH)_2$.

При этом большая часть цементной пленки, прочно закрепившейся на поверхности заполнителя из кварцевого песка и гравия в процессе предыдущей эксплуатации и повторного дробления, карбонизируется, о чем свидетельствует наличие на рентгенограммах $CaCO_3$. На рентгенограммах бетонного лома присутствуют пики, характерные для крупного и мелкого заполнителя, в частности кварца.

Следует отметить, что количество белита снижается с переходом от фракции 0,00–0,16 мм. Одновременно увеличивается количество кварца и минералов, характерных для крупного заполнителя. В самых мелких фракциях бетонного лома (пылевидной и 0,16–0,316 мм) содержится максимальное количество алита C_3S и белита C_2S , способных твердеть при взаимодействии с водой, по сравнению с фракциями более крупных размеров.

Для измельчения использовали вибрационную мельницу MB-20. Вибрационные мельницы

работают по схожей схеме с шаровыми, но вал, вращаясь, сообщает вибрационное воздействие

на рабочую камеру, а камера приводит в движение находящиеся в ней мелющие тела (рис. 3).

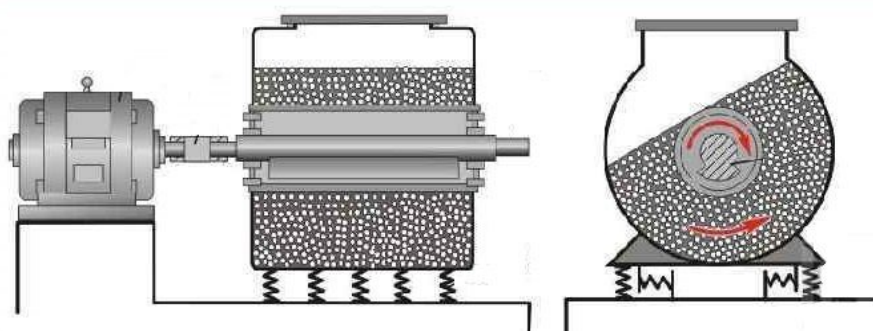


Рис. 3. Вибрационная мельница

При выполнении работы применяли стандартные методики для испытаний полученных вяжущих.

Основная часть. Гранулометрический состав полученных композиционных вяжущих из бетонного лома исследовали с помощью прибора

Analysette NanoTecplus. Результаты гранулометрических анализов исследуемых вяжущих и портландцемента приведены в табл. 2 и на рис. 3.

Были приготовлены композиционные вяжущие из бетонного лома помолем до различных удельных поверхностей: 555 м²/кг, 964 м²/кг, 1255 м²/кг, 1431 м²/кг. В качестве сравнения применяли портландцемент ЦЕМ 1 42,5 Н (табл.2).

Таблица 2

Гранулометрический состав портландцемента и вяжущих, полученных помолем из бетонного лома

Гранулометри- ческий состав, мм	Наименование вяжущих				
	1	2	3	4	5
	ПЦ S уд= 330 м²/кг, %	КВ S уд= 555 м²/кг, %	КВ S уд= 964 м²/кг, %	КВ S уд= 1255 м²/кг, %	КВ S уд= 1431 м²/кг, %
0–0,1	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
0,1–0,27	1	2	2	3	4
0,27–0,55	2	4	4	6	6
0,55–0,825	2	3	4	5	8
0,825–1	1	3	3	4	3
1–2,5	4	9	11	14	15
2,5–5	11	18	20	20	22
5–7,5	9	9	11	14	10
7,5–10	9	15	15	14	13
10–32,5	43	37	30	20	20
32,5–55	13	0	0	0	0
55–87,5	5	0	0	0	0
87,5–100	0	0	0	0	0
50 % > 		60–70 % 		70– 80 % 	80–90 % 

Сравнивая кривые гранулометрических составов композиционных вяжущих, следует отметить, что все кривые имеют характерный профиль, представленный двумя характерными возвышенными участками «плато» в диапазоне размеров зерен 1...3 мкм при меньшей удельной поверхности (при S_{уд} = 555 м²/кг и S_{уд} = 964 м²/кг) и «седловинами» в диапазоне 7,5...10 мкм при повышенной удельной поверхности (при S_{уд} = 1255 м²/кг, S_{уд} = 1431 м²/кг).

Анализируя кривые гранулометрического состава по содержанию различных фракций и их соотношению, отмечается, что все кривые сдвигаются влево, к уменьшению величины фракций в соответствии с возрастанием удельной поверхности. При сравнении изменений содержания по фракциям в составах отмечается, что с увеличением удельной поверхности составов содержание фракций 10...32,5 мкм снижается с 37 до 20 % (табл. 2). «Плато» в диапазоне 7,5...10 мкм

показывает незначительное снижение с 15 до 13 %. В диапазонах фракционных составов 5...7,5 мкм и 2,5...5 мкм отмечается незначительное увеличение количества этих фракций при повышенной удельной поверхности. А при фракционном составе 1...2,5 мкм, по содержанию фракций составы вяжущих опять выходит на «плато», что свидетельствует о том, что в составах устанавливается одинаковое количество этих фракций, независимо от измельчения.

Сравнение фракционных составов композиционных вяжущих с различной удельной поверхностью в диапазоне от 0,825 до 0,1 мкм показывает, что все вяжущие имеют незначительный прирост указанных фракций, соизмеримый с гранулометрическим составом портландцемента.

Проведенный расчетный анализ полученных кумулятивных кривых портландцемента и композиционных вяжущих наглядно показал, что полученные вяжущие, в зависимости от разной удельной поверхности, имеют различное содер-

жание мелких фракций. Так, при удельной поверхности вяжущих: 555 м²/кг, 964 м²/кг, 1255 м²/кг, 1431 м²/кг, соответственно, содержание наименьшей фракции до 10 мкм, составляет 60...70 %; 60...70 %; 70...80 %; 80...90 %; и в сравнении с портландцементом, имеющим около 50 %.

Наличие «плато» и «седловин» на кривых гранулометрических составов вяжущих вызвано, вероятно, особенностями протекания процессов помола в вибрационной мельнице, что, возможно, связано с загрузкой мелющими шарами, конструктивными особенностями мельницы, а также накоплением дисперсной фракции (рис. 4), что требует дальнейших исследований по совершенствованию помольного агрегата.

Композиционные вяжущие, полученные помолотом из бетонного лома, с различными показателями гранулометрического состава, будут, безусловно, обладать отличительными физико-механическими и технологическими свойствами.

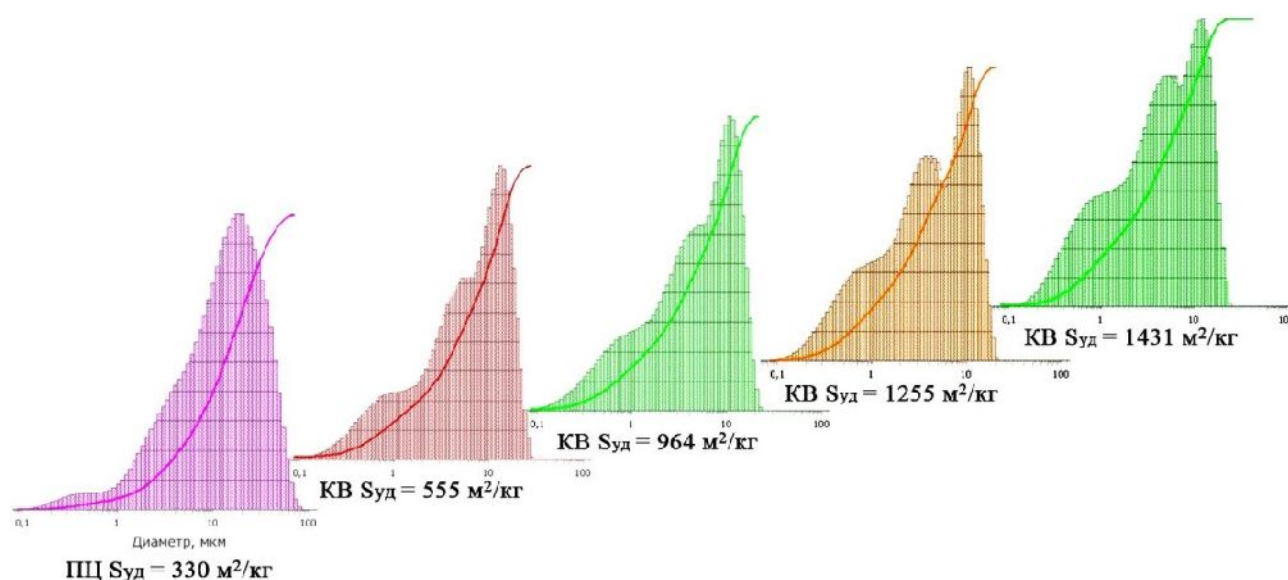


Рис. 4. Сравнительный ряд характерных кривых гранулометрического состава портландцемента и композиционных вяжущих из бетонного лома

В соответствии с требованиями ГОСТ 310.3–76 и 310.4–81 определяли сроки схватывания и предел прочности при сжатии в возрастах: 2, 7 и 28 суток, а также при ускорении твердения образцов полученных композиционных вяжущих (рис. 5 и 6).

Анализ полученных результатов по определению нормальной густоты и сроков схватывания композиционных вяжущих свидетельствует о влиянии увеличения удельной поверхности на

эти свойства. Так если у композиционного вяжущего ($S_{уд}=555 \text{ м}^2/\text{кг}$) начало сроков схватывания составляло 20 мин и конец 55 мин и продолжительность этого периода включала 35 мин, то в составе вяжущего ($S_{уд}=964 \text{ м}^2/\text{кг}$) эти показатели составляли соответственно 45 мин и 180 мин, а продолжительность этого периода составляла 135 мин, что свидетельствует о протекании сложных процессов структурообразования, связанных с увеличением удельной поверхности в системе на 409 м²/кг.



Рис. 5. Сроки схватывания композиционных вяжущих

Сравнение композиционного вяжущего ($S_{уд}=1255 \text{ м}^2/\text{кг}$) по срокам схватывания с исходным составом ($S_{уд}=555 \text{ м}^2/\text{кг}$) показывает, что начало срока схватывания составило 90 мин, а конец срока схватывания составил 255 мин, продолжительность этого периода составила 165 мин, что ещё раз свидетельствует о разнообразии гидратационных процессов в системе, что отражается на процессах структурообразования цементного камня.

Дальнейшее сравнение композиционного вяжущего состава ($S_{уд}=1431 \text{ м}^2/\text{кг}$) с составом ($S_{уд}=555 \text{ м}^2/\text{кг}$) показало, что начало срока схватывания этого состава имеет 100 мин и конец схватывания 270 мин, а продолжительность этого периода составляет 170 мин, что незначительно отличается от состава ($S_{уд}=1255 \text{ м}^2/\text{кг}$) и согласуется с нормативными требованиями к вяжущим.

Сравнивая соотношения величин начал и концов схватывания исследуемых композиционных вяжущих составов с удельными поверхностями 555, 964, 1255 и 1431 $\text{м}^2/\text{кг}$ следует отметить, что их соотношение составляет: для состава ($S_{уд}=555 \text{ м}^2/\text{кг}$) величину – 2,75; для состава ($S_{уд}=964 \text{ м}^2/\text{кг}$) – 4,0; для состава ($S_{уд}=1255 \text{ м}^2/\text{кг}$) – 2,8 и для состава ($S_{уд}=1431 \text{ м}^2/\text{кг}$) – 2,7; эти соотношения свидетельствуют о том, что во всех полученных композиционных вяжущих в зависимости от изменяющейся дисперсности процессы структурообразования имеют свои особенности.

Следует выделить состав ($S_{уд}=964 \text{ м}^2/\text{кг}$), у которого соотношение между сроками схватывания несколько превышает показатели составов ($S_{уд}=555, 1255 \text{ и } 1431 \text{ м}^2/\text{кг}$), что вероятно, свя-

зано с соотношением между крупными и мелкими фракциями в системе, приводящим к созданию густой коагуляционной структуры, тормозящей сроки схватывания.

Следует отметить, что во всех составах с увеличением удельной поверхности наблюдается увеличение продолжительности между началом и концом схватывания, что можно объяснить высокой реакционной активностью процессов структурообразования вследствие повышенного содержания зерен высокой дисперсности.

Для определения физико-механических показателей из композиционных вяжущих отформованы образцы-кубики размерами $3 \times 3 \times 3 \text{ см}$ (по 3 шт.), которые хранились в нормальных условиях. Испытания образцов вяжущих проводили в возрастах: 2, 7 и 28 суток (рис.6).

Установлено, что все композиционные вяжущие характеризуются стабильным набором прочности (рисунок 5). Сравнивая полученные результаты по нарастанию прочности вяжущего ($S_{уд}=555 \text{ м}^2/\text{кг}$) от 2 до 28 суток отмечается, что прирост прочности от 2 до 7 суток составляет 57 %, а с 7 до 28 суток 22 %. Нарастание прочности у вяжущего ($S_{уд}=964 \text{ м}^2/\text{кг}$) свидетельствует о приросте прочности с 2 до 7 суток – 27 % и приросте прочности в возрасте с 7 до 28 суток – 21 %.

Рассматривая прирост прочности вяжущего ($S_{уд}=1255 \text{ м}^2/\text{кг}$) в возрасте от 2 до 7 суток, видно, что прирост прочности составил 35 %, а в возрасте с 7 до 28 суток – 15 %.

Прирост прочности вяжущих с удельной поверхностью 1431 $\text{м}^2/\text{кг}$ в возрасте от 2 до 7 суток имеет 5 %, а в возрасте от 7 до 28 суток прирост прочности составил 31 %.

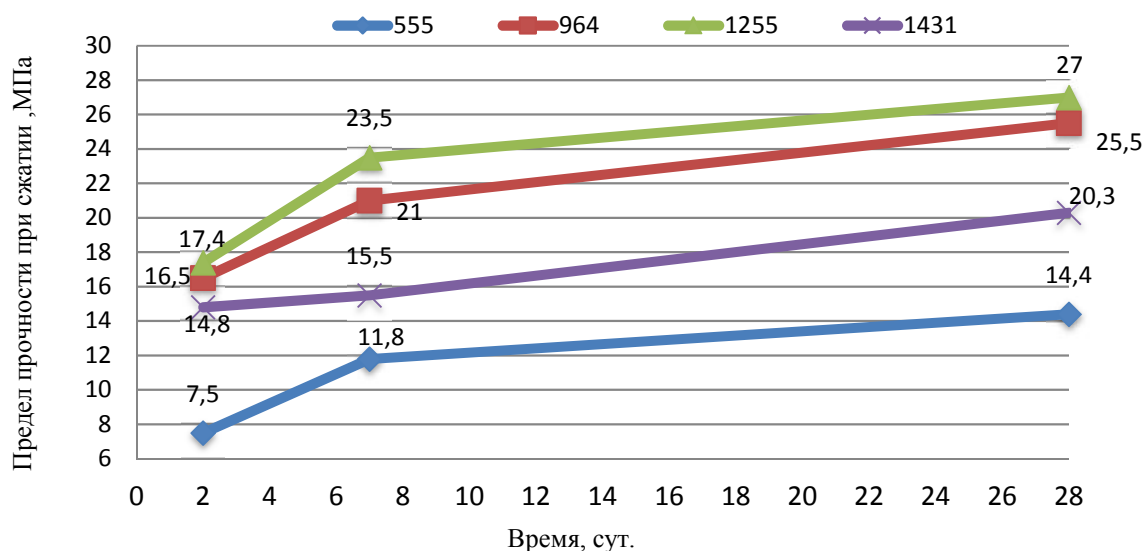


Рис. 6. Динамика нарастания прочности композиционных вяжущих при нормальном твердении

Рассматривая в целом сравнительные физико-механические показатели твердения вяжущих с различными удельными поверхностями следует отметить, что наиболее стабильными результатами с равномерным нарастанием прочности является состав вяжущего с удельной поверхностью 964 м²/кг, с приростом прочности от 2 до 7 суток – 27 % и от 7 до 28 суток – 21 %. Кроме того, следует отметить что этот состав вяжущего характеризуется оптимальными показателями прочности в возрасте 28 суток – 25,5 МПа. По нашему мнению, при такой удельной поверхности создаются наилучшие условия для формирования первичного каркаса и дальнейшего обрас- тания его различными кристаллогидратами кальция, обеспечивающими оптимальную плотность и прочность.

Достоинством этого состава является и то, что этот состав имеет удельную поверхность 964 м²/кг, не требующего значительного перерасхода электроэнергии при его получении, т. е. состав обеспечивает оптимальные технико-экономические показатели: при незначительном расходе электроэнергии – получение максимальных прочностных показателей.

Во всех композиционных вяжущих с различными удельными поверхностями количество воды, добавляемое при их затворении, значительно превышает величину, которая расходуется на собственно химическую реакцию гидратации и образование гидросиликатов и гидроалюминатов. Избыточная вода не препятствует схватыванию и входит в структуру гелей, которые возникают вблизи цементных частиц (рис. 7). Так формируется коллоидная система из мельчайших частиц гидратов.

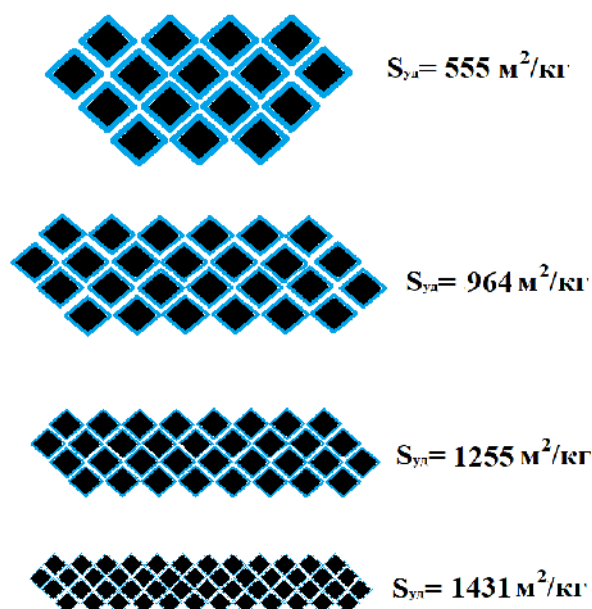


Рис. 7. Условная схема соотношения содержания твердой, жидкой и гелевой фаз в вяжущих с различными удельными поверхностями

Установлено, что содержание воды в каждом композиционном вяжущем с увеличением удельной поверхности будет создавать определённые условия для процессов формирования сроков схватывания (начало – конец), структурообразования и нарастания прочности. Изменение В/Вяз отношения в зависимости от различной удельной поверхности отсеков дробления бетонного лома представлено на рисунке 8, где отчётливо видно, что с увеличением удельной поверхности возрастает В/Вяз отношение.

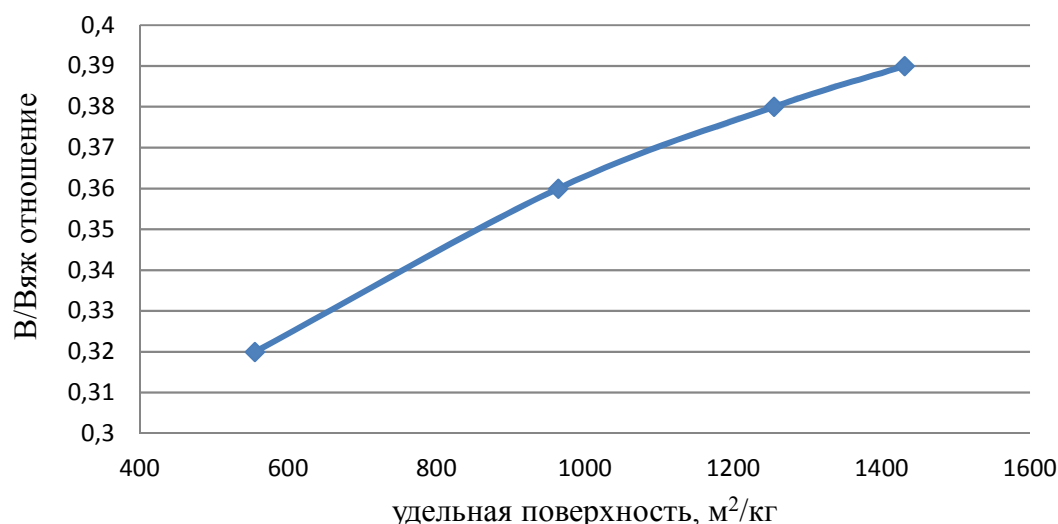


Рис. 8. Изменение В/Вяз отношения в зависимости от различной удельной поверхности отсеков дробления бетонного лома

По мере уменьшения размера зерен вяжущих с $S_{уд} = 964; 1255$ и $1431 \text{ м}^2/\text{кг}$ (рис.7) количество свободной воды снижается, а содержание гелей в системе становится больше, так как каждая мельчайшая частица впитывает воду и процессы гидратации идут активнее вследствие значительной большой поверхности контактов вяжущего с водой.

Выводы. Исходя из полученных результатов, можно сделать вывод, что композиционные вяжущие полученные в вибрационной мельнице из бетонного лома фракции (0,00–0,16 и 0,16–0,315 мм) удовлетворяют требованиям нормативной документации по срокам схватывания и физико-механическим показателям, что позволяет рекомендовать их для использования в качестве вяжущих при получении строительных изделий и конструкций различного назначения. Использование фрагментов разрушенных зданий и сооружений ускорит строительство зданий и сооружений новых городов. Следует отметить, что применение строительных отходов, полученных в результате военных действий или сноса зданий создает более комфортные условия для пребывания человека в помещении в различных климатических зонах при большом диапазоне изменения температурно-влажностных параметров и др.

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. Tan M.D., Gyeong K., Young-sang K. Development of a new cementless binder for controlled low strength material (CLSM) using entirely by-

products // *Construction and Building Materials*. 2019. Vol. 206. Pp. 576–589

3. Tan M.D., Gyeong K., Ngan V., Young-sang K. Development of a new cementless binder for marine dredged soil stabilization: Strength behavior, hydraulic resistance capacity, microstructural analysis, and environmental impact // *Construction and Building Materials*. 2018. Vol. 186. Pp. 263–275

4. Муртазаев С-А.Ю., Исмаилова З.Х. Использование местных техногенных отходов в мелко-зернистых // *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. С. 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. С. 15146–15155.

11. Lesovik V.S., Chulkova I.L., Zagordnyuk 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. 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 волластона на свойства мелкозернистого бетона // Строительные материалы и изделия. 2019. Том 2. №6. 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. 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.

Информация об авторах

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.

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.

Аль мамури Саад Кхалил Шадид, аспирант кафедры строительного материаловедения, изделий и конструкций. E-mail: saad.shadeed.ss71@gmail.com. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Гунченко Татьяна Сергеевна, студентка кафедры строительства и городского хозяйства. E-mail: gunchenkot99@mail.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Поступила 10.06.2020

© Лесовик Р.В., Ахмед А.А.А., Аль Мамури С.К.Ш., Гунченко Т.С., 2020

Lesovik R.V., *Ahmed A.A.A., Al Mamouri S.K.S., Gunchenko T.S.

Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhova

**E-mail: civileng85@yahoo.com*

COMPOSITE BINDERS BASED ON CONCRETE SCRAP

Abstract. The object of research is composite binders obtained from concrete scrap of destroyed buildings and structures for the production of various construction products and structures. Fractions of concrete scrap of 0,0–0,16 mm and 0,16–0,315 mm are used, since x-ray-phase analysis of various fractions of concrete scrap shows that these fractions have the highest content of non-hydrated particles of alite and belite. The influence of the specific surface area on the normal density of cement dough and the setting time of binders is established. Comparative physical and mechanical indicators of hardening of binders with different specific surfaces indicate that the most stable results with a uniform increase in strength is the composition of a binder with a specific surface of 964 m²/kg, with an increase in strength from 2 to 7 days – 27 % and from 7 to 28 days – 21 %. This binder is characterized by optimal strength at the age of 28 days – 25,5 MPa. With a specific surface of 964 m²/kg, the best conditions are created for the formation of the primary frame and its further fouling with various calcium crystalline hydrates, which ensure optimal density and strength. This composite

binder has a specific surface area of 964 m²/kg and is more energy-efficient. Composite binders obtained in a vibration mill from concrete scrap fractions (0,0–0,16 and 0,16–0,315 mm) meet the requirements of normative documentation on setting time and physico-mechanical parameters, which allows to recommend them for use as binders in the production of construction products and structures for various purposes.

Keywords: *effective composites, fragments of destroyed buildings and structures, construction waste, green construction, environment, 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. Tan M.D., Gyeongo K., Young-sang K. Development of a new cementless binder for controlled low strength material (CLSM) using entirely by-products. *Construction and Building Materials*. 2019. Vol. 206. Pp. 576–589
3. Tan M. D., Gyeongo K., Ngan V., Young-sang K. Development of a new cementless binder for marine dredged soil stabilization: Strength behavior, hydraulic resistance capacity, microstructural analysis, and environmental impact. *Construction and Building Materials*. 2018. Vol. 186. Pp. 263–275
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-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. Lesovik V.S., Zagorodniuk L.Kh., Chernysheva N.V., Glagolev E.S., Kucherova A.S., Drebezgova M.Y., Kaneva E.V. Modern three-dimensional technologies and factors holding them back [Sovremennye trekhmernye tekhnologii i faktory sderzhivayushchie ih]. *Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov*. 2016. No. 12. Pp. 22–30. (rus)
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. Pp. 15146–15155/
11. Lesovik V.S., Chulkova I.L., Zagordnyuk 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]. *Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov*. 2014. No. 4. Pp. 25–31. (rus)
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 [Vliyanie mikronapolnitelej iz prirodnogo vollastonita na svoystva melkozernistogo betona]. *Building materials and products*. 2019. Vol. 2. No. 6. Pp. 20–28. (rus)
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

Lesovik, Ruslan V. DSc, Professor. E-mail: ruslan_lesovik@mail.ru. Belgorod State Technological University. V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, St. Kostyukova 46.

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

Al Mamuri, Saad Khalil Shadid, PhD student. Email: saad.shadeed.ss71@gmail.com. Belgorod State Technological University. V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, St. Kostyukova 46.

Gunchenko, Tatyana S. Student. E-mail: gunchenkot99@mail.ru. Belgorod State Technological University. V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, St. Kostyukova 46.

Received 10.06.2020

Для цитирования:

Лесовик Р.В., Ахмед А.А.А., Аль Мамури С.К.Ш., Гунченко Т.С. Композиционные вяжущие на основе бетонного лома // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2020. № 7. С. 8–18. DOI: 10.34031/2071-7318-2020-5-7-8-18

For citation:

Lesovik R.V., Ahmed A.A.A., Al Mamouri S.K.S., Gunchenko T.S. Composite binders based on concrete scrap. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2020. No. 7. Pp. 8–18. DOI: 10.34031/2071-7318-2020-5-7-8-18

DOI: 10.34031/2071-7318-2020-5-7-19-25

Духанина У.Н., *Строкова В.В., Балицкий Д.А.

Белгородский государственный технический университет им. В.Г. Шухова

*E-mail: vvstrokova@gmail.com

ВЛИЯНИЕ МИКРОБНОЙ КАРБОНАТНОЙ МИНЕРАЛИЗАЦИИ НА ГИДРОФОБНОСТЬ ПОВЕРХНОСТИ ЦЕМЕНТНОГО КАМНЯ

Аннотация. Теоретически обосновано и экспериментально подтверждено влияние микробной карбонатной минерализации на повышение гидрофобности поверхности цементного камня. На основании проведенных экспериментальных исследований и анализа литературных данных сформулированы основные этапы микробно-индуцированного осаждения карбоната кальция на поверхности цементного камня. Описаны изменения морфологии поверхности цементного камня за счет сформированных в процессе биоминерализации в постгенетический период кристаллических новообразований. Показано, что биокольматация межпорового пространства цементного камня кристаллическими новообразованиями приводит к повышению гидрофобности, о чем свидетельствует увеличение значения контактного угла смачивания. Установлена взаимосвязь между изменением концентрации кальция в новообразованиях и среднего значения контактного угла смачивания на поверхности цементного камня от вида бактериальной культуры. По данным химического и морфологического анализа биоиндуцированных новообразований на поверхности образцов, а также результатам оценки изменения контактного угла смачивания по сравнению с исходным показателем для цементного камня, бактериальные культуры проранжированы в порядке повышения эффективности использования для осаждения карбоната кальция при их участии, а также повышения гидрофобности цементных материалов в следующей последовательности: *Sporosarcina pasteurii* → *Bacillus megaterium* → *Lysinibacillus sphaericus* → *Bacillus pumilus*.

Ключевые слова: карбонатная биоминерализация, бактериальная культура, цементная матрица, контактный угол смачивания, гидрофобность, кольматация.

Введение. Одной из активно развивающихся технологий сохранения и восстановления строительных материалов является микробно-индуцированное осаждение карбоната кальция [1–4]. Вовлечение бактериальных агентов в карбонатогенез представляет особый интерес, поскольку может быть использован как метод селективной биологической кольматации и/или инкрустации (обрастание) как порового пространства цементной матрицы, так и поверхности цементного композита. Биокольматация порового пространства происходит в несколько этапов, начиная от прикрепления отдельных клеток бактериального штамма к твердому субстрату, до полного обрастания поры кристаллами карбоната кальция [2, 5]. Результатом такого обрастания и закупорки пор цементного камня является как снижение пористости и, как следствие водопроницаемости [6, 7, 8], так и изменение характера микрорельефа поверхности, что влечет за собой изменение степени гидрофобности поверхности, оцениваемую контактным углом смачивания.

Исследованиями, выполненными рядом научных групп, была показана эффективность залечивания микротрещин цементных материалов, проявляющаяся в виде формирования крупнокристаллических по сравнению с продуктами гидратации новообразований карбонатов каль-

ция в постгенетический период [9], проанализировано влияние биоминерализации в трещинах на изменение прочности материалов [10, 11], изучены технологические особенности работы с бактериальным инокулятом при его использовании [12]. Однако вопрос влияния карбонатной биоминерализации на изменение микроструктуры и гидрофобности поверхности цементных материалов в зависимости от вида бактерий и применяемых видов и концентраций прекурсоров остается открытым.

Ранее нами был проведен обобщающий анализ видов микроорганизмов, применяемых для карбонатной биоминерализации при восстановлении строительных материалов [12], который определил выбор применяемых бактерий *Lysinibacillus sphaericus*, *Bacillus megaterium*, *Bacillus pumilus*, *Sporosarcina pasteurii* в исследованиях по следующим критериям: отсутствие патогенности, высокая уреазная активность, карбонатогенная продуцирующая способность, высокая выживаемость в щелочных условиях, способность образовывать эндоспоры, устойчивые к высоким температурам, химическим веществам и ультрафиолетовому излучению. Проанализирована динамика роста вышеуказанных бактериальных штаммов при одномоментном добавлении питательных веществ и доступности кислорода [13], произведена оценка метаболической уреазной

активности по изменению уровня pH в жидкой модельной среде в зависимости от вида и концентрации применяемых прекурсоров, установлено влияние компонентов среды и вида бактериального штамма на морфологию кристаллических новообразований.

В последующем для исключения влияния продуктов гидратации на процессы карбонатной бактериальной минерализации исследование проводилось на модельной системе «бактерии – кварцевый песок». Результаты эксперимента подтверждается интенсивность литификации кварцевого песка в зависимости от его дисперсности.

Методология. Для комплексного изучения процессов бактериального карбонатогенеза в строительном материале, понимания механизмов биокарбонизации, а также выявления перспективных бактериальных культур и прекурсоров, взаимодействующих с цементной матрицей, следующим этапом работы стало инкубирование исследуемых бактериальных культур на поверхности цементного камня. Для этого готовили образцы-кубы с размером ребра 10 мм с В/Ц 0,4 с использованием портландцемента марки ЦЕМ I 42,5 Н и водопроводной воды. Для чистоты эксперимента и исключения влияния других микроорганизмов на ход исследования используемые материалы проходили предварительную деконтаминационную обработку до введения бактериальных культур: водопроводная вода с растворенным CaCl_2 – методом автоклавирования; $\text{CH}_4\text{N}_2\text{O}$ – воздушным методом в сухожаровом шкафу; образцы-кубы – методом УФ-стерилизации. Для ускоренного достижения заданных нормативных значений прочности цементных образцов применяли тепловлажностную обработку по режиму 1,5+6+1,5 ч при 60 °С.

В качестве исследуемых бактериальных культур применяли инокуляты бактериальных штаммов Всероссийской коллекции микроорганизмов Института биохимии и физиологии микроорганизмов им Г.К. Скрыбина Российской академии наук рода: *Lysinibacillus sphaericus* (VKM B-509), *Bacillus megaterium* (VKM B-40), *Bacillus pumilus* (VKM B-23), *Sporosarcina pasteurii* (VKM B-513).

Для инициации бактериального карбонатогенеза на поверхности бетонной матрицы в качестве прекурсоров использовали CaCl_2 (20 г/л) и $\text{CH}_4\text{N}_2\text{O}$ (20 г/л), растворенные в дистиллированной воде, генерирующие щелочные условия для метаболической активности бактерий.

Процессы биоминерализации стимулировали путем полного погружения образцов в модельную среду с бактериальным инокулятом и

прекурсорами в чаши Петри, в которых они находились в течение 28 суток с обновлением бактерий и растворов прекурсоров через каждые 3 дня, с целью поддержания заданного начального уровня концентрации.

Для оценки возможного влияния прекурсоров без бактериального воздействия на изменение контактного угла смачивания, образцы цементного камня выдерживали при тех же параметрах, но в растворах хлорида кальция и мочевины без бактериального инокулята (контроль 2). Для сравнительного анализа использовали образцы цементного камня, не подверженные воздействию бактерий и прекурсоров (контроль 1).

Микроструктурные изменения цементного камня и морфологию новообразованных кристаллов изучали с помощью сканирующего электронного микроскопа TESCAN MIRA 3 LMU, включающего энергодисперсионный спектрометр (ЭДС) X-MAX 50 Oxford Instruments NanoAnalysis для электронно-зондового микроанализа, где источник электронов – Катод Шоттки высокой яркости.

Измерение контактного угла смачивания на поверхности образцов проводили при помощи прибора Kruss DSA 30. В качестве рабочей жидкости для измерений использовали дистиллированную воду. Для получения среднего значения контактного угла смачивания производили измерения на шести гранях образцов-кубов.

Основная часть. Анализ полученных данных в совокупности с ранее проведенными исследованиями [8] и литературными данными [12] показал, что микробно-индуцированное осаждение карбоната кальция на поверхности цементной матрицы происходит в несколько этапов:

- после помещения образцов цементного камня в чаши Петри за счет капиллярного подсоса происходит их объемная пропитка раствором прекурсоров с инокулятом. Глубина пропитки определяется плотностью, пористостью и особенностями микроструктуры порового пространства;

- в результате процесса адсорбции на поверхности цементной матрицы происходит колонизация микробиоты, а в поровом пространстве фиксация бактериальных клеток;

- растворенные прекурсоры иницируют биохимический процесс метаболической деятельности бактериальных штаммов, стимулируя уреазную активность бактерий. В результате разложения мочевины происходит локальное повышение pH, прекурсоры увеличивают выживаемость клеток в щелочных условиях;

- происходит гетерогенная нуклеация зародышей кристаллов в межпоровом пространстве и рост новообразований.

Согласно вышеприведенным этапам в результате воздействия на цементную матрицу бактериальных агентов, инициирующих процессы карбонатной минерализации, происходит, во-первых, биоколонизация порового пространства, степень которой зависит от уровня пропитки цементной матрицы, и во-вторых, инкрустация поверхности образца новообразованиями различной морфологии и минерального состава в зависимости от вида бактериального агента.

Изучение микроструктурных особенностей поверхности образцов показало, что в отличие от исходного (контроль 1) цементного камня (рис. 1, а), образец, выдержанный в растворе прекурсоров (контроль 2), характеризуется глобулярной структурой новообразований, покрывающих це-

ментный камень (рис. 1, б). Вероятно, происходит осаждение растворенных прекурсоров без карбонизации. Задействование в эксперименте бактерий привело к формированию кристаллических новообразований, имеющих преимущественно ромбоэдрическую форму с четкими гранями, чаще субмикронного размера (рис. 1, в–е). Хорошо прослеживаются структуры роста и двойники, что свидетельствует о постгенетическом по отношению к цементному камню формировании данных кристаллов. Среди четырех видов использованных бактерий, наименее продуктивными, с точки зрения роста идентифицируемых с помощью микрофотоснимков кристаллов, показали себя бактерии рода *B. megaterium* (рис. 1, г).

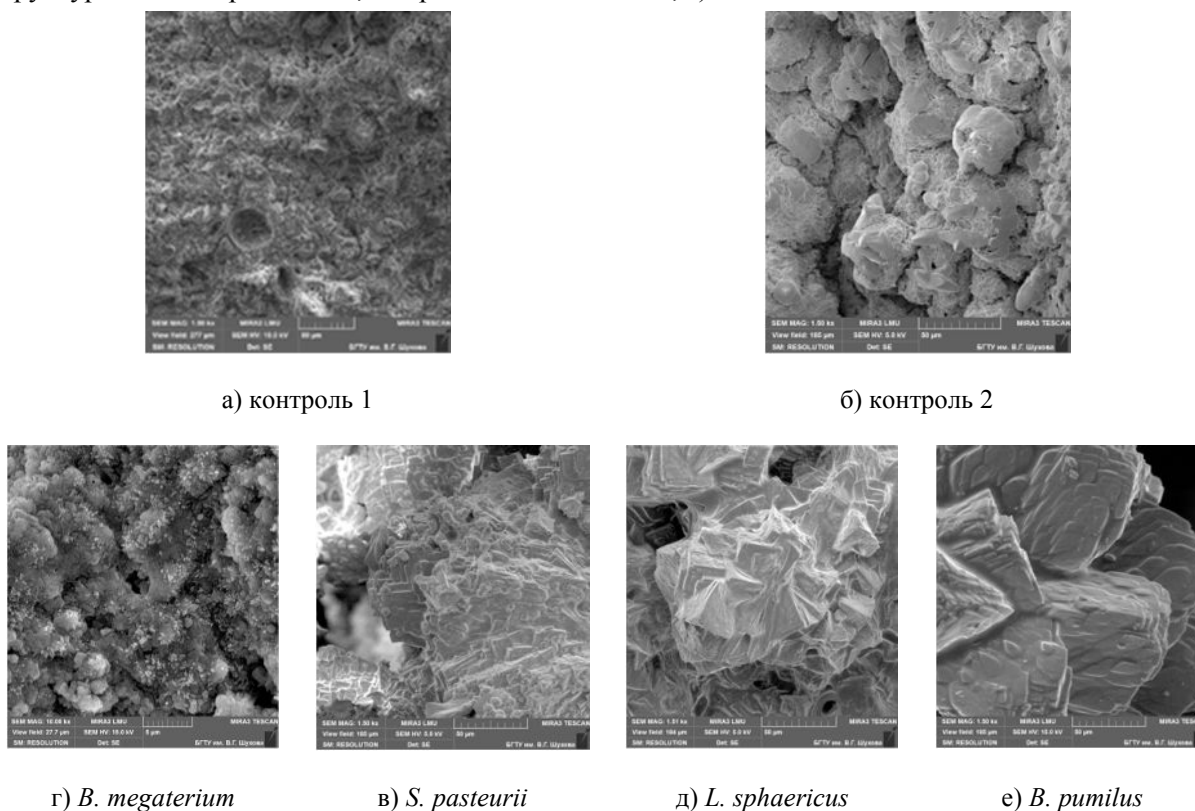


Рис. 1. Морфология поверхности цементного камня (а), новообразований после выдержки в растворе прекурсоров (б), новообразований индуцированных бактериями (в–е)

По данным энергодисперсионного микроанализа, проведенного на растровом электронном микроскопе, новообразований, сформированных на поверхности образцов цементного камня в присутствии бактериальных штаммов, максимальным содержанием кальция характеризуются новообразования, полученные в процессе индукции при воздействии бактериального штамма *B. pumilus* – 40 % (табл. 1). При введении инокулятов бактерий *L. sphaericus* и *B. megaterium* в образцах получены практически одинаковые результаты по содержанию кальция – 36 %. Менее эффективной бактериальной культурой в процессах биоиндуцирования карбоната

кальция показала себя *S. Pasteurii*, о чем свидетельствуют полученные данные о суммарном содержании кальция, приближенные к значениям контрольного образца 2, выдержанного в растворе прекурсоров без инокулята – 33 %.

Обрастание цементного камня кристаллическими новообразованиями, произошедшее в процессе карбонатной биоминерализации, привело к структурно-морфологическим изменениям и, как следствие, к изменению микрорельефа – формированию микро- и макрошероховатостей. Следствием этих процессов явилось изменение гидрофобности поверхности цементного камня, о чем свидетельствует увеличение контактного угла

смачивания (КУ) [14–15]. Так, на исходном не обработанном бактериальным инокулятом и раствором с прекурсорами образце цементного камня (контроль 1) среднее значение контактного угла смачивания составляет 45° (табл. 2). Выдержка образца цементного камня в растворе прекурсоров и последующая сушка в естественных условиях привела к изменению морфологии его поверхности, обусловленному осаждением хлорида кальция и мочевины, вследствие чего увеличился контактный угол (КУ=51°). Выдержка цементного камня в растворах прекурсоров с бактериальными инокулятами *B. megaterium*, *L. sphaericus*, *B. pumilus* спровоцировала процессы карбонатной минерализации, в результате чего в межпоровом пространстве и на поверхности образцов произошла кристаллизация

карбоната кальция. Следствием этих процессов явилось наблюдаемое увеличение контактного угла смачивания (табл. 2), средние значения которого составили 55°, 71° и 81° соответственно. Среднее значение контактного угла смачивания на образце с бактериальным штаммом *S. pasteurii* составило 48°, что несколько выше контрольного образца, однако ниже значения, установленного для цементного камня, выдержанного в растворе прекурсоров без бактериального воздействия. Этот факт можно объяснить самой низкой среди изученных бактериальных культур интенсивностью карбонатной минерализации и, следовательно, постгенетической инкрустацией, проявляющейся незначительным изменением рельефа поверхности образцов.

Таблица 1

Количественное содержание кальция в образцах

Наименование образцов			Концентрация Са, %
Цементный камень	выдержанный в растворе прекурсоров (контроль 2)		34
	выдержанный в бактериальном инокуляте с растворами прекурсоров	<i>S. pasteurii</i>	33
		<i>B. megaterium</i>	35
		<i>L. sphaericus</i>	36
		<i>B. pumilus</i>	40

Таблица 2

Характер изменения контактного угла смачивания в зависимости от состава образцов цементного камня

Наименование образцов			Среднее значение контактного угла смачивания, градус
Цементный камень	Контроль 1		45
	выдержанный в растворе прекурсоров (контроль 2)		51
	выдержанный в бактериальном инокуляте с растворами прекурсоров	<i>S. pasteurii</i>	48
		<i>B. megaterium</i>	55
		<i>L. sphaericus</i>	71
		<i>B. pumilus</i>	81

Сравнительный анализ позволил установить связь между интенсивностью карбонатной биоминерализации, характеризующейся содержа-

нием кальция по данным микроанализа, и средним значением контактного угла смачивания (рис. 2).

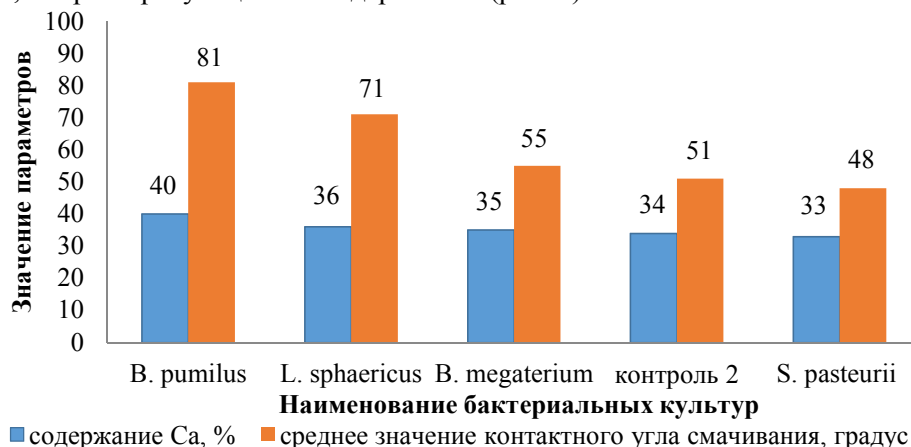


Рис. 2. Изменение концентрации кальция (по данным химического анализа) в новообразованиях и среднего значения контактного угла смачивания на поверхности цементного камня от вида бактериальной культуры

Выводы. Таким образом, в ходе исследования было показано, что в результате микробной карбонатной минерализации, которой подвергались образцы цементного камня, происходит биоколонизация пор на глубину пропитки матрицы, инкрустация биоиндуцированными кристаллами карбоната кальция поверхности образцов и создание более развитого микрорельефа по сравнению с контрольным цементным камнем. Следствием карбонатной биоминерализации является повышение гидрофобности, о чем свидетельствует увеличение контактного угла смачивания на всех обработанных бактериальными культурами образцах цементного камня. По данным химического и морфологического анализа биоиндуцированных новообразований на поверхности образцов, а также результатам оценки изменения контактного угла смачивания по сравнению с исходным показателем для цементного камня, бактериальные культуры проранжированы в порядке повышения эффективности использования для осаждения карбоната кальция при их участии, а также повышения гидрофобности цементных материалов в следующей последовательности: *S. pasteurii* → *B. megaterium* → *L. sphaericus* → *B. pumilus*.

Источник финансирования. Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-29-12011 с использованием оборудования Центра Высоких Технологий БГТУ им. В.Г. Шухова.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Строкова В.В., Власов Д.Ю., Франк-Каменецкая О.В. Микробная карбонатная биоминерализация как инструмент природоподобных технологий в строительном материаловедении // Строительные материалы. 2019. № 7. С. 66–72. DOI: 10.31659/0585-430X-2019-772-7-66-72.
2. Dhami N.K., Reddy M.S., Mukherjee A. Biomineralization of calcium carbonates and their engineered applications: a review // Frontiers in Microbiology. 2013. No. 4. P. 314. DOI.org/10.3389/fmicb.2013.00314
3. Seifan M., Berenjian A. Microbially induced calcium carbonate precipitation: a widespread phenomenon in the biological world // Applied Microbiology and Biotechnology. 2019. Vol. 103. No. 12. Pp. 4693–4708. DOI:10.1007/s00253-019-09861-5
4. Ivanov V., Chu J., Stabnikov V. Basics of construction microbial biotechnology // Biotechnologies and Biomimetics for Civil Engineering. 2015. Pp. 21–56. DOI.org/10.1007/978-3-319-09287-4_2
5. De Muynck W., De Belie N., Verstraete W. Microbial carbonate precipitation in construction materials: a review // Ecological Engineering. 2010. Vol. 36. Pp. 118–136. DOI:10.1016/j.ecoleng.2009.02.006
6. Сивков С.П., Логинова Т.В., Мымрина А.К. Биодобавки для сухих строительных смесей // Сухие строительные смеси. 2017. № 5. С. 15–18.
7. Le Métayer-Levrel G., Castanier S., Oriol G., Loubière J.-F., Perthuisot J.-P. Applications of bacterial carbonatogenesis to the protection and regeneration of limestones in buildings and historic patrimony // Sedimentary Geology. 1999. Vol. 26. Pp. 25–34. DOI:10.1016/S0037-0738(99)00029-9.
8. Rodriguez-Navarro C., Fadwa J., Schiro M., Ruiz-Agudo E., Gonzalez-Muñoz M.T. Influence of substrate mineralogy on bacterial mineralization of calcium carbonate: implications for stone conservation // Applied and Environmental Microbiology. 2012. Vol. 78. Pp. 4017–4029. DOI: 10.1128/AEM.07044-11.
9. Achal V., Mukerjee A., Reddy M.S. Biogenic treatment improves the durability and remediates the cracks of concrete structures // Construction and Building Materials. 2013. Vol. 48. Pp. 1–5. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2013.06.061.
10. Wang J.Y., Soens H., Verstraete W., De Belie N. Selfhealing concrete by use of microencapsulated bacterial spores // Cement and Concrete Research. 2014. Vol. 56. Pp. 139–152. DOI:10.1016/J.CEMCONRES.2013.11.009.
11. Wang J., Mignon A., Snoeck D., Wiktor V., Boon N., De Belie N. Application of modified-alginate encapsulated carbonate producing bacteria in concrete: a promising strategy for crack self-healing // Frontiers in Microbiology. 2015. Vol. 6. P. 1088. DOI: 10.3389/fmicb.2015.01088.
12. Строкова В.В., Власов Д.Ю., Франк-Каменецкая О.В., Духанина У.Н., Балицкий Д.А. Применение микробной карбонатной биоминерализации в биотехнологиях создания и восстановления строительных материалов: анализ состояния и перспективы развития // Строительные материалы. 2019. № 9. С. 83–103. DOI: 10.31659/0585-430X-2019-774-9-83-103.
13. Духанина У.Н., Балицкий Д.А., Строкова В.В. Воздействие кислорода и ионов кальция на морфогенез бактерий рода *Bacillus* // Наука и инновации в XXI веке: актуальные вопросы, открытия и достижения Сборник статей XIII Международной научно-практической конференции в 2-х частях. 2019. С. 48–50.
14. Кожухова М.И., Фомина Е.В., Фомин А.Е. Фракталы как иерархический принцип организации в строительном материаловедении // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2018. № 7. С. 18–23. DOI: 10.12737/article_5b4f02b20be876.03657115.

15. Кожухова М.И., Строкова В.В., Соболев К.Г. Особенности гидрофобизации мелкозернистых поверхностей // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2014. № 4. С. 33–35.

Информация об авторах

Духанина Ульяна Николаевна, аспирант кафедры материаловедения и технологий материалов. E-mail: Duhanina777@yandex.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Строкова Валерия Валерьевна, доктор технических наук, профессор. E-mail: vvstrokova@gmail.com. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Балицкий Дмитрий Андреевич, магистрант кафедры материаловедения и технологий материалов. E-mail: bob.stalker2012@yandex.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Поступила 11.05.2020

© Духанина У.Н., Строкова В.В., Балицкий Д.А., 2020

Dukhanina U.N., *Strokova V.V., Balitsky D.A.
Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhova
*E-mail: vvstrokova@gmail.com

INFLUENCE OF MICROBIAL CARBONATE MINERALIZATION ON HYDROPHOBICITY OF A CEMENT STONE SURFACE

Abstract. The effect of microbial carbonate mineralization on increasing the hydrophobicity of the cement stone surface is theoretically justified and experimentally confirmed. Based on experimental studies and analysis of literature data, the main stages of microbial-induced sedimentation of calcium carbonate on the surface of a cement stone are formulated. Changes in the morphology of the cement stone surface due to crystalline new formations formed during biomineralization in the postgenetic period are described. It is shown that biocolmatation of the interstitial space of a cement stone by crystalline new formations leads to an increase in hydrophobicity, as evidenced by an increase in the contact wetting angle. The relationship between the change in the concentration of calcium in neoplasms and the average value of the contact wetting angle on the surface of the cement stone from the type of bacterial culture is established. According to chemical and morphological analysis of bioinduction tumors on the surface of samples and also evaluation of changes of the contact angle compared to the original index for cement, bacterial cultures are ranked in order to increase the efficiency of use for sedimentation of calcium carbonate with their participation, as well as increase of cement materials hydrophobicity in the following sequence: *Sporosarcina pasteurii* → *Bacillus megaterium* → *Lysinibacillus sphaericus* → *Bacillus pumilus*.

Keywords: carbonate biomineralization, bacterial culture, cement matrix, contact wetting angle, hydrophobicity, colmatization.

REFERENCES

1. Strokova V.V., Vlasov D.Yu., Frank-Kamenetskaya O.V. Microbial carbonate biomineralisation as a tool of natural-like technologies in construction material science. *Construction Materials*. 2019. No. 7. Pp. 66–72. DOI: 10.31659/0585-430X-2019-772-7-66-722. (rus)

2. Dhami N.K., Reddy M.S., Mukherjee A. Biomineralization of calcium carbonates and their engineered applications: a review. *Frontiers in Microbiology*. 2013. No. 4. Pp. 314. DOI: 10.3389/fmicb.2013.00314.

3. Seifan M., Berenjian A. Microbially induced calcium carbonate precipitation: a widespread phenomenon in the biological world. *Applied Microbiology and Biotechnology*. 2019. Vol. 103. No. 12. Pp. 4693–4708. DOI:10.1007/s00253-019-09861-5.

4. Ivanov V., Chu J., Stabnikov V. Basics of construction microbial biotechnology. *Biotechnologies and Biomimetics for Civil Engineering*. 2015. Pp. 21–56. DOI: 10.1007/978-3-319-09287-4_2.

5. De Muynck W., De Belie N., Verstraete W. Microbial carbonate precipitation in construction materials: a review. *Ecological Engineering*. 2010. Vol. 36. Pp. 118–136. DOI:10.1016/j.ecoleng.2009.02.006.

6. Sivkov S.P., Loginova T.V., Mymrina A.K. Supplements for dry building mixes [Biodobavki dlya sukhikh stroitel'nykh smesey]. Sukhie stroitel'nye smesi. 2017. No. 5. Pp. 15–18. (rus)
7. Le Métayer-Levrel G., Castanier S., Orial G., Loubière J.-F., Perthuisot J.-P. Applications of bacterial carbonatogenesis to the protection and regeneration of limestones in buildings and historic patrimony. *Sedimentary Geology*. 1999. Vol. 26. Pp. 25–34. DOI:10.1016/S0037-0738(99)00029-9.
8. Rodriguez-Navarro C., Fadwa J., Schiro M., Ruiz-Agudo E., Gonzalez-Muñoz M.T. Influence of substrate mineralogy on bacterial mineralization of calcium carbonate: implications for stone conservation. *Applied and Environmental Microbiology*. 2012. Vol. 78. Pp. 4017–4029. DOI: 10.1128/AEM.07044-11.
9. Achal V., Mukerjee A., Reddy M.S. Biogenic treatment improves the durability and remediates the cracks of concrete structures. *Construction and Building Materials*. 2013. Vol. 48. Pp. 1–5. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2013.06.061.
10. Wang J.Y., Soens H., Verstraete W., De Belie N. Selfhealing concrete by use of microencapsulated bacterial spores. *Cement and Concrete Research*. 2014. Vol. 56. Pp. 139–152. DOI:10.1016/J.CEMCONRES.2013.11.009.
11. Wang J., Mignon A., Snoeck D., Wiktor V., Boon N., De Belie N. Application of modified-alginate encapsulated carbonate producing bacteria in concrete: a promising strategy for crack self-healing. *Frontiers in Microbiology*. 2015. Vol. 6. Pp. 1088. DOI: 10.3389/fmicb.2015.01088.
12. Strokova V.V., Vlasov D.Yu., Frank-Kamenetskaya O.V., Dukhanina U.N., Balitsky D.A. The use of microbial carbonate biomineralization in biotechnology the creation and restoration of building materials: analysis of the state and development prospects. *Construction Materials*. 2019. No. 9. Pp. 83–103. DOI: 10.31659/0585-430X-2019-774-9-83-103.
13. Dukhanina U.N., Balitsky D.A., Strokova V.V. The effect of oxygen and calcium ions on the morphogenesis of bacteria of the genus *Bacillus* [Vozdeystviye kisloroda i ionov kal'tsiya na morfogenez bakteriy roda *Bacillus*]. *Science and Innovation in the 21st Century: Real Issues, Discoveries, and Achievements The collection of states of the XIII International Scientific and Practical Conference in 2 parts*. 2019. Pp. 48–50. (rus)
14. Kozhuhova M.I., Fomina E.V., Fomin A.E. Fractals as a principle of hierarchical structure formation in construction material science [Fraktaly kak iyerarkhicheskiy printsip organizatsii v stroitel'nom materialovedenii]. *Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov*. 2018. No. 7. Pp. 18–23. DOI: 10.12737/article_5b4f02b20be876.03657115. (rus).
15. Kozhuhova M.I., Strokova V.V., Sobolev K.G. Features of hydrophobization of fine-grained surfaces [Osobennosti gidrofobizatsii melkozernistykh poverkhnostey]. *Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov*. 2014. No. 4. Pp. 33–35. (rus)

Information about the authors

Strokova, Valeria V. DSc, Professor. E-mail: vvstrokova@gmail.com. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Dukhanina, Ulyana N. Postgraduate student. E-mail: duhanina777@yandex.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Balitsky, Dmitry A. Master student. E-mail: bob.stalker2012@yandex.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Received 11.05.2020

Для цитирования:

Духанина У.Н., Строкова В.В., Балицкий Д.А. Влияние микробной карбонатной минерализации на гидрофобность поверхности цементного камня // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2020. № 7. С. 19–25. DOI: 10.34031/2071-7318-2020-5-7-19-25

For citation:

Dukhanina U.N., Strokova V.V., Balitsky D.A. Influence of microbial carbonate mineralization on hydrophobicity of a cement stone surface. *Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov*. 2020. No. 7. Pp. 19–25. DOI: 10.34031/2071-7318-2020-5-7-19-25

DOI: 10.34031/2071-7318-2020-5-7-26-32

Юрьев А.Г., Панченко Л.А., Серых И.Р., Чернышева Е.В.Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова***E-mail: yuriev_ag@mail.ru*

ОПТИМИЗАЦИЯ СТРУКТУРЫ ПОЛА ПРОМЫШЛЕННОГО ЗДАНИЯ

Аннотация. При определении конструкции пола, выборе материалов и технологии его устройства целесообразно применять системный подход, учитывающий его напряженно-деформируемое состояние. Физическая модель пола промышленного здания в упрощенной форме представляется как двухслойная плита на упругом основании. Компонентами плиты являются покрытие и прослойка, а для основания используется модель Винклера.

Деформирование грунтового основания неотъемлемо от напряженно-деформированного состояния сооружения, проявляющегося через геометрические и механические характеристики, граничные условия.

В качестве материала для покрытия предложен стеклофибробетон, обеспечивающий наряду с прочностью на сжатие, присущей бетону, должное сопротивление трещинообразованию.

Математическая модель базируется на уравнении С. Жермен и винклеровской зависимости. При решении оптимизационной задачи в линейно-упругой постановке используется критерий минимума потенциальной энергии деформации, приводящий к минимуму расхода материалов. Его эффективность подтверждается сопоставлением результатов на вариационной основе с анализом уравнения регрессии. В качестве варьируемых параметров приняты модуль продольной упругости и толщина прослойки. В процедуре расчета применяется конечно-разностный аналог математической модели.

Для полноты исследования был проведен двухфакторный эксперимент, результаты которого достаточно хорошо согласуются с выполненными теоретическими расчетами.

Ключевые слова: структура пола промышленного здания, вариационная постановка оптимизационной задачи, уравнение регрессии потенциальной энергии деформации.

Введение. В современном строительстве большое внимание уделяют теоретическому обоснованию устройства полов промышленных зданий. Помимо прочности, к ним предъявляются требования эксплуатационного характера: ровность, износостойкость, трещиностойкость.

В одноэтажных зданиях расход бетона на полы достигает иногда 40 % общего его расхода, а само устройство пола по затратам составляет чуть ли не пятую часть общей стоимости возведения здания.

В связи с отмеченными обстоятельствами при разработке конструкции пола, предусматривающей его долговечность и возможности перестановки технологического оборудования, стремятся достичь экономического эффекта за счет рациональной структуры рассматриваемого объекта.

Для объектов производственно-складского назначения в результате обследования полов накопился определенный опыт для системного подхода к их проектированию, технологии устройства и эксплуатации. Каждая из его этапов зависит от современного уровня знаний в этой отрасли.

Неотъемлемой предпосылкой является фактор грунтового основания. Его деформирование сопряжено с напряженно-деформированным со-

стоянием сооружения, составной частью которого является контактирующий пол. Система «сооружение-основание» рассматривается как взаимопроникающее единство конструктивного своеобразия сооружения и грунта. Поэтому весьма ответственным шагом в расчетах структуры пола является выбор физической модели, сохраняющей указанное единство.

В итоге можно сказать, что исследование напряженно-деформированного состояния полов промышленных зданий представляет собой сложную контактную задачу, которой посвящены фундаментальные работы [1–7]. Не менее сложным является инженерный подход к решению соответствующей проектной задачи.

Методика исследования. Методология решения контактной задачи для пола промышленного здания базируется на вариационных принципах синтеза в строительной механике, являющихся обобщением известных принципов анализа напряженно-деформированного состояния в механике деформируемого твердого тела. Замечательным свойством вариационных принципов синтеза является установление естественного критерия оптимальности в результате рассмотрения изопериметрической задачи.

Основная часть. Представим конструкцию пола в виде двухслойной плиты на упругом осно-

вании. В такого рода физической модели поперечные связи принимаем абсолютно жесткими [8].

В качестве модели грунта принимаем широко используемое в инженерной практике винклеровское основание, прогибы которого w пропорциональны интенсивности вертикальной поверхностной нагрузки: $p = kw$, где k – коэффициент постели.

В качестве математической модели положено дифференциальное уравнение С. Жермен [9, 10]:

$$D\nabla^2\nabla^2 w + kw = p, \quad (1)$$

где D – цилиндрическая жесткость. Так как коэффициент поперечной деформации ν для компонентов пола предполагается изменяющимся в узких пределах, допустимо принять его постоянным по толщине плиты.

Введем обозначения: t_1 – толщина прослойки, t_2 – толщина покрытия (рис. 1), E_1 и E_2 – соответствующие модули продольной упругости.

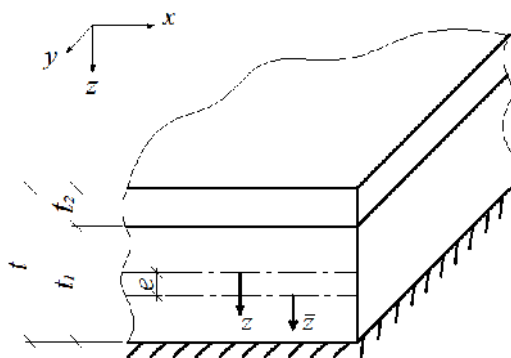


Рис. 1. Двухслойная плита на упругом основании

$$\left(6\alpha^2 + 8\alpha + 6 + \frac{kd^4}{D}\right)w_k + 4(\alpha + 1)(w_i + \alpha w_n + w_l + \alpha w_m) + 2\alpha(w_o + w_q + w_r + w_p) + w_s + \alpha^2 w_v + w_t + \alpha^2 w_u = \frac{p_k d^4}{D}, \quad (7)$$

где $\alpha = (\Delta y / \Delta x)^2$.

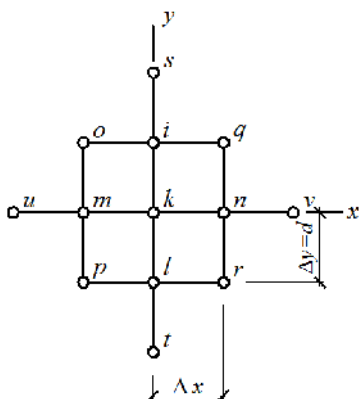


Рис. 2. Сетка метода конечных разностей

В неоднородной плите нейтральная ось смещается при $E_1 > E_2$ на величину e в положительном направлении оси z . Определим ее из условия равенства нулю продольной силы вдоль оси x (y). Используя гипотезу прямых нормалей, запишем условие $\sum X = 0$ в виде уравнения

$$\frac{k_x + \nu k_y}{1 - \nu^2} \int_{-t/2}^{t/2} E(z)(z - e) dz = 0, \quad (2)$$

где $k_x(k_y)$ – кривизна волокон, ориентированных на ось x (y), приближенное значение которой не зависит от z . В итоге получаем

$$e = \left(\int_{-t/2}^{t/2} E(z) z dz \right) / \left(\int_{-t/2}^{t/2} E(z) dz \right). \quad (3)$$

В частном случае (см. рис. 1) имеем

$$e = [(E_1 - E_2)t_1 t_2] / [2(E_1 t_1 + E_2 t_2)]. \quad (4)$$

Цилиндрическая жесткость в общем случае –

$$D = \frac{1}{1 - \nu^2} \int_{-t/2}^{t/2} E(z) z^2 dz, \quad (5)$$

и в частном случае [11]

$$D = \frac{1}{1 - \nu^2} \left\{ E_1 \left[\frac{t_1^3}{12} + t_1 \left(\frac{t_2}{2} - e \right)^2 \right] + E_2 \left[\frac{t_2^3}{12} + t_2 \left(\frac{t_1}{2} + e \right)^2 \right] \right\} \quad (6)$$

Конечно-разностный аналог уравнения (1) представляется в виде [12] (рис. 2):

Изгибающие моменты M_x и M_y вычисляются по формулам:

$$M_x = \frac{D}{d^2} [w_i + w_l - 2w_k + \alpha \nu (w_n + w_m - 2w_k)], \quad (8)$$

$$M_y = \frac{D}{d^2} [\alpha (w_n + w_m - 2w_k) + \nu (w_i + w_l - 2w_k)] \quad (9)$$

При решении оптимизационной задачи используется энергетический критерий: абсолютный минимум потенциальной энергии системы или дополнительной энергии, являющихся функциями напряженно-деформированного состояния и параметров структуры объекта [13, 14]. При линейно-упругой постановке задачи рас-

считается потенциальная энергия деформации, значительная часть которой происходит от изгибающих моментов:

$$U = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n (M_{xi} k_{yi} + M_{yi} k_{xi}) \Delta s_i, \quad (10)$$

где n – число внутренних и контурных точек, Δs_i – примыкающая площадь. При этом

$$k_x = \frac{M_y - \nu M_x}{(1 - \nu^2)D}, \quad k_y = \frac{M_x - \nu M_y}{(1 - \nu^2)D}. \quad (11)$$

Для пола промышленного здания в качестве материала для покрытия взят стеклофибробетон, обеспечивающий наряду с прочностью на сжатие, присущей бетону, должное сопротивление трещинообразованию [14–17]. Толщина его t_2 принимается обычно из практических соображений.

Варьируемыми параметрами считаются величины E_1 и t_1 , а в качестве дополнительного условия принимается ограничение:

$$E_1 t_1 = c (= \text{const}). \quad (12)$$

Величина c назначается с учетом опыта проектирования такого рода объектов.

Рассматривая определенное число вариантов E_1 и t_1 , строим график поверхности $U(E_1, t_1)$, позволяющий найти оптимальное решение по энергетическому критерию.

В качестве примера рассмотрим конструирование пола с размерами в плане 6×9 м (рис. 3), шарнирно опертого по контуру и несущего по

всей площади поперечную нагрузку p , с покрытием толщиной $0,03$ м из стеклофибробетона (длина волокон – 35 мм, процент армирования по массе – $4,5$, модуль упругости $E = 20200$ МПа [15]). В качестве прослойки предполагается мелкозернистый бетон. Коэффициент постели $k = 30$ МН/м³. Дополнительное условие: $E_1 t_1 = 3600$ МН/м.

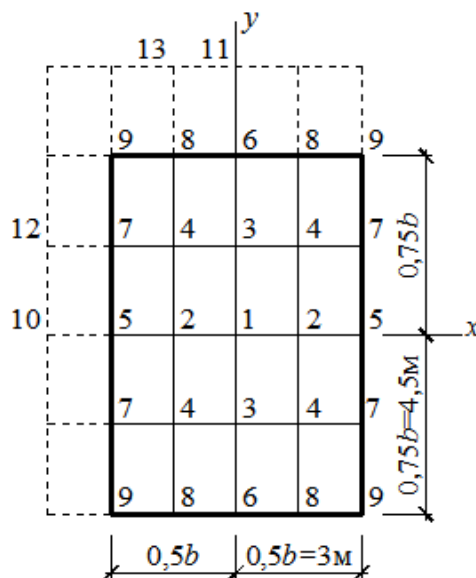


Рис. 3. Расчетная схема плиты пола

В данном случае

$$\alpha = (\Delta y / \Delta x)^2 = 2,25; \quad d = 2,25 \text{ м},$$

и конечно-разностное уравнение получает вид:

$$\left(54,375 + \frac{7,6887 \cdot 10^8}{D} \right) w_k + 13(w_i + 2,25 w_n + w_l + 2,25 w_m) + 4,5(w_o + w_q + w_r + w_p) + w_s + 5,0625 w_v + w_t + 5,0625 w_u = \frac{25,629 p}{D}.$$

Вертикальные перемещения контурных и внеконтурных точек: $w_5 = w_6 = w_7 = w_8 = w_9 = 0$,

$w_{10} = -w_2$, $w_{11} = -w_3$, $w_{12} = w_{13} = -w_4$. Система уравнений имеет вид:

$$\begin{cases} \left(54,375 + \frac{7,6887 \cdot 10^8}{D} \right) w_1 + 58,5 w_2 + 26 w_3 + 18 w_4 = \frac{25,629 p}{D}, \\ 29,25 w_1 + \left(54,375 + \frac{7,6887 \cdot 10^8}{D} \right) w_2 + 9 w_3 + 26 w_4 = \frac{25,629 p}{D}, \\ 13 w_1 + 9 w_2 + \left(54,375 + \frac{7,6887 \cdot 10^8}{D} \right) w_3 + 58,5 w_4 = \frac{25,629 p}{D}, \\ 4,5 w_1 + 13 w_2 + 29,25 w_3 + \left(54,375 + \frac{7,6887 \cdot 10^8}{D} \right) w_4 = \frac{25,629 p}{D}. \end{cases} \quad (13)$$

Для численного эксперимента назначаем четыре варианта E_1 , t_1 и вычисляем соответствующие величины e (по формуле 4) и D (по формуле

6 при $\nu = 0,2$):

$$E_1 = 2,2 \cdot 10^4 \text{ МПа}; \quad t_1 = 0,12 \text{ м}; \quad D = 6,255 \cdot 10^6 \text{ Н·м};$$

$E_1 = 2,1 \cdot 10^4$ МПа; $t_1 = 0,125$ м; $D = 6,448 \cdot 10^6$ Н·м;

$E_1 = 2,03 \cdot 10^4$ МПа; $t_1 = 0,13$ м; $D = 6,86 \cdot 10^6$ Н·м;

$E_1 = 1,96 \cdot 10^4$ МПа; $t_1 = 0,135$ м; $D = 7,41 \cdot 10^6$ Н·м.

Решая систему уравнений (13) и определяя затем величины M_x и M_y по формулам (8) и (9) и кривизны k_x , k_y по формулам (11), вычисляем потенциальную энергию деформации конструкции U по формуле (10):

$$\bar{U} = \{15,512 \ 15,669 \ 15,311 \ 16,005\} 10^{-6} p^2$$

Предпочтительным оказался третий вариант сочетания толщины прослойки 0,13 м и бетона с модулем $2,03 \cdot 10^4$ МПа. На основании принятого критерия его преимущество перед невыгодным,

$$U = A_0 + A_1 X_1 + A_2 X_2 + A_3 X_1^2 + A_4 X_2^2 + A_5 X_1 X_2, \quad (14)$$

где $A_0 \dots A_5$ – коэффициенты уравнения регрессии; X_1 – модуль продольной упругости, МПа; X_2 – толщина, м.

четвертым, вариантом составляет 4,5 %. Абсолютный минимум можно определить, построив поверхность U по большему числу точек, введя аппроксимирующую функцию $U(F_1, t_1)$ и решив систему уравнений из условий: $\partial U(E_1, t_1) / \partial E_1 = 0$, $\partial U(E_1, t_1) / \partial t_1 = 0$.

Для полноты исследований был проведен двухфакторный эксперимент. В качестве критерия оптимизации была принята потенциальная энергия деформации. Математическая модель эксперимента представляет собой функциональную зависимость типа $U = f(X_1, X_2)$, а ее решение в виде полинома второй степени [18]:

При обработке результатов испытаний было получено уравнение регрессии:

$$U = 15,959 + 5,175 X_1 - 0,0484 X_2 - 0,134 X_1 X_2 - 0,243 X_1^2 - 0,243 X_2^2. \quad (15)$$

Зависимость потенциальной энергии деформации конструкции от исследуемых факторов

описывается поверхностью, представленной на рис. 4.

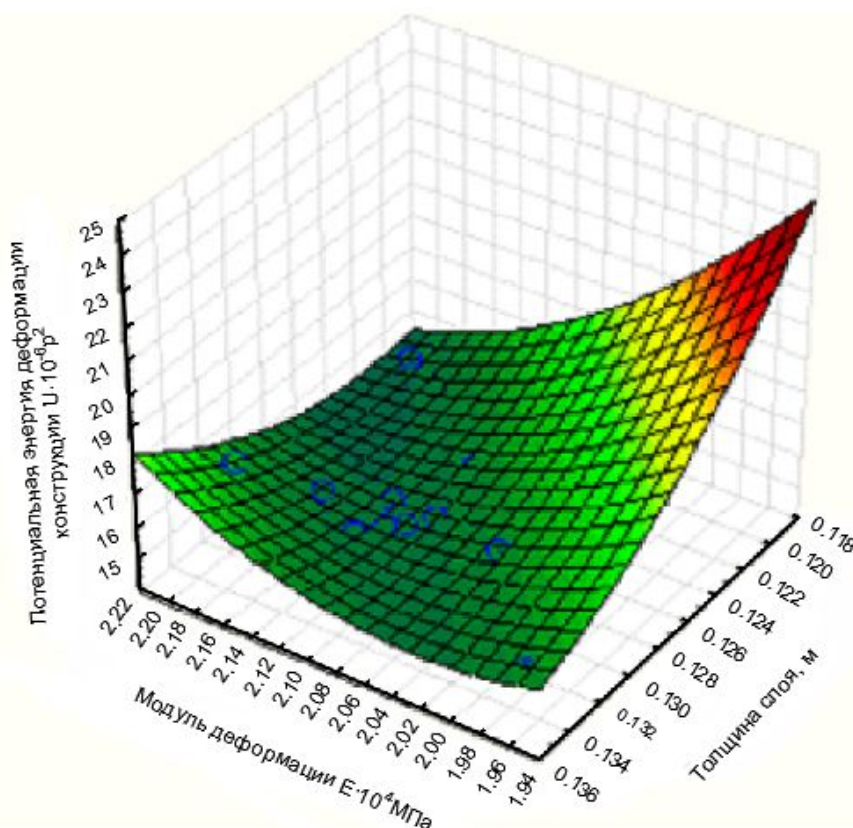


Рис. 4. Зависимость потенциальной энергии деформации плиты от исследуемых факторов

Оптимизируя процесс методом крутого восхождения, накладывая ограничения на влияющие

факторы, получим экстремум U при

$E = 2,008 \cdot 10^4$ МПа и $t = 0,1315$ м. При этом потенциальная энергия деформации $U = 15,157 \cdot 10^{-6} p^2$, что согласуется с предшествовавшим теоретическим расчетом.

Изложенная методика оптимизации структуры пола нашла практическое использование на промышленном объекте Белгородской области при проведении поверочного расчета по результатам обследования строительных конструкций стеллажей для хранения труб [19, 20].

Выводы. Предложенный способ определения оптимальной линейно-упругой слоистой структуры пола промышленного здания проистекает из критерия минимума потенциальной энергии деформации, приводящего к минимуму расхода материалов. Его эффективность подтверждается сопоставлением результатов на вариационной основе с анализом уравнения регрессии. Рациональным оказалось использование конечно-разностного аналога дифференциального уравнения плиты на упругом основании, являющегося математической моделью пола промышленного здания.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Горбунов-Посадов М.И. Балки и плиты на упругом основании. М.: Стройиздат, 1949. 412 с.
2. Коренев Б.Г. Вопросы расчета балок и плит на упругом основании. М.: Госстройиздат, 1954. 232 с.
3. Cheung M.S. A simplified finite element solution for the plates on elastic foundation // Computers Structures: Pergamon Press. Great Britain, 1978. Vol. 8. Pp. 139–145.
4. Datta S. Large deflection of a circular plate of elastic foundation under a concept rated load at the center // Trans ASME, 1975. E42. № 2. Pp. 503–505.
5. Heinisuo M.T., Miettinen K.A. Linear contact between plates and unilateral elastic supports // Mech. Struct. And Mach. 1989. Vol. 17. № 3. Pp. 385–414.
6. Saygun A., Trupia A.I., Eren I. Analysis of plates on elastic foundation // Stud. e ric. 1988. № 10. Pp. 375–404.
7. Sokot-Supel J. Elastoplastic circular plates resting unilaterally on elastic subgrade // Mech. Struct. And Mach. 1989. Vol. 16. № 3. Pp. 335–357.
8. Юрьев А.Г. Расчет пола промышленного здания на силовые воздействия // Строительство – 2002: матер. Междунар. науч.-практ. конф. Ростов-на-Дону: Изд-во РГСУ, 2002. С.21–22.
9. Справочник по теории упругости / Под ред. П.М. Варвака и А.Ф. Рябова. Киев: Изд-во «Будівельник», 1974. 418 с.
10. Тимошенко С.П., Войновский-Кригер С.М. Пластинки и оболочки. М.: Высшая школа, 1968. 412 с.
11. Кончковский З. Плиты: статические расчеты. М.: Стройиздат, 1984. 460 с.
12. Математическая Энциклопедия. В 5 т. / Под ред. И.М. Виноградова. М.: Советская Энциклопедия, Т.2. 1979. 1104 с.
13. Юрьев А.Г. Вариационные принципы строительной механики. Белгород: Изд-во БелГТАСМ, 2002. 90 с.
14. Мэттьюз Ф., Ролингс Р. Композитные материалы. Механика и технология. М.: Изд-во «Техносфера», 2004. 408 с.
15. Панченко Л.А. Строительные конструкции с волокнистыми композитами. Белгород: Изд-во БГТУ, 2013. 184 с.
16. Панченко Л.А. Рационализация использования стеклофибробетона в строительстве зданий и инженерных коммуникаций // Вестник БГТУ им. В.Г.Шухова, 2014. № 2. С. 34–36.
17. Смоляго Г.А., Дрокин С.В., Белоусов А.П., Пушкин С.А. Обследование железобетонных резервуаров для хранения чистой воды // Вестник БГТУ им. В.Г.Шухова, 2017. № 1. С. 47–51. DOI: 10.12737/23295
18. Математическая Энциклопедия. В 5 т. / Под ред. И.М. Виноградова. М.: Советская Энциклопедия, Т.4. 1984. 1216 стб.
19. Дегтярь А.Н., Серых И.Р., Панченко Л.А., Чернышева Е.В. Остаточный ресурс конструкций зданий и сооружений // Вестник БГТУ им. В.Г.Шухова. 2017. № 10. С. 94–97. DOI: 10.12737/article_59 cd0c5e3177f3.90056458
20. Serykh I.R., Chernysheva E.V., Degtyar A.N. Assessment load capacity in floor constructions // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2019. Vol. 698, Iss. 2. 022001. DOI: 10.1088/1757-899X/698/2/022001.

Информация об авторах

Юрьев Александр Гаврилович, доктор технических наук, профессор кафедры теоретической механики и сопротивления материалов. E-mail: yuriev_ag@mail.ru Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Панченко Лариса Александровна, кандидат технических наук, доцент кафедры теоретической механики и сопротивления материалов. E-mail: ranchenko.bstu@mail.ru Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

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

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

Поступила 29.05.2020

© Юрьев А.Г., Панченко Л.А., Серых И.Р., Чернышева Е.В. 2020

**Yuriev A.G., Panchenko L.A., Serykh I.R., Chernysheva E.V.
Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov
E-mail: yuriev_ag@mail.ru

OPTIMIZATION OF THE FLOOR STRUCTURE OF AN INDUSTRIAL BUILDING

Abstract. When determining the design of the floor, choosing materials and technology of its device, it is advisable to apply a systematic approach that takes into account its stress-strain state. The physical model of the floor of an industrial building in a simplified form is represented as a two-layer slab on an elastic base. The physical model of the floor of an industrial building in a simplified form is represented as a two-layer slab on an elastic base. The deformation of the ground base is inherent in the stress-strain state of the structure, which is manifested through geometric and mechanical characteristics, boundary conditions., glass fiber concrete is proposed as a coating material. It provides the compressive strength inherent in concrete and a proper crack resistance. The mathematical model is based on the S. Germain equation and the Winkler dependence. When solving the optimization problem in a linear elastic formulation, the criterion of the minimum potential energy of deformation is used, which leads to a minimum of material consumption. Its effectiveness is confirmed by comparing the results on a variational basis with the analysis of the regression equation. The modulus of longitudinal elasticity and the thickness of the layer are accepted as variable parameters. The calculation procedure uses a finite-difference analog of the mathematical model. A two-factor experiment is conducted to complete the study, the results of which are in good agreement with the theoretical calculations performed.

Keywords: floor structure of an industrial building, variational statement of the optimization problem, regression equation of the potential energy of deformation.

REFERENCES

1. Gorbunov-Posadov M.I. Beams and plates on elastic base [Balki i plity' na uprugom osnovanii]. M.: Strojizdat. 1949. 412 p. (rus)
2. Korenev B.G. Issues of calculation of beams and plates on elastic base [Voprosy' rascheta balok i plit na uprugom osnovanii]. M.: Gosstrojizdat. 1954. 232 p. (rus)
3. Cheung M.S. A simplified finite element solution for the plates on elastic foundation. Computers Structures: Pergamon Press. Great Britain, 1978. Vol. 8. Pp. 139–145.
4. Datta S. Large deflection of a circular plate of elastic foundation under a concentrated load at the center. Trans ASME, 1975. E42. No. 2. Pp. 503–505.
5. Heinisuo M.T., Miettinen K.A. Linear contact between plates and unilateral elastic supports. Mech. Struct. And Mach. 1989. Vol. 17. No. 3. Pp. 385–414.
6. Saygun A., Trupia A.I., Eren I. Analysis of plates on elastic foundation. Stud. e ric. 1988. No. 10. Pp. 375–404.
7. Sokot-Supel J. Elastoplastic circular plates resting unilaterally on elastic subgrade. Mech. Struct. And Mach. 1989. Vol. 16. No. 3. Pp. 335–357.
8. Yuriev A.G. Calculation of the floor of the industrial building on the force impact [Raschet pola promy'shlennogo zdaniya na silovy'e vozdeystviya]. Construction – 2002: mater. Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. Rostov-na-Donu: Publishing house RGSU. 2002. Pp. 21–22. (rus)
9. Handbook on elasticity theory [Spravochnik po teorii uprugosti]. Under ed. P.M. Varvak and A.F. Ryabov. Kiev: Budivelnik. 1974. 418 p. (rus)
10. Tymoshenko S.P., Vojnovsky-Krieger S.M. Plates and shells [Plastinki i obolochki]. M.: The higher school. 1968. 412 p. (rus)
11. Konchkovsky Z. Plates: static calculations [Plity': staticheskie raschety']. M.: Strojizdat. 1984. 460 p. (rus)
12. Mathematical Encyclopedia [Matematicheskaya E'nciklopediya]. In 5 vol. Under ed. I.M. Vinogradov. M.: Soviet Encyclopedia. Vol. 2. 1979. 1104. (rus)

13. Yuriev A.G. Variational principles of structure mechanics [Variacionny'e principy' stroitel'noj mexaniki]. Belgorod: Publishing house of BELGTASM. 2002. 90 p. (rus)

14. Matthews F., Rawlings R. Composite Materials. Mechanics and technology [Kompozitny'e materialy'. Mexanika i texnologiya]. M.: Tekhnosfera publishing house. 2004. 408 p. (rus)

15. Panchenko L.A. Building structures with fibrous composites [Stroitel'ny'e konstrukcii s voloknisty'mi kompozitami]. Belgorod: BGTU publishing house. 2013. 184 p. (rus)

16. Panchenko L.A. Rationalization of the use of fiberglass concrete in the construction of buildings and engineering communications [Racionalizaciya ispol'zovaniya steklofibrobeta v stroitel'stve zdaniy i inzhenerny'x kommunikacij]. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2014. No. 2. Pp. 34–36. (rus)

17. Smolyago G.A., Drokin S.V., Belousov A.P., Pushkin S.A. Survey of tanks for storage of

clean water [Obsledovanie zhelezobetonny'x rezervuarov dlya xraneniya chistoj vody']. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2017. No. 1. Pp. 47–51. DOI: 10.12737/23295 (rus)

18. Mathematical Encyclopedia [Matematicheskaya E'nciklopediya]. In 5 vol. Under ed. I.M. Vinogradov. M.: Soviet Encyclopedia. Vol. 4. 1979. 1104 stb. (rus)

19. Degtyar A.N., Serykh I.R., Panchenko L.A., Chernysheva E.V. Residual service life of buildings and structures [Ostatochny'j resurs konstrukcij zdaniy i sooruzhenij]. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2017. No. 10. Pp. 94–97. DOI: 10.12737/article_59cd0c5e3177f3.90056458 (rus)

20. Serykh I.R., Chernysheva E.V., Degtyar A.N. Assessment load capacity in floor constructions. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2019. Vol. 698, Iss. 2. 022001. DOI: 10.1088/1757-899X/698/2/022001.

Information about the authors

Yuriev, Alexander G. DSc, Professor. E-mail: yuriev_ag@mail.ru Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

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

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

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

Received 29.05.2020

Для цитирования:

Юрьев А.Г., Панченко Л.А., Серых И.Р., Чернышева Е.В. Строкова В.В., Оптимизация структуры пола промышленного здания // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2020. № 7. С. 26–32. DOI: 10.34031/2071-7318-2020-5-7-26-32

For citation:

Yuriev A.G., Panchenko L.A., Serykh I.R., Chernysheva E.V. Optimization of the floor structure of an industrial building. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2020. No. 7. Pp. 26–32. DOI: 10.34031/2071-7318-2020-5-7-26-32

DOI: 10.34031/2071-7318-2020-5-7-33-39

***Жданова И.В., Кузнецова А.А., Михайлина П.И.**
Самарский государственный технический университет
*E-mail: zdanovairina@mail.ru

ВЫЯВЛЕНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ АРХИТЕКТУРНОЙ ТИПОЛОГИИ ДОМОВ ПРЕСТАРЕЛЫХ

Аннотация. В статье уделяется внимание исследованию современных подходов в типологии домов престарелых. Приведены мировые сведения по увеличению доли пожилых людей в общей численности населения. А также данные Росстата, подтверждающие актуальность изучения данной темы. Примеры зарубежного опыта проектирования и строительства домов для пожилых людей показывают развитый функциональный состав помещений наряду с функцией проживания и ухода – медицинское обслуживание, досуг, торговля, спорт, питание и многофункциональные пространства для обеспечения социального взаимодействия различных групп населения. В исследовании выявлен метод «функционального совершенствования», направленный на разработку оптимальных функциональных взаимодействий общественных и жилых пространств. Разработан концептуальный проект по «динамичной» схеме, показывающий включение жилых блоков в многофункциональный комплекс. Благодаря выбранной функциональной организации образуются приватные пространства для жителей пенсионного возраста и прогулочные зоны для посетителей комплекса. Определено, что в России необходимо внедрять современные подходы, адаптированные к российским условиям, опираясь на зарубежный опыт. Это повысит потребительские качества объекта и уровень комфорта проживания пожилых людей, что, несомненно, обеспечит социальное взаимодействие благодаря внедрению образовательных и досуговых функций, а также улучшит экологические и эстетические качества среды.

Ключевые слова: дома престарелых, архитектурно-планировочная организация, подходы в типологии, социальное взаимодействие, комфорт проживания.

Введение. По всему миру происходит увеличение доли пожилых людей в общей численности населения и с каждым годом это число растёт [1]. В одном из докладов ООН было утверждено, что численность людей старше 65 лет с каждым годом увеличивается на 2 %, что намного быстрее, чем увеличивается численность населения Земли в целом. Полученные данные в отчёте «Мировые демографические перспективы: пересмотренное издание 2019 года» прогнозируют, что к 2050 году каждый шестой человек в мире будет старше 65 лет (16 % населения), по данным на 2019 год – это каждый одиннадцатый человек (9 % населения). Согласно прогнозам, число людей в возрасте 80 лет и старше увеличится в три раза (данные 2019 года – 143 млн. человек, прогноз 2050 год – 426 млн. человек) [2]. Данные Росстата за 2019 год в России показывают, что практически 30% населения - это люди старше 65 лет [3]. Факторами, влияющими на увеличение численности пожилых людей можно считать: улучшение качества здравоохранения, активного развития медицины, усовершенствование санитарного надзора.

Старение особым образом влияет на состояние здоровья человека, при этом развиваются возрастные изменения в организме, увеличивается число хронических и носящих особый характер заболеваний, возрастает риск возникнове-

ния ситуаций, требующих оказания медицинской, социальной и реабилитационной помощи, а также постороннего ухода. Не всегда удается решить проблемы сохранения здоровья пожилых людей в связи с увеличением возраста. Большая часть пожилых людей из-за ухудшения здоровья, теряет способность самостоятельно обслуживать себя, и, как следствие, становится инвалидами. По данным Росстата, количество инвалидов среди пожилых людей в России на 2019 год составляет 20,5 % [3]. Соответственно, возрастает потребность в обслуживании и поддержке пожилого населения.

По данным опросов, одна из острых проблем, с которой сталкиваются пожилые люди – это проблемы со здоровьем (81 %), неорганизованный досуг (66 %), плохое материальное положение (58 %), нет возможности проявить свой потенциал (10 %) и проблема передвижения (4 %). К сожалению, проблемам, связанным с проживанием пожилых людей, с предоставлением медицинского ухода в специализированных учреждениях на территории Российской Федерации не уделялось должного внимания. В настоящий момент полностью отсутствует научный поиск новых типологических подходов специализированного жилья для пожилых людей. В связи с этим отсутствует нормативная база для проектирования подобных специализированных учреждений, а также их типологическая структура.

Выше приведенные данные, несомненно, свидетельствуют об актуальности изучения данной темы, а также поиску новых типологических элементов специализированного жилья для пожилых людей. Конечно, от правильно организованного пространства для жизни и общения пожилых людей зависит их физическое и психическое здоровье. Поэтому очень важно изучить архитектурно-планировочные структуры домов престарелых и выявить новые подходы, обеспечивающие пожилым людям социальные взаимодействия и способствующие поддержанию здоровья и физических возможностей.

Методика. Целью данного исследования является выявление особенностей архитектурно-планировочной структуры домов престарелых и разработка нового архитектурного метода, направленного на повышение потребительских свойств и уровня комфорта проживания в домах данного типа. В исследовании, для достижения поставленной цели, решаются следующие задачи: обобщить международный опыт по проектированию и строительству домов престарелых, выявить современные подходы в архитектурной типологии домов для людей пенсионного возраста, определить метод архитектурно-планировочного совершенствования и разработать концептуальную модель дома престарелых. Объектом исследования являются дома престарелых и пансионаты для пожилых людей. Предметом исследования в данной статье стали функционально-планировочные особенности, влияющие на архитектурную типологию домов престарелых. Исследование ограничено задачами архитектурно-планировочной организации домов для людей пенсионного возраста. Современный опыт проектирования рассмотрен за последние 10-15 лет. Основными методами исследования стали комплексный анализ и систематизация фактологического материала, теоретической базы и прикладных способов решения проблемы проектирования и строительства домов престарелых в современных условиях, концептуальное проектирование и экспериментальная разработка нового архитектурного метода.

Проблемам формирования, развития и проектирования домов престарелых в последнее время уделяется пристальное внимание. Данное исследование опирается на работы, в которых рассматриваются следующие вопросы: актуализация социальных проблем пожилых людей (Батий В.М., Глазычев В.Л., Краснова О.В. и др.); формирование архитектурно-планировочной структуры жилой среды для людей пожилого возраста (Першина И.Л., Самойлова А.Ю., Соколова А.В., Терягова А.Н., Шавалиева А.А.); со-

здание доступной архитектурной среды для маломобильных групп населения (Ажгихин С.Г., Елин К.М., Мелконян Е.А.). Внедрение в практику проектирования и строительства новых современных подходов в типологии домов престарелых позволит повысить потребительские качества объекта и уровень комфорта проживания, обеспечить социальное взаимодействие, а также повысить экологические и эстетические качества среды [4–9].

Основная часть. Анализ истории развития домов для престарелых в России показывает, что до XIX века данные объекты представляли собой приют не только для пожилых людей, но и для одиноких, без места жительства людей, инвалидов и больных. Такие учреждения не имели обслуживающих функций, а несли статус «дома для выживания». На рубеже XIX и XX веков произошел резкий рост количества домов престарелых, появились первые частные учреждения, которыми владели купцы [10].

С тех пор дома престарелых прошли огромный путь, став в итоге важнейшей частью системы жизнеобеспечения старости. Международный опыт проектирования и строительства данных объектов показывает разнообразие функционально-планировочных структур, с вниманием к зелёным стандартам и учёту требований маломобильных групп населения.

Например, дом для престарелых в Барселоне (Испания, Барселона, арх. бюро Valor-Llimós arquitectura, 2010 год) расположен в городской застройке (рис. 1, а). Пансионат имеет семь этажей и четыре этажа подземной парковки. На первых трёх этажах размещаются администрация и помещения медицинского обслуживания. Пространства организованы таким образом, что осуществляется независимый доступ к каждому функциональному блоку. Четыре верхних этажа занимают жилые номера с индивидуальными летними помещениями и общественные рекреационные зоны на каждом этаже. Все пространства дома для престарелых доступны для всех групп населения. Также здание является энергоэффективным. Ещё один пример – дом для престарелых в деревне Эстернберг (Австрия, Эстернберг, арх. бюро Gärtner+Neururer, 2008 год), который состоит из трёх объёмов, смещённых относительно друг друга и интегрирован в ландшафт (рис. 1, б). На первом этаже расположены зоны рекреации, административные помещения, кафе, банкетный зал и жилые номера. Цокольный этаж имеет частичное заглубление и включает в себя все технические помещения, кухню и жилые номера. На втором этаже размещены зоны рекреации и жилые номера. Не только во всём здании, но и на участке обеспечивается доступность для

всех групп посетителей, включая МГН. А дом для престарелых Andritz (Австрия, Грац, арх. бюро Dietger Wissounig Architekten, 2015 год) построен на участке, похожем на парк, вблизи ручья Андрицбах (рис. 1, в). Вся территория разбита на сады, которые различаются по размеру и характеру. Основное пространство для отдыха устроено на платформе, выступающей над водой. Двухэтажное здание состоит из четырёх крыльев, расположенных вокруг пространства, предназначенного для проведения различных мероприятий. На первом этаже располагаются открытый атриум, клуб, кафе, парикмахерская, медицинский блок. Жилые комнаты располагаются на первом и втором этажах. В каждом жилом блоке расположены широкие лоджии и озеленённые пространства. Социальное взаимодействие организовано в резиденции для престарелых в г. Нант

(Франция, Нант, арх. бюро LTA, 2012 год), которая расположена в центре города с рестораном и трехуровневой парковкой (рис. 1, г). На первом этаже размещаются жилые номера, зона рекреации и внутренний дворик. Второй этаж включает в себя детский сад, кухню и столовую. С третьего по пятый этаж также расположены жилые номера, зона рекреации и помещения медицинского обслуживания. На последнем этаже расположились зоны рекреации и досуга, и помещения медицинского обслуживания. Благодаря использованию цвета в интерьере, разделяются различные пространства, и это помогает ориентироваться пациентам с болезнью Альцгеймера. Основной фасад имеет двойную навесную стену, которая позволяет использовать на нём растительность, что, в свою очередь, защищает здание от перегрева. На стенах натянуты вертикальные стальные тросы, по которым активно растут растения.

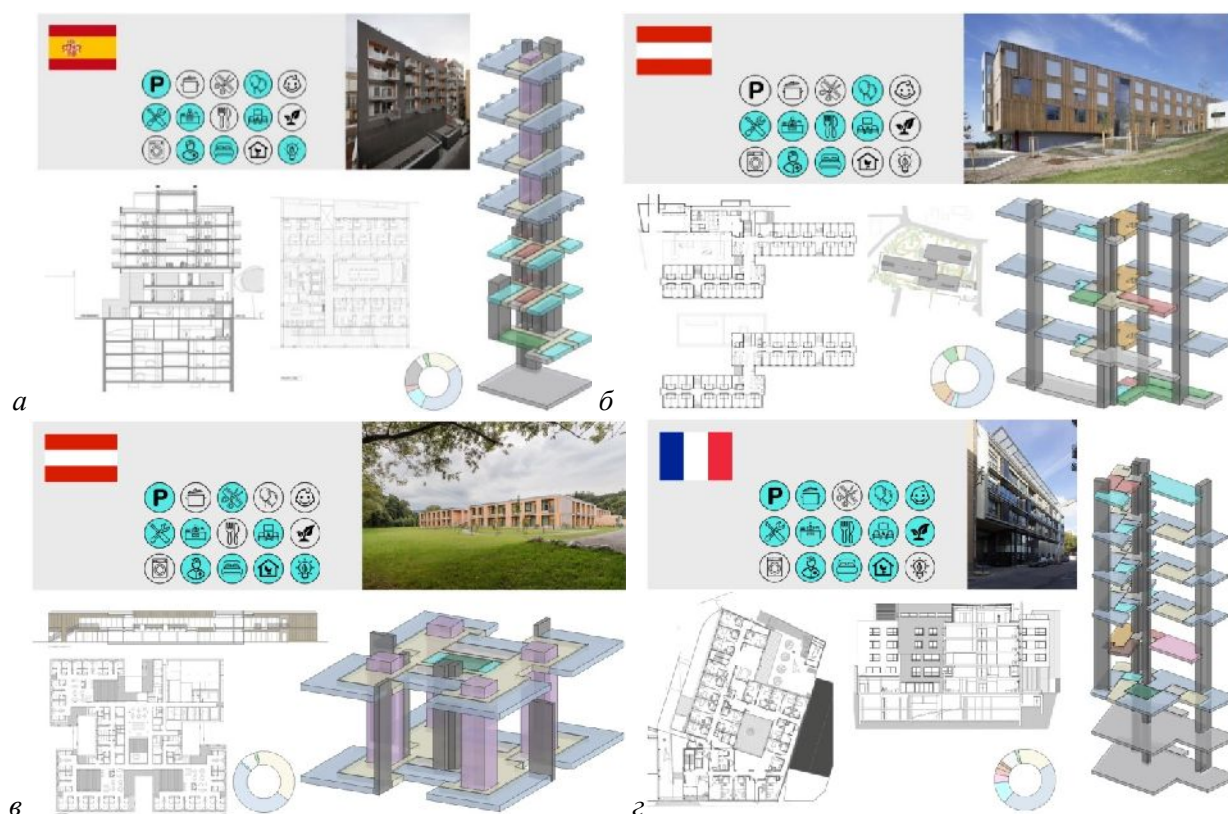


Рис. 1. Зарубежный опыт проектирования и строительства домов престарелых:

- а – дом для престарелых в Барселоне, Испания, Барселона, арх. бюро Valor-Llimós arquitectura, 2010 г.;
 б – дом для престарелых в деревне Эстернберг, Австрия, Эстернберг, арх. бюро Gärtner+Neururer, 2008 г.;
 в – дом для престарелых Andritz, Австрия, Грац, арх. бюро Dietger Wissounig Architekten, 2015 г.; г – резиденция для престарелых в г. Нант, Франция, Нант, арх. бюро LTA, 2012 г.

Обобщение передового мирового опыта проектирования и строительства домов престарелых показало, что в данных объектах предоставляются, наряду с уходом и проживанием, медицинские и социальные услуги, а также применяются энергоэффективные технологии и учитываются потребности маломобильных групп населения.

Рассмотренные объекты показывают особенности современной архитектурной типологии домов для людей пенсионного возраста с развитым функциональным составом, который включает объекты медицины, досуга, спорта, питания, образования, а также многофункциональные рекре-

ационные пространства для обеспечения социального взаимодействия различных групп населения.

Исследование в рамках данной работы позволило выявить основной и возможный функциональный состав домов для людей пенсионного возраста: сельскохозяйственный центр, кафе-столовая, фитнес, SPA-зона, кинозал, развлекательная зона, магазины, павильон для похорон, помещения культового назначения, библиотека, учебные классы, помещения кружковых занятий, поликлиника и медицинская зона, социальное обслуживание, паркинг. Изучение теоретических основ и международный опыт проектирования и строительства домов престарелых позволили обобщить подходы в современной типологии, которые основаны на комплексном подходе и направлены на повышение потребительских свойств и уровня комфорта проживания. Это позволило выявить в исследовании метод «функционального совершенствования», который направлен на разработку оптимальных функциональных взаимодействий общественных и жилых пространств. Основные направления нового архитектурного метода – взаимодействие жилых пространств с многофункциональными пространствами: образовательными, рекреационными, досуговыми, медицинскими, торговыми, спортивными, культурными и т.п. При этом данный метод может развиваться по двум схемам: «статичной» и «динамичной». «Статичное совершенствование» – это схема, при которой в жилые блоки внедряется дополнительная функция обслуживания. «Динамичное совершенствование» – это схема, позволяющая включать в многофункциональный комплекс жилые блоки для престарелых, с целью организации социального взаимодействия населения.

В данном исследовании разработана концептуальная модель по «динамичной» схеме. Объект представляет собой многофункциональный комплекс, включающий в себя зону медицинского обслуживания, спортивно-оздоровительную, общественного питания, образовательную и досуговую, к которым добавлена жилая зона для престарелых. Все функциональные зоны доступны как для проживающих людей пенсионного возраста, так и для жителей ближайшего жилого образования. Связь осуществляется через развитые рекреационные пространства, которые являются местом отдыха и проведением досуга. Благодаря определенной композиции блоков, организуются приватные пространства для жителей пенсионного возраста и прогулочные пространства для посетителей комплекса. Местоположение определено хорошей транспортной развязкой с ближайшим расположением станции метро (рис. 2).

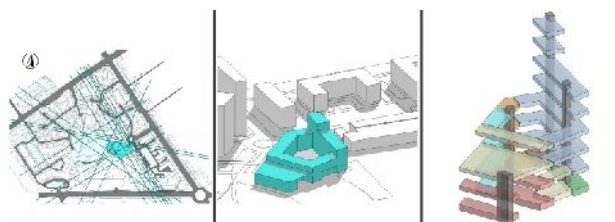


Рис. 2. Концептуальные схемы дома престарелых в г. Самара, работа выполнена на кафедре АЖОЗ АСА СамГТУ, студ. Михайлина Полина, преподаватели к.арх, доц. Жданова И.В., к.арх., доц. Кузнецова А.А.

Результаты проделанной работы могут внедряться в экспериментальном проектировании, а также в учебном процессе, при составлении задания на проектирование во время дипломного проектирования у студентов, которые приобретают квалификацию бакалавра по направлению 07.03.01 «Архитектура».

Выводы. В итоге исследования можно сделать следующие выводы:

1. В настоящее время отсутствует современная нормативная база по проектированию специализированного жилья для пожилых людей, а также их типологическая структура.
2. Анализ передового опыта проектирования и строительства домов престарелых показал развитый функциональный состав с включением объектов медицины, досуга, спорта, питания, образования, а также многофункциональные рекреационные пространства для обеспечения социального взаимодействия различных групп населения.
3. Обобщив полученную информацию, удалось выявить метод «функционального совершенствования», который направлен на разработку оптимальных функциональных взаимодействий общественных и жилых пространств. При этом данный метод может развиваться по двум схемам: «статичной» и «динамичной».
4. Выявленный метод «функционального совершенствования» прошёл апробацию по «динамичной» схеме в концептуальной модели многофункционального комплекса с зонами медицинского обслуживания, спортивно-оздоровительной, общественного питания, образовательной и досуговой, к которым добавлена жилая зона для престарелых.

Из сказанного выше видно, что, используя современные подходы в типологии домов престарелых можно улучшить уровень комфорта проживания и социальное взаимодействие, повысить потребительские качества объекта, а также обеспечить требования экологических и эстетических свойств среды [11–13].

Таким образом, в современном мире, проектирование и строительство домов престарелых

является перспективным направлением. В России необходимо внедрять современные подходы в типологии домов престарелых, опираясь на опыт зарубежных стран, адаптировав разработки к российским условиям. Главной задачей является внедрение жилой зоны для людей пенсионного возраста в центр общественной жизни населения. Это обеспечит условия для социальных взаимодействий, поддержит здоровье и физическую активность людей пожилого возраста, обеспечит требования и запросы современного потребителя, а также улучшит экологические и эстетические качества среды [14, 15].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Генералов В.П., Пешкова Д.А. Социальные предпосылки создания новых типов жилых домов для людей пенсионного возраста в России // Традиции и инновации в строительстве и архитектуре. Архитектура и дизайн сборник статей, электронный ресурс. под редакцией М.В. Шувалова, А.А. Пищулева, Е.А. Ахмедовой. Самара, 2018. С. 72–76.
2. Старение [Электронный ресурс] – URL: <https://www.un.org/ru/sections/issues-depth/ageing/index.html> (дата обращения: 20.04.2020).
3. Федеральная служба государственной статистики [Электронный ресурс] – URL: <http://government.ru/department/250/events/> (дата обращения: 20.04.2020).
4. Vavilova T.Ya. Comfort of affordable housing in Russia. Analysis of current approaches in architectural theory // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering The conference proceedings ICCATS-2019. 2019. С. 055005.
5. Zhogoleva A., Teryagova A. On methods of sustainable architectural design of bio-positive buildings in the low-rise residential development structure // MATEC Web of Conferences 2017. С. 01039.
6. Жоголева А.В., Терьгова А.Н. Этапы развития гуманной жилой среды как устойчивой средовой системы // Приволжский научный журнал. 2016. № 2 (38). С. 138–144.
7. Мархелева В.Б., Шарова Е.В., Сергеева Н.В. Принципы и приёмы формирования домов для престарелых людей с деменцией // Ползуновский альманах. 2019. №1. С. 69–72.
8. Махотин А.А., Власов Ю.М. Перспективы проектирования и адаптации архитектуры к возрастным изменениям общества // Воронежский ГАСУ. Воронеж. 2016. С. 76–87.
9. Эрдур Е., Дагданова Ц.Б., Мартынова А.П. Архитектурные аспекты нового подхода к организации центров дневного обслуживания пожилых людей в условиях Иркутска // Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate. 2018. Vol. 8. № 4. С. 267–278.
10. Генералов В.П., Пешкова Д.А. История возникновения домов престарелых в России // Традиции и инновации в строительстве и архитектуре. Архитектура и градостроительство сборник статей. Под редакцией М.В. Шувалова, А.А. Пищулева, Е.А. Ахмедовой. Самара, 2019. С. 421–426.
11. Generalova E., Generalov V., Kuznetsova A. Innovative solutions for building envelopes of bioclimatical high-rise buildings // Vide. Tehnologija. Resursi - Environment, Technology, Resources Environment. Technology. Resources - Proceedings of the 11th International Scientific and Practical Conference. 2017. С. 103–108.
12. Vavilova T.Y.A., Zhdanova I.V., Kalinkina N.A. Regional specific features of modern residential compounds. affordable housing in the city of Samara, Russia // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering 2018. С. 012137.
13. Жданова И.В., Кузнецова А.А., Дорофеева Е.Д. Экологические и эстетические аспекты применения вертикального озеленения и зелёных крыш в жилых зданиях // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. Социальные, гуманитарные, медико-биологические науки. 2019. Т. 21. № 64. С. 53–59.
14. Вавилова Т.Я., Каясова Д.С., Лукьянова Ю.А. Архитектурно-типологические приоритеты устойчивого развития урбанизированной среды // Градостроительство и архитектура. 2017. Т. 7. № 3 (28). С. 106–112.
15. Черныш Н.Д., Тарасенко В.Н. Современные условия создания комфортного архитектурного средового пространства // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2017 №1 С. 101–105.

Информация об авторах

Жданова Ирина Викторовна, кандидат архитектуры, доцент кафедры Архитектуры жилых и общественных зданий. E-mail: zdanovairina@mail.ru. Самарский государственный технический университет. Россия, 443100, Самара, ул. Молодогвардейская, д. 244.

Кузнецова Анна Андреевна, кандидат архитектуры, доцент кафедры Архитектуры жилых и общественных зданий. E-mail: amore_86@mail.ru. Самарский государственный технический университет. Россия, 443100, Самара, ул. Молодогвардейская, д. 244.

Михайлина Полина Игоревна, студентка кафедры Архитектуры жилых и общественных зданий.
E-mail: polinka-mik12@yandex.ru. Самарский государственный технический университет. Россия, 443100, Самара, ул. Молодогвардейская, д. 244.

Поступила 29.04.2020

© Жданова И.В., Кузнецова А.А., Михайлина П.И., 2020

***Zhdanova I.V., Kuznetsova A.A., Mikhailina P.I.**

Samara State Technical University

*E-mail: zdanovairina@mail.ru

REVEALING FEATURES OF THE ARCHITECTURAL TYPOLOGY OF NURSING HOMES

Abstract. The article focuses on the study of modern approaches in the typology of nursing homes. Global data on the increase in the share of older people in the total population are presented. In addition, Rosstat data confirm the relevance of studying this topic. Examples of foreign experience in designing and building homes for the elderly show the developed functional composition of the premises, along with the function of accommodation and care - health care, leisure, trade, sports, food and multifunctional spaces to ensure social interaction of different groups of the population. The research reveals a method of "functional improvement" aimed at developing optimal functional interactions between public and residential spaces. A concept project for a "dynamic" scheme has been developed, showing the inclusion of residential blocks in a multifunctional complex. The chosen functional organization allows the creation of private spaces for residents of retirement age and walking areas for visitors to the complex. It is determined that in Russia it is necessary to implement modern approaches adapted to Russian conditions, based on foreign experience. This will enhance the consumer quality of the facility and the comfort level of the elderly, which will undoubtedly provide social interaction through the introduction of educational and leisure functions, as well as improve the ecological and aesthetic qualities of the environment.

Keywords: nursing homes, architectural planning organization, modern approaches to typology, social interaction, comfort of living

REFERENCES

1. Generalov V.P., Peshkova D.A. Social prerequisites for creating new types of housing for people of retirement age in Russia [Social'nye predposylki sozdaniya novykh tipov zhilykh domov dlya ljudej pensionnogo vozrasta v Rossii]. Tradicii i innovacii v stroitel'stve i arhitekture. Arhitektura i dizajn sbornik statej, jelektronnyj resurs. pod redakciej M.V. Shuvalova, A.A. Pishhuleva, E.A. Ahmedovoj. Samara, 2018. Pp. 72–76. (rus)
2. Aging [Electronic resource]. URL: <https://www.un.org/ru/sections/issues-depth/ageing/index.html> (last accessed: 20.04.2020).
3. Federal Office of State Statistics [Electronic resource]. URL: <http://government.ru/departments/250/events/> (last accessed: 20.04.2020).
4. Vavilova T.Ya. Comfort of affordable housing in Russia. Analysis of current approaches in architectural theory. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering The conference proceedings ICCATS-2019. 2019. P. 055005.
5. Zhogoleva A., Teryagova A. On methods of sustainable architectural design of bio-positive buildings in the low-rise residential development structure. MATEC Web of Conferences 2017. P. 01039.
6. Zhogoleva A.V., Terjagova A.N. Stages of the development of a humane living environment as a sustainable environment system [Jetapy razvitiya gumannoj zhiloj sredy kak ustojchivoj sredovoj sistemy]. Volga Scientific Journal. 2016. No 2 (38). Pp. 138–144. (rus)
7. Marheleva V.B., Sharova E.V., Sergeeva N.V. Prospects for designing and adapting architecture to age-related changes in society [Principy i prijomy formirovaniya domov dlya prestarelykh ljudej s demenciej]. Polzunov's almanac. 2019. No 1. Pp. 69–72. (rus)
8. Mahotin A.A., Vlasov Ju.M. Prospects for designing and adapting architecture to age-related changes in society [Perspektivy proektirovaniya i adaptacii arhitektury k vozrastnym izmenenijam obshhestva]. Voronezh GASU. Voronezh. 2016. Pp. 76–87. (rus)
9. Jerdur E., Dagdanova C.B., Martynova A.P. Architectural aspects of the new approach to the organization of day care centres for the elderly in Irkutsk [Arhitekturnye aspekty novogo podhoda k organizacii centrov dnevnogo obsluzhivaniya pozhilykh ljudej v uslovijah Irkutskaja]. Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate. 2018. Vol. 8. No. 4. Pp. 267–278. (rus)

10. Generalov V.P., Peshkova D.A. History of nursing homes in Russia [Istorija vozniknovenija domov prestarelyh v Rossii]. Tradicii i innovacii v stroitel'stve i arhitekture. Arhitektura i gradostroitel'stvo sbornik statej. Pod redakciej M.V. Shuvalova, A.A. Pishhuleva, E.A. Ahmedovoj. Samara, 2019. Pp. 421–426. (rus)

11. Generalova E., Generalov V., Kuznetsova A. Innovative solutions for building envelopes of bioclimatical high-rise buildings. Vide. Tehnologija. Resursi - Environment, Technology, Resources Environment. Technology. Resources - Proceedings of the 11th International Scientific and Practical Conference. 2017. Pp. 103–108.

12. Vavilova T.Y.A., Zhdanova I.V., Kalinkina N.A. Regional specific features of modern residential compounds. affordable housing in the city of Samara, Russia. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering 2018. P. 012137.

13. Zhdanova I.V., Kuznecova A.A., Dorofeeva E.D. Environmental and aesthetic aspects of the application of vertical landscaping and green roofs in residential buildings [Jekologicheskie i jesteticheskie aspekty primenenija vertikal'nogo ozelenenija i zeljonyh krysh v zhilyh zdanijah]. News of the Samara scientific centre of the Russian Academy of Sciences. 2019. Vol. 21. No. 64. Pp. 53–59. (rus)

14. Vavilova T.Ja., Kajasova D.S., Luk'janova Ju.A. Architectural and typological priorities for sustainable urban development [Arhitekturno-tipologicheskie priority ustojchivogo razvitija urbanizirovannoj sredy]. Urban planning and architecture. 2017. Vol. 7. No. 3 (28). Pp. 106–112. (rus)

15. Chernysh N.D., Tarasenko V.N. Modern conditions for creating a comfortable architectural environment [Sovremennye uslovija sozdanija komfortnogo arhitekturnogo sredovogo prostranstva]. Herald of the Belgorod State Technological University. V.G. Shukhov. 2017 No. 1. Pp. 101–105. (rus)

Information about the authors

Zhdanova, Irina V. PhD, Assistant professor. E-mail: zdanovairina@mail.ru. Samara State Technical University. Russia, 443100, Samara, str. Molodogvardeiskaya, 244.

Kuznetsova, Anna A. PhD, Assistant professor. E-mail: zdanovairina@mail.ru. Samara State Technical University. Russia, 443100, Samara, str. Molodogvardeiskaya, 244.

Mikhailina, Polina I. Bachelor student. E-mail: polinka-mik12@yandex.ru. Samara State Technical University. Russia, 443100, Samara, str. Molodogvardeiskaya, 244.

Received 29.04.2020

Для цитирования:

Жданова И.В., Кузнецова А.А., Михайлина П.И. Выявление особенностей архитектурной типологии домов престарелых // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2020. № 7. С. 32–39. DOI: 10.34031/2071-7318-2020-5-7-33-39

For citation:

Zhdanova I.V., Kuznetsova A.A., Mikhailina P.I. Revealing features of the architectural typology of nursing homes. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2020. No. 7. Pp. 32–39. DOI: 10.34031/2071-7318-2020-5-7-33-39

DOI: 10.34031/2071-7318-2020-5-7-40-48

Оболенский А.В., *Белова А.Ю.

Южный Федеральный Университет Академия архитектуры и искусств

**E-mail: belova84@list.ru*

РОМАНТИЧЕСКИЕ ТЕНДЕНЦИИ В АРХИТЕКТУРНОЙ КОНКУРСНОЙ ПРАКТИКЕ ДОНСКОГО РЕГИОНА КОНЦА XIX – НАЧ. XX ВВ.

Аннотация. Статья посвящена исследованию архитектурной конкурсной практики на территории Донского региона в период расцвета романтических тенденций в архитектуре России второй половины XIX – начала XX вв. Этот период явился временем бурного промышленного и экономического развития городов Нижнего Дона и Приазовья, таких как Ростов-на-Дону и Таганрог. Резкое увеличение жителей и рост их благосостояния способствовали активизации строительной деятельности и, вместе с тем, расширения стилистики региональной архитектуры.

В работе приведены и изучены примеры некоторых конкурсных проектов.

Проблема данного исследования заключается в выявлении романтических тенденций в региональной архитектурно-строительной практике Донского региона конца XIX – начала XX вв. посредством анализа конкурсных предложений архитекторов. Авторы предлагают новый подход к проблеме формирования стилистических тенденций в регионе, в котором важную роль играет архитектурный конкурс, как площадка внедрения популярных стилистических идей в общественное сознание.

Исследовав вопрос проявления идей романтизма, в региональной конкурсной архитектурно-строительной практике, можно сделать вывод, что романтические тенденции присутствуют в проектных предложениях, представленных на архитектурных конкурсах Донского региона. Наблюдается проникновение актуальных и популярных на тот момент тенденций романтизма в региональную архитектурно-строительную практику.

Ключевые слова: архитектура, архитектурный конкурс, романтизм, романтические тенденции, Донской регион.

Введение. Актуальность настоящего исследования обусловлена недостаточной изученностью региональной архитектурной конкурсной практики на территории Донского региона в период расцвета романтических тенденций в архитектуре России второй половины XIX – начала XX вв. Исследование проявлений романтизма в регионе, а также развитие архитектурных конкурсов, способствует формированию целостной картины архитектуры Юга России конца XIX – начала XX вв.

Значительный вклад в изучение практики архитектурных конкурсов внесли, такие зарубежные и российские учёные, как De Jong, Cees., Nasar, J. L., Prinz, F., Jonas E Andersson, В.Г. Басс, А.Ю. Воробьёв, А.И. Александров, И.А. Казусь. Их работы связаны с различными аспектами архитектурной конкурсной практики, которые ограничены определёнными временными и тематическими рамками. Что касается архитектуры романтизма, то, несмотря на появление ряда работ, посвященных различным аспектам романтизма России, например труды А.В. Иконникова, Е.И. Кириченко, Е.А. Борисовой, Н.А. Евсиной, В.Г. Лисовского, В.И. Горюнова исследования формирования архитектуры южного региона, в контексте направления романтизма, никогда не проводились. Поэтому интересны разные формы проявления романтизма в архитектуре Донского региона, в том числе и в архитектурной конкурсной практике. Отдельные вопросы истории архитектуры и градостроительства региона, стилисти-

ческие особенности изучения отдельных направлений архитектуры Донского региона и в целом Юга России XIX-начала XX вв. рассмотрены в работах: Г.В. Есаулова, А.М. Ивановой-Ильичевой, О.С. Субботина, В.В. Пищулиной, Е.В. Пьявченко, А.Г. Токарева, С.Д. Сулименко, Л.Ф. Волошиновой.

«Архитектурный конкурс – это тип соревнования, в котором организация, намеревающаяся построить новое здание, приглашает архитекторов представить проектные предложения. Проект-победитель обычно выбирается жюри, представленное независимой группой профессионалов и заинтересованных сторон. В качестве профессионалов выступают компетентные представители архитектурной профессии, а в качестве заинтересованной стороны выступают представители заказчика, который может быть частным, государственным, либо концессионным. Процедура архитектурного конкурса часто используется для генерирования новых идей в сфере проектирования зданий, чтобы стимулировать общественные дебаты, для рекламного продвижения проекта, что позволяет новым дизайнерам получить возможность заявить о себе и представить свой проект» [1].

Архитектурный конкурс как институт архитектурно-строительной практики имеет длительную историю формирования. В России этот тип конкуренции возник в первой половине XIX века и получил достаточно широкое распространение. Количество конкурсов в России во 2-ой половине XIX века значительно увеличивается, хоть и

уступает, таким ведущим в сфере архитектурных конкурсов европейским державам, как Великобритания, Германия, Франция, Нидерланды и др. Тем не менее, популярность архитектурного конкурса в России растет, чему, в значительной степени, поспособствовала работа Санкт-Петербургского Общества архитекторов [2]. Также стоит отметить значительный вклад в создание института архитектурного конкурса и его становления на территории России видного архитектурного деятеля России В.А. Шрётера, стоявшего у истоков создания Санкт-Петербургского Общества архитекторов [3].

Целью данного исследования является выявление романтических тенденций и идей в практике архитектурного конкурса на примере архитектуры России XIX - начала XX вв., в частности Донского региона.

В исследовании были поставлены следующие задачи: изучить предпосылки и влияние распространения романтических тенденций в архитектуре проектных предложений архитекторов и проанализировать конкурсные проекты Донского региона конца XIX – начала XX вв.

Объектом исследования является архитектура зданий, представленная на конкурсных проектах Донского региона конца XIX – начала XX вв.

Вторая половина XIX века - период расцвета романтических тенденций в архитектуре России. Этот период явился временем бурного промышленного и экономического развития городов Нижнего Дона и Приазовья, таких как Ростов-на-Дону и Таганрог. Резкое увеличение жителей и рост их благосостояния способствовали активизации строительной деятельности и, вместе с тем, расширения стилистики региональной архитектуры. Среди архитекторов-профессионалов, практикующих в XIX - начале XX вв. на Юге России, преобладают выпускники Санкт-Петербургских учебных заведений. Отличает этот период эклектическое многообразие стилевых течений, в том числе романтических, которые приходят с архитектурной столичной «модой» из Санкт-Петербурга и Москвы.

Направление романтизма не имело четких границ и норм, выражалось в идеализации народного зодчества, использовании форм и традиций неакадемических стилей, новизны пространственных впечатлений, формировании новых художественных закономерностей, стремлении к театрализации архитектурной среды, проявившегося в зодчестве эпохи романтизма. К концу XIX века в России формы романтизма - готический, романский, русско-византийский, барокко, классицистический, ренессансный стиль - переплетались с мотивами неорусского и псевдорусского

стилей. Вместо простоты и замкнутости архитектурной формы классицизма романтизм предлагает сложный силуэт, богатство форм, свободу планировочного решения, в котором симметрия и другие формальные композиционные принципы теряют господствующее значение [4]. Так как архитектура романтизма не обладала стилистической определенностью, романтизм проявлялся в самых различных исторических одеяниях, не сковывая себя какими-то стилистическими правилами и нормами [5].

Архитектурный конкурс, с одной стороны, призван стимулировать новаторство, с другой - в значительной степени зависит от потребностей и желания заказчика. Таким образом, авторами кратко рассмотрен вопрос, насколько соответствуют передовые и популярные тенденции в архитектуре, региональной строительной практике, а проекты, представленные на местных архитектурных конкурсах, станут своеобразным лекалом распространения и применения идей романтизма в архитектурно-строительной практике Донского региона. Важно отметить, что организатором и арбитром практически всех региональных конкурсов выступало Санкт-Петербургское Общество архитекторов, по запросу и при участии местных организаций.

Методология. Исследование основано на архитектурно-художественном и сравнительно-историческом анализе, включая исследование архивных и библиографических источников.

Основная часть. В период 2-ой половины XIX - начала XX веков можно выделить несколько наиболее значимых архитектурных конкурсов, состоявшихся на территории г. Ростова-на-Дону и г. Таганрога. Это конкурсы проектов для: Петровского Реального мужского училища г. Ростов-на-Дону 1874 г.; Здания вокзала г. Таганрог 1897 г.; Управления Владикавказской железной дороги г. Ростов-на-Дону 1910 г.; Городского доходного дома г. Ростов-на-Дону 1911 г.; Зимнего коммерческого клуба г. Ростов-на-Дону 1912 г.; Народного дома г. Ростов-на-Дону 1913 г.; Общества Взаимного Кредита г. Ростов-на-Дону 1915 г. [6].

Одним из первых архитектурных конкурсов, объявленных в Ростове-на-Дону, стал конкурс на проект Петровского Реального мужского училища в 1874 г. Здание предполагалось построить на одной из главных городских улиц, улице Садовой. Здание к настоящему времени не сохранилось, конкурсные предложения также неизвестны, но сохранилось конкурсное задание на его проектирование и некоторые фотографии того периода (рис. 1) [7]. Училище предполагалось построить из камня в два этажа с подвальным помещением и квартирами для служащих.

Многие вопросы отдавались на усмотрение архитектора.



Рис. 1. Петровское Реальное училище [7]

На рисунке 1 видны детали и характерные черты для направления романтизма, а именно: ренессансные сдвоенные полуциркульные «флорентийские окна» верхнего этажа, со средней раздельной колонной, применение штукатурной рустовки, массивный карниз с наклонными вытя-

нутыми сухариками. Стилистика фасада переходная от позднего сдержанного классицизма к неоренессансу. Заимствованные в архитектуре эпохи возрождения широкие арочные окна позволяли лучше осветить помещения, чем окна прямоугольной формы, распространенные в архитектуре классицизма.

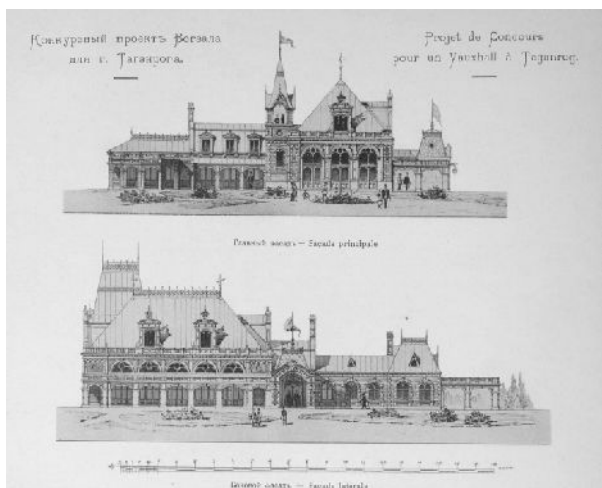


Рис. 2. Вокзал, г. Таганрог [8]

Следующий конкурс состоялся в 1897 г. на проект здания Вокзала в г. Таганроге. На рисунке 2 представлен проект архитектора Р.Р. Бернгарда, а на рисунке 3 проектное предложение гражданского инженера А.П. Максимова и архитектора А.Л. Шишко.

На рисунке 2 двухэтажное здание построено в духе романтического направления эклектики, в его оформлении сочетаются элементы разных архитектурных стилей. Металлическая кровля характерна для модерна, а ее форма и силуэт свойственны для псевдоготики романтического направления (шпиль, вытянутые витражные окна, раздвоенные тонкими колоннами) и древнерусской архитектуры.

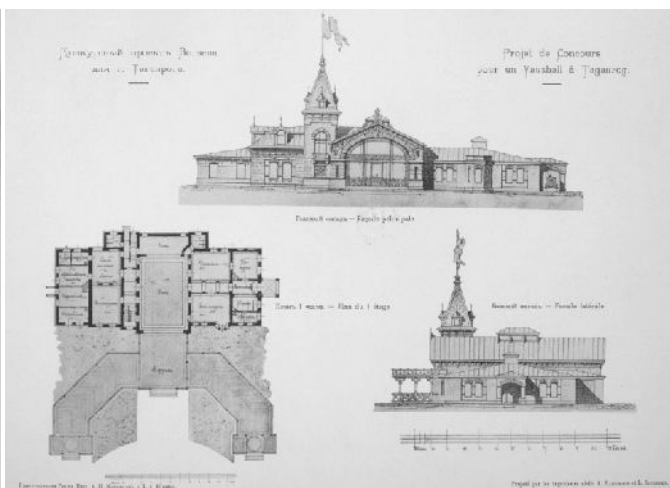


Рис. 3. Вокзал, г. Таганрог [8]

Карнизы выполнены с ритмично повторяющимися декоративными элементами, представляя мотивы русского узора. Здание имеет сложный силуэт и свободу планировочного решения. В основе композиции лежит принцип асимметрии. В данном проекте представлено оригинальное решение архитектурно-художественного облика – элементов и мотивов, взятых из зодчества немецкого и русского средневековья, в духе романтического направления. Особую схожесть с теремом строение приобретает за счёт соединения разных архитектурных объемов.

В проекте на рисунке 3 также проявляются романтические тенденции. Архитектор совмещает элементы древнерусского зодчества с деко-

ром в стиле модерн. «Взлетающий силуэт» высокой шатровой башни с шипцовыми завершениями с разных точек обзора формирует уникальные образы здания, единым компонентом которых она является. Так же здесь явно видно нарушение симметрии плана. Характерен динамизм в формировании объёмов здания. Выделяется принцип построения фасада с выраженным доминированием центральной части здания, характеризующейся большим оконным проемом, в стиле модерн и соподчинением боковых его частей (динамичной и статичной).

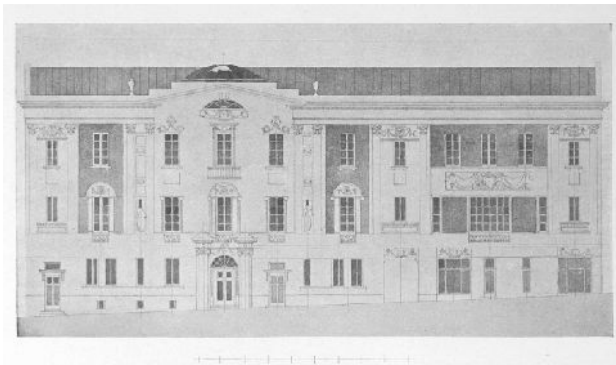
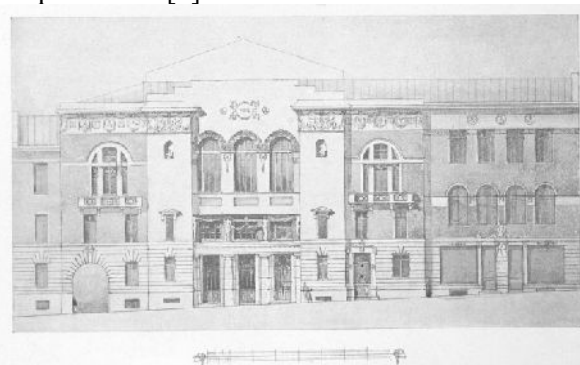


Рис. 4. Рекомендованные к приобретению проекты [9]



Дирекцией Коммерческого клуба было принято решение провести второй конкурс, который состоялся в 1912 г. [10, 11]. Этот конкурс не смог

привлечь внимание широкого круга архитекторов, хоть и был отмечен достаточно хорошими премиями (рис. 5–8) [12].

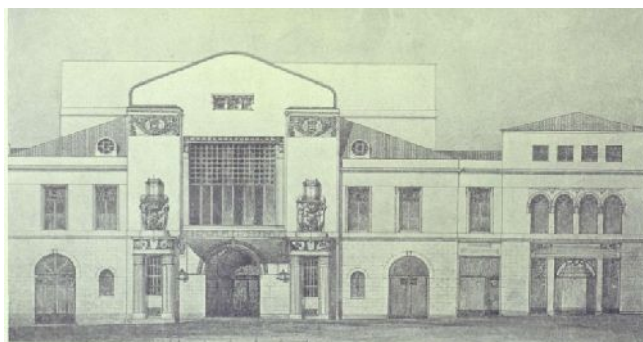


Рис. 5. I-я премия



Рис. 6. II-я премия



Рис. 7. III-я премия [9]



Рис. 8. IV-я премия [9]

Романтизм существовал на протяжении всего XIX века и предопределил развитие в архитектуре нового загадочного и изысканного стиля «Модерн» [13]. В представленных проектах (рис. 6, 8) есть явные отличительные оконные проемы характерные для направления модерна. Другие

проекты (рис. 4, 5, 7) имеют более классические объёмы, элементы и формы, но выполнены в русле романтического течения. Все говорит о важной роли классической традиции в архитектуре периода модерна [14].

Одним из ярких примером этого периода архитектурно-строительной практики стало строительство зданий нового типа, одно из них – Народный дом, который стал новым типом многофункционального общеобразовательного и культурного центра. Народные дома строились

по всей России, и многие с помощью привлечения института архитектурного конкурса. В Народных домах размещались помещения для проведения занятий и чтения лекций, книжные лавки и столовые, концертные залы и даже обсерватории [6].



Рис. 9. Проект Народного дома, арх. Ф.О. Шехтель, г. Москва [15]

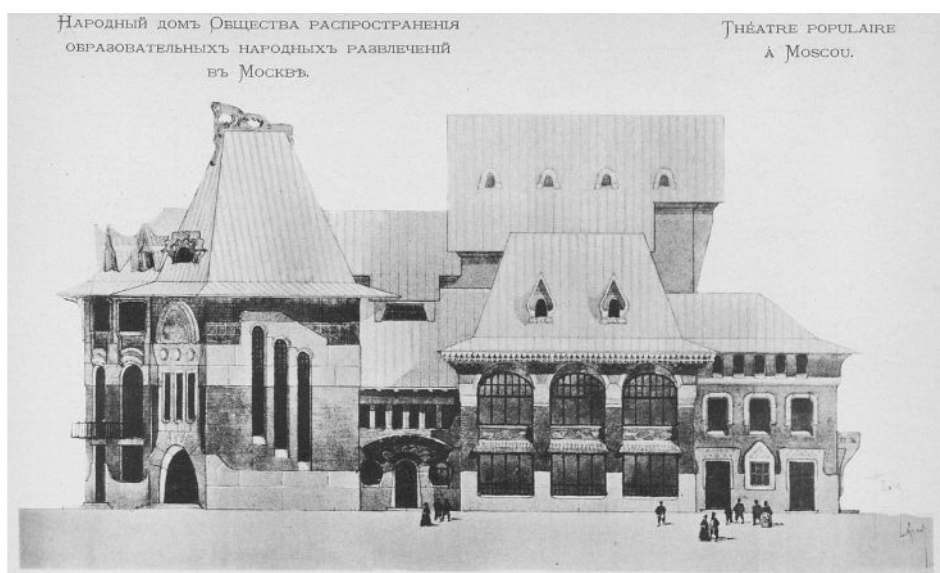


Рис. 10. Проект Народного дома, арх. Ф.О. Шехтель, г. Москва [16]

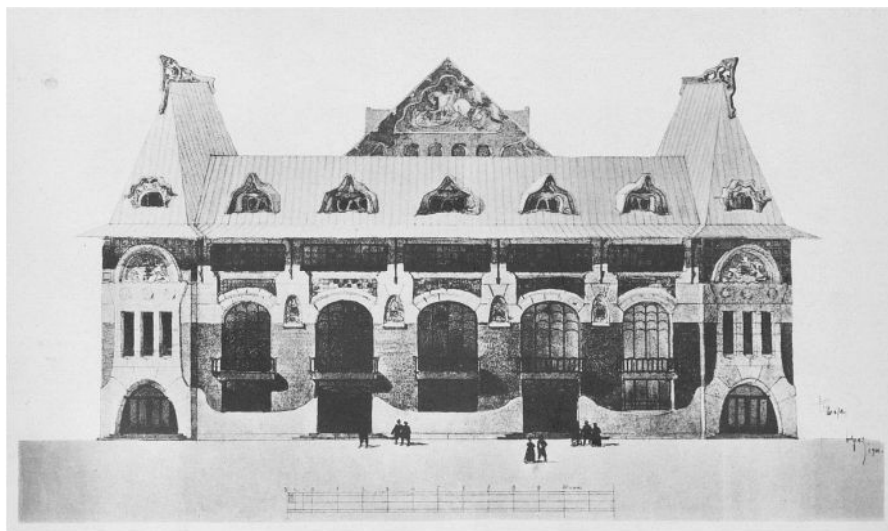


Рис. 11. Проект Народного дома, арх. Ф.О. Шехтель, г. Москва [16]

Новые тенденции в строительстве выразились в виде новых требований в отношении к площади учебных заведений, к инсоляции, устройству рекреационных зон. «Новейшей тенденцией в школьном строительстве стало стремление связать рекреационные залы здания с площадкой для отдыха в свободное от занятий время и игр, находящихся во дворе» [17]. Всё это требовало нового взгляда на архитектуру многофункциональных общеобразовательных и культурных центров, таких как Народные дома. Институт Народного дома получил широкое распространение от Санкт-Петербурга до Владивостока. Многие проекты несли элементы и черты романтизма. Так, один из ярких примеров, это проект Народного дома архитектора Ф.О. Шехтеля в г. Москве, выполненный в «неорусском стиле», с характерными формами на основе «сильного национального чувства» (рис. 9-11) [18].

Проведя анализ конкурсных проектных предложений остальных обозначенных в статье конкурсов, ещё в одном премированном предло-

жении можно выделить яркие черты романтических тенденций в архитектуре. Это конкурсный проект Народного дома, архитектора П.П. Светлицкого для г. Ростова-на-Дону, получивший третью премию (рис. 12) [19].

В этом проекте Народного дома мы можем увидеть идеи неорусского стиля. Выбор формы металлической кровли характерен для «романтического модерна», а силуэт напоминает готику [5]. Смещение крыльца с центра в сторону, также свойственно модерну. Небольшие оконные арочные проемы оформлены наличниками, элементами народной архитектуры. На строгий классицистический объем стен наложены элементы традиционного русского орнамента. Окна округлой формы с декоративными элементами. Карнизы выполнены с ритмично повторяющимися декоративными элементами, напоминая мотивы тканевого узора. Здесь так же можно наблюдать - сложный силуэт, свободу планировочного решения, отсутствие симметрии. Сочетая «вычурный неорусский» стиль, «монументальный классицизм» и модерн, П.П. Светлицкому удалось создать причудливый симбиоз.

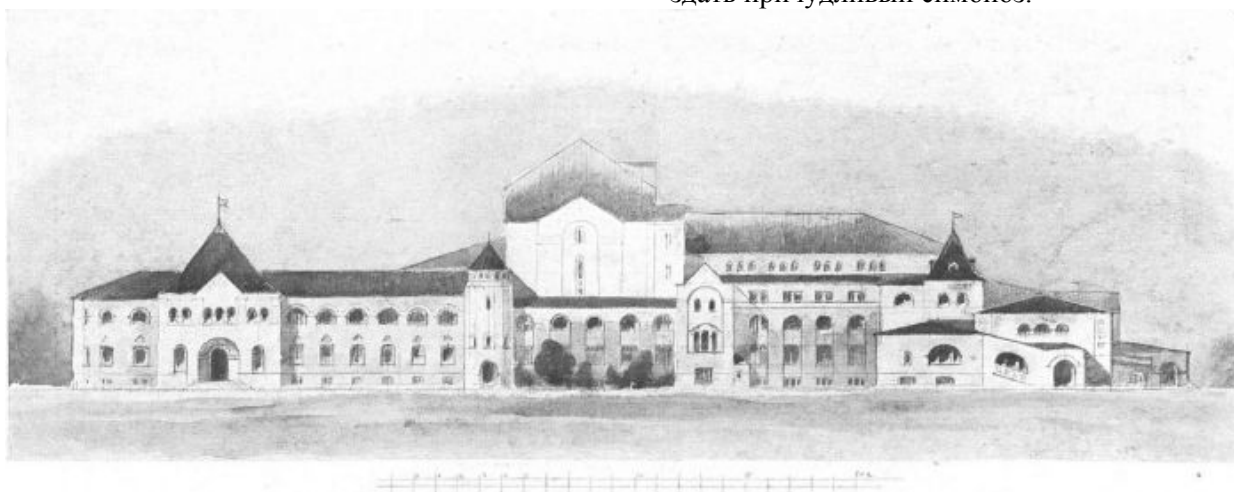


Рис. 12. Проект Народного дома арх. П.П. Светлицкий III-я премия [20]

Выводы.

1. Резкое увеличение жителей и рост их благосостояния способствовали активизации строительной деятельности и, вместе с тем, расширению стилистики региональной архитектуры.

2. Архитектура романтизма, в том числе, и в Донском регионе не обладала стилистической определенностью, романтизм проявлялся в самых различных исторических одеяниях, не сходя себя какими-то стилистическими правилами и нормами.

3. Среди архитекторов-профессионалов, практикующих в XIX – начале XX вв. на Юге России, преобладают выпускники Санкт-Петербургских учебных заведений.

4. Исследовав вопрос – проявления идей романтизма в региональной архитектурно-строительной практике посредством анализа конкурсных предложений архитекторов, можно сделать вывод, что романтические тенденции присутствуют в проектных предложениях, представленных на архитектурных конкурсах Донского региона в конце XIX – начале XX вв. Наблюдается проникновение актуальных и популярных на тот момент идей романтизма в архитектуру, в региональную архитектурно-строительную практику.

5. Значительный вклад в этот процесс внесли архитектурные конкурсы, являвшиеся площадкой межпрофессиональной коммуникации архитекторов. Вследствие публичного представления и обсуждения проектов шёл профессиональный обмен мнениями, идеями и видением современных тенденций. Участие в конкурсах столичных и именитых архитекторов стимулировало местное архитектурное сообщество к самосовершенствованию. Также конкурсы становились рекламной площадкой для мастеров и приносили заказы от местной элиты стремящейся жить в соответствии с самыми последними модными тенденциями в архитектуре.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Jonas E Andersson, Gerd Bloxham Zettersten. Architectural Competitions – Histories and Practice // Rio Kulturkooperativ. 2013. P. 350.
- Лангваген Я. Обзор деятельности Петербургского общества архитекторов // Зодчий. 1872. № 1. С. 4.
- Комарова И.И. Архитектурные общества в России XIX – нач. XX в. // Архитектура СССР. 1985. № 5.
- Белова А.Ю., Петрусенко Ю.В. Романтизм в архитектуре доходных домов творчества Николая Матвеевича Соколова // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2020. № 1. С. 32–40.
- Борисова. Е. А. Русский модерн. М.: Рип-холдинг, 2014. 351 с.
- Оболенский А.В. Роль архитектурных конкурсов в архитектурно-строительной практике г. Ростова-на-Дону второй половины XIX – нач. XX вв.: дис. маг. Реконструкции и реставрации архитектурного наследия – Ростов-на-Дону, 2017. 195 с.
- Конкурс на составление проекта здания для Петровского реального училища и женской гимназии в г. Ростове-на-Дону // Зодчий. 1874. № 5. С. 68–69.
- Коммерческий клуб. Зодчий. 1897. Приложение лист №1.
- Конкурсные проекты здания коммерческого клуба в г. Ростове-на-Дону // Зодчий. 1907. С. 14–18.
- Ростовский-на-Дону Коммерческий клуб // Зодчий. 1912. № 15. С. X.
- Отзыв комиссии судей по конкурсу на составление проекта здания Коммерческого Клуба в городе Ростове-на-Дону // Зодчий. 1907. № 15. С. 155–159.
- Конкурс Коммерческого клуба. Утро юга. 1914. № 46. С. 13
- Горюнов В.С. Архитектура эпохи модерна. Концепции. Направления. Мастера. / В.С. Горюнов, М.П. Тубли. Стройиздат. С.-Петербург, 1994. 360 с.
- Волков В.И., Горюнов В.С., Заварихин С.П., Кондратьева Л.Н. Неоклассицизм и неоромантизм: единство противоположностей в архитектуре эпохи модерна // Вестник гражданских инженеров. 2016. №6(59). С. 19–23.
- Проект народного дома // Зодчий 1902. №14. С.172.
- Проект Народного дома // Зодчий. 1902. Приложение, лист № 16.
- Иванова-Ильичева А.М. Рационалистические тенденции в архитектуре городов Нижнего Дона и Приазовья второй половины XIX начала XX вв. (на примере Таганрога, Ростова-на-Дону и Нахичевани-на-Дону, Новочеркаска): дис. канд. архитектуры // Научно-исследовательский институт теории архитектуры и градостроительства. М., 2000. С. 265.
- He Luxi, Liu Daping. The presentation of Russian «National Romanticism» on architecture of art Nouveau. The New Ideas of New Century. The Sixteenth International Scientific Conference Proceedings // Хабаровск : Изд-во Тихоокеан. гос. ун-та, 2017. Vol. 1. Pp. 377–386.
- Нидермейер А. Императорское С.-Петербургское Общество Архитекторов по поручению Ростовского-на-Дону Общества Народного Дома памяти пятидесятилетия освобождения крестьян объявляет конкурс на составление проектов здания Народного Дома в Ростове на Дону // Зодчий. 1913. № 31. С. 340–342.

20. Конкурсные проекты Народного дома в Ростове на Дону в память 50-летия освобождения крестьян // Зодчий. 1914. С. 14–15.

Информация об авторах

Оболенский Александр Викторович, аспирант кафедры теории истории и архитектурной реставрации. E-mail: Obolenskiy@inbox.ru. Южный Федеральный Университет Академия архитектуры и искусств. Россия, 344033, Ростов-на-Дону, ул. Портовая, д. 371.

Белова Анна Юрьевна, преподаватель и аспирант кафедры теории истории и архитектурной реставрации. E-mail: belova84@list.ru. Южный Федеральный Университет Академия архитектуры и искусств. Россия, 344090, Ростов-на-Дону, ул. Череповецкая, д. 58.

Поступила 07.05.2020

© Оболенский А.В., Белова А.Ю., 2020

Obolensky A.V., *Belova A.Y.

Southern Federal University Academy of architecture and arts

**E-mail: belova84@list.ru*

ROMANTIC TRENDS IN ARCHITECTURAL COMPETITION OF THE DON REGION OF THE LATE XIX – EARLY XX CENTURY

Abstract. *The article is devoted to the study of architectural competition practice on the territory of the Don region during the heyday of romantic trends in Russian architecture of the second half of the XIX – early XX centuries. This period was a time of rapid industrial and economic development of the cities of the Lower Don and the Sea of Azov, such as Rostov-on-don and Taganrog. A sharp increase in residents, their well-being and the expansion of the style of regional architecture contributed to the activation of construction. The examples of some of the competition entries are studied in the article. The problem of this research is to identify romantic trends in the regional architectural and construction practice of the Don region of the late XIX – early XX centuries, by analyzing the competitive proposals of architects. The authors propose a new approach to the problem of forming stylistic trends in the region, where an important role is played by the architectural competition as a platform for introducing popular stylistic ideas into the public consciousness. The studied issue of the manifestation of romanticism ideas in the regional competitive architectural and construction practice allows to conclude that romantic tendencies are in project proposals presented at architectural competitions of the Don region. There is a penetration of current and popular trends of romanticism in the regional architectural and construction practice.*

Keywords: *architecture, architectural competition, romanticism, romantic tendencies, Don region.*

REFERENCES

1. Jonas E Andersson, Gerd Bloxham Zettersten. Architectural Competitions – Histories and Practice. Rio Kulturkooperativ. 2013. 350 p.
2. Langwagen Ya. Review of the St. Petersburg society of architects [Obzor deyatelnosti Peterburgskogo obshchestva arhitektorov]. Architect. 1872. No. 1. P. 4. (rus)
3. Komarova I. I. Architectural societies in Russia XIX-beginning. XX century [Arhitekturnye obshchestva v Rossii XIX - nach. XX v.]. Architecture of the USSR. 1985. No. 5. (rus)
4. Belova A.Yu., Petrusenko Yu.V. Romanticism in the architecture of tenement houses of creativity of Nikolai Matveevich Sokolov [Romantizm v arhitekture dohodnykh domov tvorchestva Nikolaya Matveevicha Sokolova]. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2020. No. 1. Pp. 32–40. (rus)
5. Borisova. E.A. Russian modern [Russkij modern]. M.: Rip-holding, 2014. 351 p. (rus)
6. Obolensky A.V. The Role of architectural competitions in the architectural and construction practice of Rostov-on-don in the second half of the XIX-beginning. XX centuries [Rol' arhitekturnykh konkursov v arhitekturno-stroitel'noj praktike g. Rostova-na-Donu vtoroj poloviny XIX - nach. XX vv]: dis. MAG. Reconstruction and restoration of architectural heritage – Rostov-on-Don, 2017. 195 p. (rus)
7. Competition for the design of a building for the Petrovsky real school and women's gymnasium in Rostov-on-don [Konkurs na sostavlenie proekta zdaniya dlya Petrovskogo real'nogo uchilishcha i zhenskoj gimnazii v g. Rostove-na-Donu]. Zodchiy. 1874. No. 5. Pp. 68–69. (rus)

8. Commercial club [Kommercheskij klub]. Architect. 1897. Appendix sheet No.1. (rus)

9. Competitive projects of the commercial club building in Rostov-on-don [Konkursnye proekty zdaniya kommercheskogo kluba v g. Rostove-na-Donu]. Architect. 1907. Pp. 14–18. (rus)

10. Rostov-on-don Commercial club [Rostovskij-na-Donu Kommercheskij klub]. Architect. 1912. No. 15. P. X. (rus)

11. Review of the Commission of judges on the competition for the design of the Commercial Club building in the city of Rostov-on-Don [Otzyv komissii sudej po konkursu na sostavlenie proekta zdaniya Kommercheskogo Kluba v gorode Rostove-na-Donu]. Zodchiy. 1907. No. 15. Pp. 155–159. (rus)

12. Commercial club Competition [Konkurs Kommercheskogo kluba]. Morning of the South, 1914. No. 46. P. 13(rus)

13. Goryunov V. S. Architecture of the modern era. Concepts. Directions. Masters [Goryunov V.S. Arhitektura epohi moderna. Konceptii. Napravleniya. Mastera]. V. S. Goryunov, M. P. Tubli. Stroizdat. St. Petersburg, 1994. 360 p. (rus)

14. Volkov V. I., Goryunov V. S., Zavarikhin S. P., Kondratieva L. N. Neoclassicism and neo-romanticism: unity of opposites in modern architecture [Neoklassicism i neoromantizm: edinstvo protivopolozhnostej v arhitekture epohi moderna]. Bulletin of civil engineers. 2016. No. 6 (59). Pp. 19–23. (rus)

15. Project of the people's house [Proekt narodnogo doma]. Zodchiy 1902. No. 14. 172 p. (rus)

16. People's house Project [Proekt Narodnogo doma]. Architect 1902. Appendix sheet. No. 16. (rus)

17. Ivanova-Ilyicheva a.m. Rationalistic trends in the architecture of the cities of the Lower don and

the Azov region of the second half of the XIX-early XX centuries. (for example, Taganrog, Rostov-on-don and Nakhichevan-on-don, Novocherkassk): dis. Cand. architectures [Racionalisticheskie tendencii v arhitekture gorodov Nizhnego Dona i Priazov'ya vtoroj poloviny XIX nachala XX vv. (na primere Taganroga, Rostova-na-Donu i Nahichevani-na-Donu, Novocherkasska): dis. kand]. Research Institute of theory of architecture and urban planning, M., 2000, 265 p. (rus)

18. He Luxi, Liu Daping. The presentation of Russian «National Romanticism» on architecture of art Nouveau. The New Ideas of New Century. The Sixth International Scientific Conference Proceedings. Khabarovsk: Pacific state publishing House. UN-TA, 2017. Vol. 1 Pp. 377–386.

19. Niedermeyer A. The Imperial St. Petersburg Society of Architects on behalf of the Rostov-on-don Society of the People's House of memory of the fiftieth anniversary of the liberation of the peasants announces a competition for drafting the building of the People's House in Rostov on don [Imperatorskoe S.-Peterburgskoe Obshchestvo Arhitektorov po porucheniyu Rostovskogo-na-Donu Obshchestva Narodnogo Doma pamyati pyatidesyatiletiya osvobozhdeniya krest'yan ob'yavlyayet konkurs na sostavlenie proektov zdaniya Narodnogo Doma v Rostove na Donu]. Zodchiy. 1913. No. 31. Pp. 340–342. (rus)

20. Competitive projects of the People's house in Rostov-on-don in memory of the 50th anniversary of the liberation of the peasants [Konkursnye proekty Narodnogo doma v Rostove na Donu v pamyat' 50-letiya osvobozhdeniya]. Architect. 1914. Pp. 14–15. (rus)

Information about the authors

Obolensky, Alexander V. Postgraduate student/ E-mail: Obolenskiy@inbox.ru. Southern Federal University Academy of architecture and arts. Russia, 344033, Rostov-on-don, Portovaya st. 371.

Belova, Anna Y. Postgraduate student. E-mail: belova84@list.ru. Southern Federal University Academy of architecture and arts. Russia, 344033, Rostov-on-don, Portovaya st. 371.

Received 07.05.2020

Для цитирования:

Оболенский А.В., Белова А.Ю. Романтические тенденции в архитектурной конкурсной практике Донского региона конца XIX – нач. XX вв. // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2020. № 7. С. 40–48. DOI: 10.34031/2071-7318-2020-5-7-40-48

For citation:

Obolensky A.V., Belova A.Y. Romantic trends in architectural competition of the don region of the late XIX – early XX century. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2020. No. 7. Pp. 40–48. DOI: 10.34031/2071-7318-2020-5-7-40-48

DOI: 10.34031/2071-7318-2020-5-7-49-65

Чечель И.П.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

E-mail: golden-line7@yandex.ru

ФОРМИРОВАНИЕ И РАЗВИТИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНО-ПЛАНИРОВОЧНОЙ СТРУКТУРЫ ОБЩЕОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ШКОЛ БЕЛГОРОДСКОЙ ОБЛАСТИ (1904–2020 гг.)

Аннотация. В данной статье изложены результаты поэтапного исследования формирования и развития функционально-планировочной структуры зданий общеобразовательных школ Белгородской области. Исследование выполнено в исторической ретроспективе (1904–2020 гг.), в ходе которого выявлены три основных этапа становления структуры школьных зданий, а также входящие в них периоды. По каждому из этапов дано описание типологических особенностей школьных зданий, рассмотрена функционально-планировочная структура и ее эволюция.

Методология и методы исследования основаны на принципах системного подхода и комплексного историко-генетического и структурного анализа. При выполнении исследования использованы методы обобщения и сравнительного анализа материалов. При обработке полученных данных применялись методы статистического и графического анализа.

Проведенное исследование показало, что на 1-м этапе (Российская Империя, 1904–1917 гг.) система среднего образования только начинает формироваться. В городах строятся здания гимназий, на селе – церковно-приходские и земские школы. На 2-м этапе (СССР, 1917–1991 гг.), с переходом страны к принципам всеобщей грамотности, через систему народного образования, происходит стремительное развитие типа общественного здания общеобразовательной организации. Этот период характеризуется массовым строительством школ, которые первыми из общественных зданий стали строиться по типовым проектам. Типовое проектирование было вынужденной мерой, необходимой для решения задач, связанных с развитием системы народного образования. На 3-м этапе (Российская Федерация, 1991–2020 гг.) произошел переход от типового к индивидуальному проектированию школьных зданий. Однако, хотя проекты и заявлялись как индивидуальные, они, в своей массе, базируясь на решениях типовых проектов советского времени, были их улучшенными копиями. В исследовании, на примерах современных реализованных проектов, определены основные направления развития функционально-планировочной структуры зданий общеобразовательных школ Белгородской области в современных условиях с их трансформацией в многофункциональные образовательные здания-комплексы.

Ключевые слова: общеобразовательная школа, Белгородская область, функционально-планировочная структура, типологические особенности, направления развития.

Введение. Исследование направлено на обобщение ранее полученных и опубликованных данных [1–5] с целью предоставления полной, объективной картины о трансформации школьного здания, необходимой для определения направлений дальнейшего развития здания и формирования актуальных, современных проектных предложений для архитектурного объекта в условиях Белгородской области.

Отечественное образование выступает решающим фактором обновления общества, проведения радикальных реформ во всех сферах жизни, развития человека и человеческих ресурсов. Практика проектирования и строительства зданий школ существовала в России всегда, в со-

ветский период развивалась особенно интенсивно. Смена экономического строя в 90-е г. прошлого столетия на время приостановила это развитие. Однако, в настоящее время заметно стремление Государства наверстать упущенное и выйти на новый уровень развития системы образования.

Начиная с 2018 г. на территории Российской Федерации реализуется национальный проект «Образование», утвержденный президиумом Совета при Президенте Российской Федерации по стратегическому развитию и национальным проектам 24 декабря 2018 г. N 16¹. Проект направлен на реализацию ключевых направлений развития системы образования: обновление содержания,

¹ Паспорт национального проекта "Образование" (утв. президиумом Совета при Президенте Российской Федерации

по стратегическому развитию и национальным проектам (протокол от 24 декабря 2018 г. N 16)) (с изменениями и дополнениями). (URL: <http://docs.cntd.ru/document/9032907>).

создание необходимой современной инфраструктуры, подготовку кадров для работы в системе, создание наиболее эффективных механизмов управления отраслью.

На всей территории РФ продолжается реализация Федеральной программы по созданию новых мест в общеобразовательных организациях², к 2023 г. будет создано 24,5 тыс. новых учебных мест для детей, проживающих в сельской местности, к 2021 году будет полностью ликвидировано обучение в 3-ю смену.

В Белгородской области реализуется Государственная программа "Создание новых мест в общеобразовательных организациях Белгородской области, утвержденная постановлением Правительства Белгородской области от 29.12.2015 г. N 498-пп.

Программа реализуется в два этапа: первый этап – 2016–2020 г.г.; второй этап – 2021–2025 г.г. Общий планируемый объем финансирования государственной программы с 2016 по 2025 г.г. составит более 17 млрд. руб. Задачами Программы являются: увеличение числа новых мест в общеобразовательных организациях к 2025 году на 19649 мест, обеспечение односменного режима обучения и выполнение комплекса мер по приведению технического состояния зданий общеобразовательных организаций в соответствие с нормативными требованиями комплексной безопасности, требованиями строительных норм и правил, санитарно-эпидемиологическим правилам и нормам³.

В регионе помимо расширения материально-технической базы народного образования, идет активный поиск новых форм и методов в организации работы средней школы. В настоящее время в регионе реализуется проект стратегии «Доброжелательная школа»⁴, разработанный департаментом образования Белгородской области на период 2019–2021 гг. По замыслу разработчиков, Белгородская модель школы полного дня представляет собой два блока – учебный и развивающий. Учебный блок состоит из уроков, нагрузка которых зависит от возраста школьника, во второй половине дня ученики занимаются в развивающем блоке, который предусматривает обязательную самоподготовку, школа работает полный рабочий день.

Новые направления в организации работы общеобразовательной школы, приводят к тому, что и здание школы, как объект архитектуры, подвергается трансформации. Сегодня оно становится центром притяжения для населения и принимает на себя функцию социокультурного центра населенного пункта (территории, жилого района, микрорайона), занимая главенствующее место в его градостроительной структуре, здания общеобразовательных школ развиваются в многофункциональные образовательные центры. Это объясняет повышенные требования, которые в настоящее время предъявляются к их проектированию, как со стороны Государства, так и со стороны пользователей объектов. Школа является важнейшим элементом в модернизации и инновационном развитии государства в 21 веке. Облик школы значительно меняется, она становится центром насыщенной интеллектуальной, творческой и спортивной жизни учащихся и их родителей, при этом должна отвечать новым социальным и градостроительным требованиям [4].

Следует отметить, что реформирование изменения подходов в организации системы среднего образования было на протяжении всего развития советской/ российской системы народного образования и все модификации были нацелены на повышение уровня образованности новых поколений:

в 1932 году среднее образование в СССР стало десятилетним и трехэтапным:

- начальным с 1 по 4 класс;
- неполным средним с 5-го по 7-й класс (семилетки);
- средним – 10 классов

в 1958 году структура среднего образования изменилась:

- начальным с 1 по 3 класс;
- неполным средним с 4-го по 8-й класс (восьмилетки);
- средним – 10 классов с 2001 года действует нынешняя система образования:
- начальным с 1 по 4 класс;
- неполным средним с 5-го по 9-й класс;
- средним – 11 классов.

Новые стандарты в образовании требовали от архитекторов поиска и разработки новых, со-

²Распоряжение Правительства РФ от 23.10.2015 N 2145-р "О программе "Содействие созданию в субъектах Российской Федерации (исходя из прогнозируемой потребности) новых мест в общеобразовательных организациях" на 2016 - 2025 годы". (URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_188141/)

³Постановление Правительства Белгородской области от 29 декабря 2015 г. № 498 –пп «Об утверждении государственной программы Белгородской области «Создание новых

мест в общеобразовательных организациях Белгородской области». (URL: <http://docs.cntd.ru/document/432841879>).

⁴Постановление Правительства Белгородской области от 20 января 2020 г. № 17 –пп «Об утверждении стратегии развития образования Белгородской области "Доброжелательная школа" на период 2020–2021 годы». (URL: <http://docs.cntd.ru/document/561716368>).

временных архитектурных решений, отвечающих запросу времени. Параллельно с этим, на развитие архитектуры зданий школ влиял общий уровень развития строительной отрасли и нормативная база, которая развивалась параллельно с развитием самой отрасли.

Методология и методы исследования основаны на принципах системного подхода и комплексного историко-генетического и структурного анализа. При выполнении исследования использованы методы обобщения и сравнительного анализа материалов, полученных из литературных и архивных источников, нормативных и правовых документов, научных трудов, публикаций представителей органов государственной власти и местного самоуправления, проектной документации. При обработке полученных данных - методы статистического и графического анализа, теоретического моделирования и экспериментального проектирования.

Основная часть. Исследование формирования и развития функционально-планировочной структуры и архитектуры общеобразовательных школ Белгородской области охватывает широкий исторический отрезок времени, на протяжении которого трижды менялись политические и экономические основы государства. В связи с чем в исследуемом историческом отрезке выделено несколько основных этапов, наиболее характерных для становления типологической группы общественных зданий - общеобразовательных школ:

- 1 этап. Российская Империя: дореволюционный (1904–1917 гг.).
- 2 этап. СССР. Включает:
 - послереволюционный период (1917–1930 гг.),
 - довоенный период (1930–1941 гг.),
 - послевоенный период (1945–1959 гг.),
 - развитый советский период (1960–1970 гг.),
 - поздний советский период (1980–1990 гг.),
- 3 этап. Российская Федерация. Включает:
 - федеративный переходный период (1991–2010 гг.),
 - федеративный текущий период (2010–2020 гг.).

1 этап. Российская Империя. Дореволюционный период (1904–1917 гг.). На территории России зарождение государственной светской общеобразовательной системы началось в 18 в. Хотя Белгородчина и расположена в центральном регионе страны, но в деле просвещения долгое время оставалась окраиной, удалённой от губернских центров. XIX век принёс новые веяния,

наряду с духовными начали создаваться светские учебные заведения. В 1-ой половине XIX в. в культурном развитии Белгородчины, как и всей России, произошли глубокие изменения [8]. Помимо школ, которые открывались в уездных городах, в конце 18 в. школы стали строить и в сельской глубинке. Первыми школами на селе, которые вносили свой существенный вклад в просвещение народа, стали церковно-приходские школы [20]. Школы открывались при храмах, главным уроком был закон Божий, который проводил священнослужитель местной церкви. Как правило, здание церковно-приходской школы представляло собой небольшое строение из рубленых брёвен, обмазанных глиной. Состояла школа из пяти классных комнат (одна из них именовалась залой, где проходили праздники, хоровое пение), а также канцелярии. Один класс отводился под жильё для учителей. В школе были высокие потолки, светлые окна. Оборудование в церковно-приходской школе было простым: доска и мел у учителя, грифельные доски у учеников, чтобы писать, а затем стирать написанное после проверки. В церковной школе главным уроком был закон Божий, который проводил священнослужитель местной церкви (рис. 1) [15].

Вслед за церковно – приходскими в Российских селах появились первые светские школы, которые открывали местные земства, значительное количество которых возникло в последней трети XIX века. Образование в этих школах длилось 4 года, в них преподавали азы грамматики, чтения, арифметики, чистописания, закон Божий и пение. В уездных городах открывались гимназии.

В 1914–1915 учебном году на территории современной Белгородской области имелось 1486 школ, из них 1462 начальные, 10 семилетних и 14 средних. В городах насчитывалось 99 школ, в селах – 1387. В них обучалось 107 тысяч учащихся и работало 2815 учителей [8].

Сегодня, на территории современной Белгородской области, сохранились здания учебных заведений дореволюционного периода. Многие из них находятся под охраной государства - носят статус памятников архитектуры или памятников культурного наследия [21].

В 1904 г. в г. Белгороде, на одной из центральных улиц города (сегодня – бульвар Народный), было построено новое 3-х этажное здание для женской гимназии, открытой в 1860 г. Гимназия носила название «Белгородское женское училище 2-го разряда» и являлась первым женским учебным заведением, открытым в городе (рис. 2).



Рис. 1. Общеобразовательная школа в с. Шелаево Валуйского р-на (1904–2020 гг.).
 а – Церковно-приходская школа (1904 г.); б – Земская школа (1912 г.), в – Изба-читальня (1920–30 гг.);
 г – Новое здание (1950 г.); д – Мастерские и спортзал в бывшем доме помещика (конец 1950 г.);
 е – Новое здание школы (1972 г.); ж – Школа сегодня (2020 г.) [15]



Рис. 2. Здание бывшей здание женской гимназии IX век. Сегодня – лицей № 9
 а – Здание лицея № 9 – памятник архитектуры, 2020 г.; б – Здание женской гимназии, 1904 г.;
 в – Пристройка к зданию – современная часть лицея № 9 (пристройка 1976 г.)

В 1905 г. в г. Новый Оскол открыта женская гимназия. Ее строительство начато в 1900 г. и по примеру строительства гимназий в других уездных городах, было выполнено в виде капитального, кирпичного, двухэтажного зданий. Именно в 1905 г. завершается строительство нового здания Новооскольской женской гимназии и происходит ее официальное открытие, освящение с присвоением имени и «Ново-Оскольская Ее Императорского Высочества Великой Княжны Ольги Николаевны женская гимназия». В народе она получила название «Ольгинская гимназия».

По инициативе Курского дворянства, активных деятелей уездного земства имена августейших особ давались чрезвычайно малому числу вновь построенных гимназий, училищ, школ.

Здесь важно, чтобы они обязательно финансировались из сбережений детей Императора Николая II, например, Цесаревича и Наследника Алексея, учитывались также и заслуги местного дворянства. Строительство здания финансировалось из личных сбережений государя Российского Николая II. Средства же на содержание гимназии выделялись из личных сбережений Княжны Ольги, имя которой, по инициативе Курского дворянства, и было присвоено учебному заведению. Это имя гимназия носила до декабря 1917 г.

Сегодня в здании размещается общеобразовательное учреждение СОШ №1 г. Новый Оскол, в 1999 г. к зданию пристроили дополнительный учебный корпус, при этом исторический облик

здания был сохранен [9]. 1 сентября 2016 года родительская общественность обратилась с предложением о переименовании школы в честь Ольги Николаевны Романовой, в декабре 2016 г. школе возвращено имя Великой Княжны. Сегодня она

носит название МБОУ «СОШ № 1 с УИОП имени Княжны Ольги Николаевны Романовой». С 1997 г. здание входит в список объектов культурного наследия регионального значения (рис. 3).



Рис. 3. а – Главный фасад СШ №1 г. Новый Оскол (2020 г.); б – Здание женской гимназии (1905 г.); в – Здание СОШ им.Ф.Энгельса в г. Грайвороне (2020 г.); г – Здание мужской гимназии (1905 г.)

В 1910 году в г. Грайворон было построено здание мужской гимназии. Оно представляло собой 2-х этажный объем, выполненный из кирпича с элементами классического стиля. В новое здание перешли учиться старшие классы гимназии, ранее размещавшиеся в здании постройки 1877 года. После революции 1917 г. гимназия превратилась в обычную школу. Сейчас в здании, которое является памятником культуры регионального значения, работает Грайворонская СОШ с углубленным изучением отдельных предметов им. Ф. Энгельса (рис.3).

На территории современной Белгородской области сохранились и не утратили актуальность в наши дни школьные здания дореволюционного времени. Как правило, здания расположены в центральной части городов, имеют простую кон-

фигурацию в плане, выполнены в кладке из красного керамического кирпича, в стилистике классической архитектуры [7].

Первоначально гимназии состояли из помещений учебных классов, расположенных на втором этаже, вестибюля и квартир учителей на первом, в XIX веке состав помещений пополнился гимнастическими залами, кабинетами физики, химии, истории и рисунка, в начале XX века проектировались классы пения, библиотеки, актовые залы и медицинские кабинеты (табл.1). Именно в это время в России возникли представления о возведении здания школы, как самостоятельного вида общественного здания. В XIX – начале XX века появились типовые проекты, в основу которых легло строительное нормирование, отвечавшее педагогическим и санитарно-гигиеническим требованиям [10].

Таблица 1

Таблица эффективности использования общей площади зданий школ Белгородской области 1904–1917 гг. (таблица разработана автором, асс. Чечель И.П.)



2 этап. СССР. Послереволюционный период (1917–1930 гг.) С приходом Советской власти главной задачей органов образования стала ликвидация неграмотности населения. Одним из первых актов Советского государства в решении задачи всеобщей грамотности населения, был декрет Совета народных комиссаров «О ликвидации безграмотности среди населения РСФСР» от 26 декабря 1919 г., согласно которому необходимо было обучить грамоте население от 8 до 50

лет. 1 октября 1920 г. создана губернская чрезвычайная комиссия, а на местах – уездные комиссии по ликвидации неграмотности. В Курской губернии, в которую входил в первой половине XX века Белгородский край, ликбезом занимались два педагогических института и четыре техникума. В Короче и Старом Осколе работали кратковременные педагогические курсы. В итоге, в 1930-е годы был осуществлен переход к всеобщему начальному образованию [8].

В первые годы Советской власти на Белгородчине для учебных заведений приспособлялись все имеющиеся возможности. Основную часть площадей зданий занимала учебная группа,

которая дополнялась минимально-необходимым набором вспомогательных помещений [7, 15]. (рис. 1, 4).



Рис. 4. *а* – Здание бывшей усадьбы княгини Волковой (1874г.), с 1924 г. СШ №24; *б* – Новое здание СОШ № 24 (2020г.), г. Белгород, *в* – Здание СОШ №1 п. Уразово, Валуйский р-н, бывшее ремесленное училище 1910 г., сегодня – один из корпусов школы

Довоенный период (1930–1941 гг.). После 1920 г. активное школьное строительство в СССР начинается с выходом трех постановлений: ЦК ВКП(б) о начальной и средней школе (от 5 сентября 1931 г.), «Об учебных программах и режиме в начальной и средней школе» (от 25 августа 1932 г.) и совместного СНК СССР и ЦК ВКП(б) о структуре начальной и средней школы. В 1932–1934 годах в СССР были установлены единые требования к организации учебного процесса. 15 мая 1934 г. ЦК ВКП(б) и СНК СССР приняли постановление «О начальной и средней школе», где была установлена номенклатура школ трёх типов: на 880 учащихся с 22 классными комнатами, одноклассная⁵ – на 400 учащихся с 10 классными комнатами и неполная средняя школа – на 280 учащихся с семью классными комнатами [3]. На основании этих документов, были разработаны варианты школьных зданий, которые позже определили, как « типовые », т.е. рекомендованные для строительства на всей территории страны.

Здания общеобразовательных школ стали первой типологической группой общественных зданий, строящихся по типовым проектам.

Особенностями проектов школьных зданий 30-х г. являются их сравнительно небольшие размеры, ограничения по параметрам строительного объема (снизилась с 35 м³ до 15–17 м³), общей площади и функциональному составу помещений. С появлением науки об охране здоровья учащихся – школьной гигиены, площадь класса ограничилась 60–72 м² при глубине до 6–7,2 м с наполнением в 30 учащихся. Предлагалась предпочтительная схема зонирования здания с ориентацией учебных помещений на юг и юго-восток. Типовые здания строились в 2–4 этажа, площадь

учебных помещений составляла 60–65 % (коэффициент эффективности использования площади $K_{эф} = 0,6–0,65$), а вспомогательные – 35–40 % от площади всего здания. Классно-урочная система с закреплением за классом отдельного помещения являлась основополагающей [10].

Одним из первых стандартных проектов школ второго типа (по классификации 1935 г.) был проект городской одноклассной средней школы на 400 учащихся, составленный в 1935 г. в архитектурно-проектном бюро № 2 Наркомпроса РСФСР архитектором М. А. Малыгиным.

В 1936 г. проект получил номер 70, а в 1938 г. он уже был включен в линейку типовых проектов Всесоюзной академии архитектуры для массового строительства в СССР в 1938–1940-е гг. Проект широко применялся в довоенное время, был исключен из каталогов в 1945 г.

Композиционное построение плана состоит в группировке помещений возле узкого коридора-рекреации. Такая форма плана школы отличалась от утверждающейся парадигмы школ с П-образной формой плана. Большое число учебных и вспомогательных помещений, запланированных в здании М. А. Малыгиным, позволило выполнять требования к школам в конце 1930-х. Недостатком проекта являлось отсутствие физкультурного зала. Однако для проектов школ на 400 учащихся это было нормальным явлением, поэтому этот факт не повлек исключения здания из каталогов.

Относится к стилю постконструктивизма 1930-х г., когда шел творческий поиск архитектурного облика советского школьного здания. Здание школы кирпичное, с деревянными перекрытиями, фасады по проекту полностью штукатурные. Окна большого размера, квадратной

⁵ Комплектность школы – параметр, указывающий, сколько учителей приходится на четыре класса одного потока школы. В одноклассной школе один учитель работает со всеми четырьмя классами, в двухклассной – по одному учителю приходится на два класса, в трёхклассной –

один учитель обслуживает два класса, и ещё два – по одному, и в полнокомплектной школе – на каждый класс потока приходится по одному учителю.

формы. Ритм фасада задается его шаговым вертикальным членением каннелюрованными пилястрами в простенках окон. Углы обыграны двойными пилястрами, которые ограничивают постконструктивистскую композицию фасадов по флангам. Завершается ряд пилястр общим антаблементом, переходящим в широкий профилированный венчающий карниз. Одной из негативных черт 70 проекта называлась недоработанность фасада, его грубая прорисовка.

Конструктивные решения проекта №70 – отсутствие пролетов межэтажных перекрытий более 6,1 м., длина здания менее 60 м., 1 вестибюль, входы в класс со стороны стола учителя, не более 7 классов на этаже, 2 лестницы, что соответствовало требованиям 1939 г.к зданиям школ.



Рис. 5. *а* – Центр образования СОШ №1, г. Белгород, ул.Н Чумичова, 51 1938г., ТП №70 на 400 уч-ся;
б – Гимназия №12, г.Белгород, ул. Хихлушки ,4, 1954 г. ТП № 2 -02-17 (520) СШ на 400 уч-ся;
в – СОШ №30 в г.Белгороде

Исторический отрезок времени длиной в 24года (с 1917 – по 1941 гг), характерен тем, что, опираясь на концепцию системы народного образования СССР, были сформулированы основные принципы и требования к проектным решениям зданий общеобразовательных школ.

Впервые в СССР были разработаны и внедрены в реализацию типовые проекты школьных зданий, разработанные на основе установленных единых требований к организации учебного процесса, основу проектов составляло строительное нормирование, отвечавшее педагогическим и санитарно-гигиеническим требованиям советской науки о здоровье и образовании граждан.

В проектных решениях использовались индустриальные методы строительства, которые обеспечивали снижение сметной стоимости и сокращение сроков строительства. Из-за массовости разработки и строительства типовых школ, стандартизация комплектующих также шла полным ходом – к 1936 г. были разработаны стандарты на двери, оконные переплеты, наличники, плинтусы, ступени, плиты для лестничных площадок, подоконные доски и т. д., а также введены типовые перекрытия, колонны и перегородки.

Послевоенный период (1945–1959 гг.) Новый этап в развитии образования региона начался в 1954 году, когда Указом Президиума Верховного Совета СССР была образована Белгород-

Несомненным достоинством проекта было применение конструктивных приемов со значительной унификацией строительных деталей и элементов. Недостатком считалась «универсальность» проекта по географическому применению. Толщина стен выбиралась на месте при привязке проекта, что выливалось в разные суммы смет и противоречило существовавшим взглядам на процесс типизации [11].

В областном центре г. Белгороде по ул. Н. Чумичова расположено здание школы, построенное по ТП № 70 в 1938 г., сегодня здание входит в состав центра образования СОШ №1 (рис. 5).

В 1954 году в области насчитывалось 1614 школ, 1022 из которых были начальными и только 102 – средними, остальные – семи- и восьмилетними. Имелись также учительский институт, строительный и индустриальный техникумы, три сельскохозяйственных техникума, три педагогических, три медицинских и девять профессионально-технических училищ. Годы становления образования в Белгородской области ознаменовались интенсивным строительством новых школ. Если до 1954 года в городе Белгороде было всего 9 школ на 3 тысячи мест, то к концу 1950-х годов уже насчитывалось 18 на 10 тысяч школьников, а еще через десять лет в Белгороде действовало 29 школ, в которых обучалось свыше 21 тысячи учащихся и работало около 1200 учителей [8].

В 1950–1960 годах началось массовое строительство новых жилых микрорайонов, в них возводились новые школы. Наиболее распространенными проектами послевоенного времени были ТП МЮ и 65-426/8, которые применялись, как правило, в районах с пятиэтажной застройкой. Для районов с 9-ти и 12-ти этажной застройкой выполнялись проекты привязки ТП У-76.

Общими отличительными особенностями школ советского периода этого периода являются: компактность общих компоновочных решений школьных зданий, повышенная этажность

(до 6 этажей в ряде случаев), высокая наполняемость классов (30–40 учащихся) при небольшой общей площади [10]. Композиционное построение плана состоит в группировке помещений возле рекреации зального типа. Такая форма плана школы отличалась от принятой парадигмы школ с коридорной системой. На первом этаже размещались входная группа с вестибюлем и гардеробом, часть административных и медицинских помещений, небольшой актовый зал или зал ЛФК, был предусмотрен маленький спортивный зал и библиотека.

Стилистика фасадов зданий решена в неоклассицизме характерном стиле советской архитектуры тех лет. Выполнялись в кирпичной кладке с последующей штукатуркой и покраской фасадов в цветовую стилистику неоклассической архитектуры, центральная часть фасадов зданий была выделена треугольными фронтонами, фасады украшены пилястрами, горизонтальными поясками, декоративными розетками, расположенными на межэтажных простенках. На стенах и фасадах зданий размещены элементы идеологической пропаганды – лозунги, барельефы, символы [7]. Это были первые школы крупноблочного типа, выполнялись в различных конструктивных решениях.

Построенные в Белгородской области в это время здания школ объединяет то, что они размещались в застройке существующих жилых кварталов в разных частях города, в пешеходной доступности для их жителей и являлись композиционными акцентами застройки. Это были 2-х-3-х этажные объемы, с заданными параметрами по кубатуре и площади, которые имели простую конфигурацию в плане с функциональным набором помещений, соответствующим требованиям устанавливающих документов.

Исследованием выявлены школьные здания г. Белгорода, выполненные по ТП 2-02-17(520). Тип здания – блочный, выполнены в кирпиче, высотой три этажа. Построены по проекту, разработанному Государственным проектным институтом Гипропрос под № 520. Проект утверждён Советом Министров РСФСР 10.03.1954. Архитекторы: А. К. Чалдымов, С. Н. Змеух, С. Ф. Наумов (рис. 5, б, в).

Развитый советский период (1960–1970 гг.). В этот период на территории Белгородской области развернуто массовое строительство общеобразовательных школьных зданий. Продолжается практика строительства по типовым проектам. Сегодня в областном центре и других городах области можно найти здания школ, построенные по проектам тех лет [12, 13].

Здания школ размещались в застройке существующих жилых кварталов, представляли собой

2-3-х этажные объемы, состоявшие из нескольких взаимосвязанных функциональных блоков, соединенных между собой переходом и имели расширенный (относительно предшествующего периода) функциональный набор помещений, большое внимание уделяется зонированию.

Выполнялись в стилистике функциональной советской архитектуры, фасады имеют лаконичное решение без какого-либо декора. В конструктивном решении используются унифицированные и стандартные элементы заводского изготовления, основной материал наружных стен – силикатный кирпич. Проекты разработаны на основе документов строительного нормирования СНиП II-Л-42-67, СНиП II-65-73 [2].

В это время, самым массовым типовым проектом школьной застройки был ТП 65-426/1, разработанный Московским Институт Типового и Экспериментального Проектирования под руководством А. Аврусова. Здание представляет собой два корпуса, соединённых между собой наземным одноэтажным переходом, сверху выглядит как крылья самолета, отсюда и идёт народное название «Самолетик». Предыдущие типовые школы во многом были похожи, хотя бы общей формой, то идея школы из двух корпусов существенно отличается от всего предыдущего опыта. В 3-х этажном корпусе размещены учебные помещения, в 2-х этажном – столовая и спортивный зал. Строительство второго корпуса позволило решить основную проблему – расположение столовой и спортивного зала. Теперь вся шумная активность стала изолированной от учебных кабинетов. В некоторых школах этого типа к столовой и спортзалу добавляли мастерские для уроков труда также для того, чтобы избежать шума в учебном корпусе.

Суммарная нормируемая площадь – 4089 м², в т.ч. по учебной группе – 2042 м², по общешкольной группе – 2047 м². Количество классных помещений – 16.

Проведенное исследование подтвердило широкое применение ТП №65-426/1 в Белгородской области, только в областном центре г. Белгороде выявлено несколько школьных зданий этого типа (рис. 6, в) [2]. Исследованием выявлены и другие типовые проекты, по которым в период 1960-70 гг. в Белгородской области велось строительство зданий для общеобразовательных организаций. школьные здания, например, по ТП 2р-02-01 (рис. 6, а) и ТП 2-02-73 (рис. 6, б).

С начала 60-х гг., Белгородская область, вместе со всей страной, идет по пути развития и совершенствования процесса образования. В эти годы меняется парадигма школьного образования и осуществляется переход на кабинетную си-

стему обучения. Суть кабинетной системы заключается в том, что ученики имеют возможность учиться в кабинете – лаборатории. Первыми начали функционировать кабинеты истории, физики, химии, биологии, математики, русского языка и литературы.

Параллельно со строительством в городах зданий общеобразовательных школ по утвержденным типовым проектам, Белгородская область, первой в стране, приступила к строительству в сельской местности школьных зданий нового типа. Они получили новый статус - учебно-

воспитательный комплекс на селе. К имеющимся в школе различным кружкам и секциям добавились филиалы музыкальной и спортивной школ, плавательные бассейны и небольшие детские сады. Это создавало определённые условия для развития музыкальных способностей учащихся и спорта в школе.

В 70-е г. в области на селе началось строительство УВК по индивидуальным проектам, разработанным ведущими проектными институтами г. Белгорода (рис. 7).



а

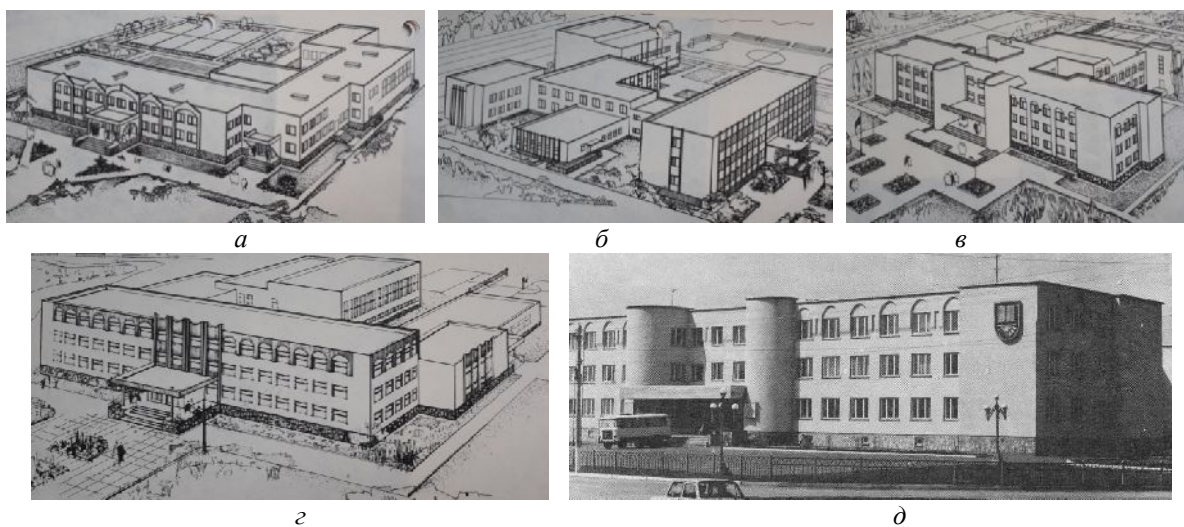
б

в

Рис. 6. а – п. Волоконовка, СОШ №1 ул. Пионерская, 20, 1975 г., с 1979 г. УВК, ТП №2Р-02-01 (проект 1962 г.) на 960 уч-ся;

б – СОШ № 20 г. Белгород, ул. Шершнева, 26, 1961 г. ТП № 2 -02- 73 СШ (проект 1957 г.) на 960 уч-ся;

в – Гимназия № 5 по ул. Н. Чумичова в г. Белгород ТП №65 426/1



а

б

в

з

д

Рис. 7. Здание учебно-воспитательных комплексов для строительства в сельской местности Белгородской области

а – УВК на 132 уч-ся с детским садом на 50 мест, автор проекта ПИ «Белгородагропромпроект-2»;

б – УВК на 200 уч-ся с детским садом на 50 мест, автор проекта ПИ «Белгородагропромпроект-2»;

в – УВК на 330 уч-ся с плавательным бассейном, автор проекта ПИ «Белгородагропромпроект-1»;

з – УВК на 660 уч-ся с плавательным бассейном, автор проекта ПИ «Белгородгражданпроект»;

д – УВК комплекса на 660 учащихся в с. Головичино Борисовского р-на Белгородской области. 1991 г. [14]

Поздний советский период (1980–1990 гг.).

С середины 80-х началось массовое строительство учебно-воспитательных комплексов в масштабах Советского Союза. Стояла задача подготовить наиболее оптимальный вариант модели сельской общеобразовательной школы. Этим занималась специально созданная лаборатория

учебно-воспитательных комплексов в научно-исследовательском институте общих проблем воспитания Академии педагогических наук СССР, белгородцы активно участвовали в этой работе. В составе лаборатории действовало научно – практическое педагогическое объединение «Белогорье», где учебно-воспитательный комплекс

Шелаевской средней школы занимал достойное место. Практические наработки школы были детально изучены учёными НИИ, обобщены и выработаны рекомендации по дальнейшему совершенствованию и развитию УБК [15].

После 1991 г. возникла идея создания Центра образования и культуры на селе с целью координации действий и объединения усилий всех учреждений и организаций, причастных к обучению и воспитанию подрастающего поколения. В создании Центра учителя увидели органическое продолжение и развитие сельского УБК.

В структуре государственного строительства этого периода основным направлением становится полносборное крупнопанельное домостроение. Сборные конструкции применяются не

только для строительства жилья, но и для общественных зданий, в том числе общеобразовательных школ. Возведение школьных зданий за короткие сроки становится возможным при максимальном повышении индустриализации строительства путем широкого применения сборных железобетонных конструкций заводского изготовления и комплексной механизации строительства с применением полносборных конструкций. В этот период разработаны новые типовые проекты на основе сборного железобетона, которые массово реализуются на территории всей страны [3].

Массовая индустриализация и новые веяния в градостроительстве не обошли стороной Белгородскую область [7].



Рис. 8. Строительство общеобразовательных школ по ТП в конструкциях серии ИИ-04.
а – Шуховский лицей № 38 в г. Белгороде; б – Общеобразовательная школа № 39 в г. Белгороде;
г – Общеобразовательная школа № 49 г. Белгород 1980–1990 гг.

В 1976 году утверждён проект V-76, эта школа представляет собой квадрат, который образуют четыре соединённых между собой корпуса. Из-за сходства с армейским построением проект получил народное название каре. Четыре корпуса, соединённые вместе, позволили отделить младшую школу от старших классов, а также изолировать спортивный зал. Школа вместительнее самолётка почти на 200 человек. Недостатком плана V-76 является внутренний двор между корпусами, это пространство невозможно никак использовать, оно оказалось совершенно неэффективным. На 1990-е годы приходится пик создания новых типовых проектов. В течении 5 лет возникают сразу четыре типа: I-1605A, V-92, V-95, I-1577A. (рис. 8, а) [4].

Проект V-92 – это компактная школа, для того, чтобы построить здание этого типа нужна сравнительно небольшая площадь. Особенность таких школ – выступающий фасад, опирающийся на колонны. Если посмотреть на фотографию здания, то становится видно, что оно состоит из трёх частей: двух симметричных частей, между которыми находится вытянутая третья. В вытянутом элементе находятся два спортивных зала, в двух остальных – учебные кабинеты. Наличие двух спортивных залов – одна из особенностей школы. Малый зал находится в вынесенном вперёд элементе, опирающимся на колонны, а большой зал находится ровно посередине школы и занимает два этажа в высоту (рис. 8, в) [3].

В ходе исследования выявлено, что, начиная с конца 70-х г. до завершения советского периода в архитектуре и строительстве, на территории области осуществляется возведение сборных зданий общеобразовательных школ по типовым проектам, разработанным в конструкциях серии ИИ-04. Эта серия представляет собой каркасно-панельную систему с навесными стеновыми ограждающими конструкциями. Зданиям общеобразовательных школ из сборного железобетона, характерна простота объемно-пространственного решения, при котором отсутствуют ярко выраженные «главные», «боковые», «дворовые» фасады, что обеспечивает благоприятные условия инсоляции помещений. Общими чертами зданий являются каркасно-панельная конструктивная схема, с наружными стенами из сборных керамзитобетонных панелей и планировочная структура, состоящая из 4 блоков, соответствующих функциональному назначению помещений, образующих замкнутый двор – открытую рекреацию. Постоянный контакт проектировщиков с домостроительными заводами помог шире раскрыть возможности индустриального домостроения. При этом однообразный и ограниченный ассортимент продукции домостроительных предприятий не способствовал созданию выразительных архитектурных образов школьных зданий в массовой жилой застройке. Проекты разработаны на основе документов строитель-

ного нормирования СНИП II-65-73, Часть I, Раздел Л, Глава 4 - Общеобразовательные школы и школы-интернаты, ВСН 50-86 Общеобразовательные школы и школы-интернаты, СНИП 2,08,02-89*Общественные здания и сооружения [3].

Подводя итоги исследования Советского периода в развитии архитектуры зданий общеобразовательных организаций, можно сделать вывод

о том, что главной задачей, поставленной перед архитекторами, проектировщиками и строителями, стояла задача создания комфортных условий для получения качественного доступного среднего образования и сохранения здоровья учащихся (табл. 2).

Таблица 2

**Таблица эффективности использования общей площади зданий школ
Белгородской области – 1991 г. (таблица разработана автором, асс. Чечель И.П.)**



3 этап. Российская Федерация. Начиная с 1991 г., с переходом на рыночный уклад экономики и отказом от политического наследия СССР, в Российской Федерации начинается но-

вый этап реформирования системы среднего образования на основе принципов новых экономических отношений.

Федеративный переходный период (1991–2010 гг.) В 1992 г. принят новый Закон

Российской Федерации «Об образовании»⁶ ФЗ №3266-1 от 10.07.1992 г. Закон внес принципиально новые социально-педагогические аспекты в Российское образование, которые напрямую повлияли на дальнейшее развитие архитектуры школьных зданий.

На основании данного Федерального Закона:

- были введены 3 ступени обучения вместо единой общеобразовательной школы, вместо единой общеобразовательной школы установлена система общеобразовательных учреждений для различных градостроительных уровней, включающая широкую номенклатуру видов и типов учебных зданий (общеобразовательные школы, школы с профильным обучением I, II и III ступеней, гимназии, лицеи;

- дифференцировано обучение в старшей школе по различным направлениям подготовки школьников, расширен состав и площади основных функциональных групп помещений общеобразовательных учреждений;

- уменьшена максимальная наполняемость классных помещений (с 40–30 человек до норматива 25 учащихся в классе);

- увеличены расчетные показатели площади: классов и учебных кабинетов с 1,4 до 2,5 м²/уч. (минимум), вспомогательных помещений: библиотеки (с 60 до 200 м²), мастерских с

учетом изучения различных технологий (до 9–11,5 м²/уч.), рекреационных помещений (с 1 до 2 м²/уч.), учительских – с учетом организации для каждого преподавателя индивидуального рабочего места, спортзалов – до 1,4 м²/уч., обеденного зала – до 1 м² на посадочное место, зрительного зала – из расчета одновременной посадки до 60 % учащихся;

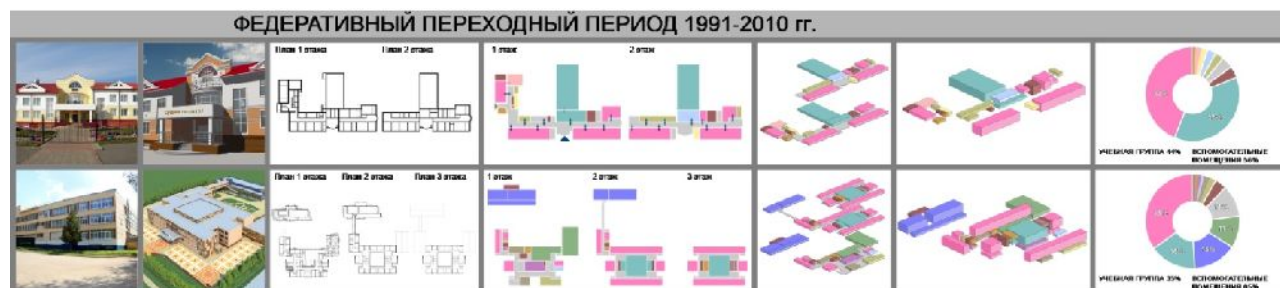
- в обязательный перечень включены отсутствующие ранее помещения: практикумы по естественным наукам (по два помещения 50 м² на каждую дисциплину) и специализированные кабинеты для профильного обучения, помещения для тихих игр, рабочие комнаты, комнаты индивидуальных занятий, ресурсные центры – по 10–12 м² на учебную классную группу [10].

С начала 2000-х г. в Белгородской области продолжается строительство школьных зданий по типовым проектам и начинается строительство школ по индивидуальным проектам (Табл.3, А).

Начиная с 2010 г. в Белгородской области идет активная работа по модернизации зданий общеобразовательных школ, построенных в разные годы советского периода. В ходе реконструкции (капитального ремонта) объекты образования приводятся к нормативным требованиям регулирующих документов, действующих в этот период (табл. 3, б).

Таблица 3

Таблица эффективности использования общей площади зданий школ Белгородской области 1991–2010 гг. А). Строительство школы в с. Глинное Ново-Оскольского района, индивидуальный проект ООО «Проектная фирма «Золотая линия» г. Белгород, Б). Реконструкция школы в пос. Северный Белгородского района, индивидуальный проект, автор ООО «Проектная фирма «Золотая линия». (таблица разработана автором, асс. Чечель И.П.)



Федеративный текущий период (2010–2020 гг.) Начиная с 2010 г., наряду с реконструкцией и капитальным ремонтом зданий общеобразовательных школ, построенным по типовым проектам советского периода, в Белгородской области начинается строительство новых современных зданий большой вместимости, построенных по индивидуальным проектам.

Так, в микрорайоне «Улитка» в пос. Дубовое, в это время реализован проект уникального инновационного общеобразовательного учреждения – комплекса «Алгоритм Успеха». Здание, рассчитанное на обучение в нем 900 учеников, расположено в новом жилом районе, обеспеченном всей необходимой инфраструктурой. Школа построена по индивидуальному проекту, представляет собой развитую пространственную

⁶ Закон РФ "Об образовании" от 10.07.1992 N 3266-1 (последняя редакция) (URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_1888/).

структуру, состоящую из блоков различной функциональной направленности. В 2017 г. открылся новый центр образования – «Перспектива» – это современная общеобразовательная школа на 500 мест в микрорайоне Новый-2 г. Белгорода. Здание представляет 3 функциональных блока различной этажности (от 1-но до 3-х), общая площадь составляет 10 385,64 м² [17]. В январе 2017 г. в областном центре, на Харьковской Горе, по ул. Есенина 52-Б, открылась общеобразовательная школа № 50, в которую перешли около 600 детей, обучавшихся во вторую смену в гимназии № 3. Проектная мощность школы составляет 900 учащихся. В январе 2018 г. в микрорайоне «Луч» областного центра, открыта новая школа на 960 учащихся. Она получила название

«Центр образования города Белгорода №15 ЛУЧ». Аббревиатура школы подразумевает «лидерство, успешность и человечность» (рис. 8). Здание построено по индивидуальному проекту, состоит из 3-х блоков переменной этажности (2-4 этажа), общая площадь составляет 19 486 м² и вмещает в себя 40 учебных кабинетов, с наполняемостью 24 уч-ся каждый (рис. 9, а-г [18]. В пос. Разумное Белгородского района, в строящемся жилом комплексе «Новая Заря» 54 массива ИЖС, 1 сентября 2019 г. начал свою работу новый образовательный комплекс - муниципальное общеобразовательное учреждение «Разуменская средняя общеобразовательная школа №4 «Вектор Успеха» Проектная мощность школы составляет 1000 уч-ся [19].



Рис. 9. а – Общеобразовательная школа «Алгоритм успеха», мкр. «Улитка» п.Дубовое, Белгородского района, Белгородской области (из открытых интернет-источников),
б – Общеобразовательная школа «Перспектива», г.Белгород Микрорайон Новый -2,
в – Общеобразовательная школа № 50, г. Белгород,
г – Общеобразовательная школа № 15 «ЛУЧ», г. Белгород

Общая площадь школы составляет 16000 квадратных метров. Новая школа представляет собой трехэтажный объем, в состав которого входят функциональные блоки различной направленности. В блоки входят все необходимые кабинеты и лаборатории, обеспечивающие учебный процесс, дополнительно в состав помещений школы включены тренажерный зал, музей, зоны отдыха. Спортивный блок представлен двумя спортивными залами и бассейном. Предусмотрена столовая, работающая на сырье, медицинский блок. Рабочие места школьников продуманы до мелочей, все школьные помещения укомплектованы новейшим оборудованием. В рекреациях предусмотрены зоны отдыха. Коридоры, холлы, и другие коммуникационные узлы оборудованы элементами навигации, выполненные в виде указателей и инфографики. Стены украшают аппликации и яркие цветовые акценты, обучающие фразы на латыни.

Территория школы полностью благоустроена, имеет четкое функциональное зонирование. В зоне спорта построен открытый стадион, оборудованы многофункциональные площадки для волейбола и баскетбола. Выделены зоны, оборудованные уличными тренажерами, а также зоны для подвижных и тихих игр. На территории в перспективе запланировано открытие технопарка.

Школа работает по модели «школы полного дня», ученики получают знания на уроках и в развивающих секциях, здесь же в школе они готовят домашние задания. Воспитание и развитие ребенка после уроков педагоги берут на себя, освобождая вечернее время для семейного общения (табл. 4) [3].

Однако, для создания комфортной среды жизнедеятельности, уменьшения нагрузки на городские социальные службы, сокращения социальной маятниковой миграции и, как следствие, оттока населения из пригородных зон в ядро агломерации, необходимо планомерное увеличение общеобразовательных учреждений в среднем на 10–15 %. Наличие муниципальных и коммерческих учреждений, объектов дополнительного образования, способствующих развитию подрастающего поколения, позволят удовлетворить современные потребности населения в различных видах социальных услуг [16].

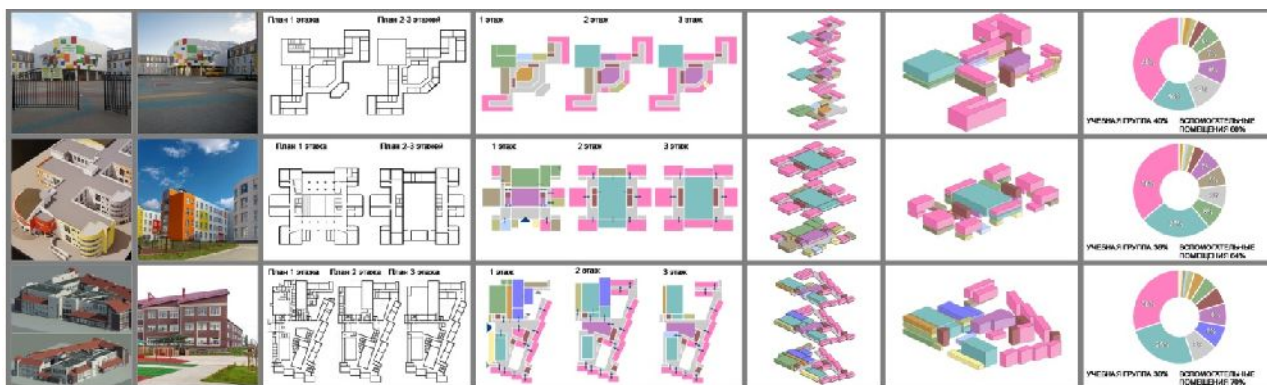
В результате исследования современного периода развития архитектуры школьных зданий, выявлена устойчивая тенденция к расширению их функционального наполнения, увеличению проектной вместимости, строительного объема и этажности. Сегодня это не просто здания, в которых размещаются общеобразовательные организации среднего образования, а по- сути -это обра-

зовательные, многофункциональные, социокультурные центры жилых районов, которые они обслуживают. В их составе – широкая группа помещений спортивного, культурно-зрелищного, развивающего назначения. В отдельных проектах размещены помещения детских технопарков и компьютерных центров. Во многих проектах большое внимание уделяется интерьерным реше-

ниям внутренних пространств, которые используются как дополнительные элементы коммуникации. Дизайн фасадов отличает разнообразие стилей с широким применением активных цветовых композиций и большим спектром отделочных фасадных материалов. Проекты разработаны на основе широкого спектра документов строительного нормирования, Санэпиднадзора и МЧС. [5].

Таблица 4

Таблица эффективности использования общей площади зданий школ Белгородской области 2010–2020 гг. (таблица разработана автором, асс. Чечель И.П.)



Выводы.

– В исследовании выполнен анализ формирования и развития функционально - планировочной структуры общеобразовательных школ Белгородской области в исторической ретроспективе (1904–2020 гг.). В исследуемом периоде выявлены три основных этапа и характерные для каждого этапа периоды.

– По выявленным этапам и периодам определены основные типологические особенности зданий, характерные каждому из этапов и установлены точки роста (перелома) исследуемого объекта.

– Становление здания общеобразовательной школы Белгородского региона, как типологической группы общественных зданий происходило поступательно - из небольших провинциальных зданий с ограниченным набором функций, они трансформировались в многофункциональные здания сложной объемно-планировочной структуры.

– Выполненный анализ эффективности использования общей площади зданий школ, показал, что соотношение площади учебной и вспомогательной, на протяжении рассматриваемых этапов и периодов, постоянно менялось. Это было связано с направлением реформирования системы среднего образования, и приоритетов, которые ставились на этапах проводимых реформ. Сегодня происходит смещение соотношения коэффициента эффективности в сторону группы вспомогательных помещений, которое

ведет к их трансформации из групп – в блоки многофункционального здания.

– Школьное здание, которое в прошлом веке было простым функциональным объектом, обеспечивающим учебный процесс в системе среднего образования, в настоящее время представляет собой сложное образовательное, многофункциональное здание - комплекс, социокультурный центр для населения, проживающего на территории, которое оно обслуживает.

– Сегодня архитектурное проектирование зданий для школ существенно усложнилось.

Проектирование многофункционального, общеобразовательного здания – комплекса, невозможно вести опираясь на нормативные документы, которые касаются только зданий общеобразовательных организаций. Требуется обращение к широкому спектру нормативов, которые охватывают требования по проектированию многофункциональных зданий-комплексов, а также различных типологических групп общественных зданий (клубные, досугово – развлекательные, зрелищные учреждения, здания и помещения здравоохранения, предприятия питания, объекты физкультурного, спортивного и физкультурно – досугового назначения, библиотеки, читальные залы), входящих в состав функциональных блоков здания общеобразовательной организации.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Чечель И.П., Чечель И.Н. Развитие архитектуры общеобразовательных школ в Белгород-

ской области в 1930–1960 гг. // 8-я Международная научная конференция «ПОКОЛЕНИЕ БУДУЩЕГО-2019: взгляд молодых ученых» (13-14 ноября 2019 г.), Курск. МЛ-40. С.287-292.

2. Чечель И.П., Чечель И.Н. Развитие архитектуры общеобразовательных школ в Белгородской области в 1960–1970 гг. // Всероссийская научно-практическая конференция «Инновационные методы проектирования строительных конструкций зданий и сооружений» (21 ноября 2019 г.), Курск. ПГС-06. С.296–300.

3. Чечель И.П., Чечель И.Н. Развитие архитектуры общеобразовательных школ в Белгородской области в 1980–1990 гг. // 4-я Международная научная конференция перспективных разработок молодых ученых “Наука молодых – будущее России» (10 -11 декабря 2019 г.), Курск. МЛ-41. С.402–408.

4. Чечель И.П., Чечель И.Н. Новые тенденции в проектировании и дизайне школ в зарубежных странах и их адаптация в отечественном проектировании // Техническая эстетика и дизайн.

5. Чечель И.П., Чечель И.Н. Развитие архитектуры общеобразовательных школ в Белгородской области в 2000-2020 гг. // Строительные материалы и изделия. 2020.

6. Скалкин А.А. Архитектурная идентичность города: понятие и методология исследования // Architecture and Modern Information Technologies. 2018. №2(43). С. 87–97. URL: <http://marhi.ru/AMIT/2018/2kvart18/PDF/05skalkin.pdf> (дата обращения 05.05.2020).

7. Соловьев А.К., Багратян М.Г. Обзор типовых проектов Школ в СССР / Естественные и технические науки №11(89) // Статья в журнале - научная статья. Москва: Изд-во ООО "Издательство "Спутник+", 2014. С. 560-561.

8. Трубакина Е.А. История развития образования на Белгородчине. URL: [http:// nsportal.ru](http://nsportal.ru) (дата обращения: 30.04.2020).

9. Овчинников В.В. Ольгинская гимназия, или Повесть о вековой истории Новооскольской средней школы № 1. Белгород: Белгородская областная типография, 2006, 2016. С.19–23.

10. Ключко А.Р., Коровина Е.И. Развитие архитектуры школьных зданий в России и в мире [Электронный ресурс] // Архитектура зданий и сооружений. 2017. № 2 (39). С. 98–113.

URL: https://www.marhi.ru/AMIT/2017/2kvart17/PDF/08_AMIT_39_KLOCHKO_KOROVINA_PFF

11. Шпаков Илья, Типовой проект № 70 (школа на 400 учащихся) 1935 года [Текст] <https://shiva16.livejournal.com/77868.html>

12. Беляев В.М. Архитектура белгородских школ [Электронный ресурс] URL: <https://belgorod.livejournal.com/1154583.html>

13. Перькова М.В. Характеристика обеспеченности образовательными учреждениями территории субурбии Белгородской агломерации // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2016. № 11. С. 95–98.

14. Чечель И.Н., Сукачев Е.Д. Альбом проектов учебно-воспитательных комплексов для строительства в сельской местности Белгородской области/ Белгород, 1991.

15. Шелаевская средняя общеобразовательная школа <https://shelaevo.ucoz.ru/>

16. Перькова М.В., Бутко О.В. Анализ обеспеченности образовательными учреждениями территории Белгородской агломерации // в сборнике: Наукоемкие технологии и инновации. Сборник докладов Международной научно-практической конференции. 2016. С. 167–173.

17. Общеобразовательная школа в г. Белгород, микрорайон Новы. Режим доступа: <https://www.bel.kp.ru/online/news/2444109/>

18. Общеобразовательная школа в микрорайоне Лу. Режим доступа: <http://www.beladm.ru/publications/publication/novaya-shkola-v-mikrorajone-luch-zhdet-svoih-uchen/>

19. Общеобразовательная школа «Вектор Успеха» в п.Разумное, Белгородский район. Режим доступа: (Источник: [http://vektor.uobr.ru/МОУ «Разуменская средняя общеобразовательная школа №4 «Вектор успеха»](http://vektor.uobr.ru/МОУ_«Разуменская_средняя_общеобразовательная_школа_№4_«Вектор_успеха»»))

20. Житенев Т.Е. Вопрос о церковноприходских школах на Поместном Соборе Русской Православной Церкви 1917–1918 гг. [pravmisl.ru>index.php?option=com_content...view...412](http://pravmisl.ru/index.php?option=com_content...view...412)

21. Соколов Ю.В. Современное использование памятников архитектуры // Гуманитарные научные исследования. 2016. № 7. URL: <http://human.snauka.ru/2016/07/15840> (дата обращения: 12.05.2020).

Информация об авторах

Чечель Иван Павлович, аспирант, ассистент кафедры архитектуры и градостроительства. E-mail: goldenline7@yandex.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46

Поступила 15.05.2020

© Чечель И.П., 2020

Chechel I.P.

Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov

E-mail: golden-line7@yandex.ru

THE FORMATION AND DEVELOPMENT OF FUNCTIONAL-PLANNING STRUCTURE OF GENERAL EDUCATION SCHOOLS IN BELGOROD REGION (1904–2020)

Abstract. This article presents the results of a systematic study of the formation and development of the functional-planning structure of buildings of general education schools in the Belgorod region. The study is carried out in historical retrospect (1904–2020). Three main stages of the formation of the school buildings structure and its periods are identified. For each of the stages, a description of the typological features of school buildings is given, the functional planning structure and its evolution are considered. The research methodology and methods are based on the principles of a systematic approach and a comprehensive historical, genetic and structural analysis. The research uses methods of generalization and comparative analysis of materials. The data obtained is processed by statistical and graphical analysis methods. The research has shown that at the first stage (Russian Empire, 1904–1917), the system of secondary education is just beginning to take shape. High schools are being built in cities, and parochial and rural schools are being built in rural areas. At the second stage (USSR, 1917–1991), with the transition of the country to the principles of universal literacy, through the system of public education, there is a rapid development of the type of public building of a general educational organization. This period is characterized by the mass construction of schools, which were the first public buildings to be built according to standard projects. Standard design was a forced measure necessary to solve problems related to the development of the public education system. At the third stage (Russian Federation, 1991–2020), there was a transition from standard to individual design of school buildings. However, although the projects were declared as individual, they were mostly based on the solutions of standard projects of the Soviet era, and became their improved copies. The study, based on examples of modern implemented projects, identifies the main directions of development of the functional-planning structure of buildings of general education schools in the Belgorod region in modern conditions with their transformation into multifunctional educational buildings-complexes.

Keywords: general education school, Belgorod region, functional-planning structure, typological features, directions of development.

REFERENCES

1. Chechel I.P., Chechel I.N. Development of architecture of secondary schools in the Belgorod region in 1930–1960 [Razvitie arkhitektury obshchego obrazovaniya shkol v Belgorodskoy oblasti v 1930–1960. 8th international scientific conference "GENERATION of the FUTURE-2019: the view of young scientists" (November 13–14, 2019), Kursk. ML-40. Pp. 287–292. (rus)]
2. Chechel I.P., Chechel I.N. Development of architecture of secondary schools in the Belgorod region in 1960–1970 [Razvitie arkhitektury obshchego obrazovaniya shkol v Belgorodskoy oblasti v 1960–1970]. all-Russian scientific and practical conference "Innovative methods of designing building structures of buildings and structures" (November 21, 2019), Kursk. PGS-06. Pp. 296–300. (rus)]
3. Chechel I.P., Chechel I.N. Development of architecture of secondary schools in the Belgorod region in 1980–1990. [Razvitie arkhitektury obshchego obrazovaniya shkol v Belgorodskoy oblasti v 1980–1990]. 4th international scientific conference of promising developments of young scientists "Science of the young – the future of Russia" (December 10–11, 2019), Kursk. ML-41. Pp. 402–408. (rus)]
4. Chechel I.P., Chechel I.N. New trends in the design and design of schools in foreign countries and their adaptation in domestic design [Novye tendentsii v proektirovani i dizajne shkol v zarubezhnykh stranax i ikh adaptatsiya v otechestvennom proektirovani]. Technical aesthetics and design. (rus)]
5. Chechel I.P., Chechel I. N. Development of architecture of secondary schools in the Belgorod region in 2000–2020. [Razvitie arkhitektury obshchego obrazovaniya shkol v Belgorodskoy oblasti v 2000–2020]. Construction materials and products. 2020.(rus)]
6. Skalkin A.A. Architectural identity of the city: concept and research methodology [Arkhitekturnaya identichnost goroda: ponyatie i metodologiya issledovaniya]. Architecture and Modern Information Technologies. 2018. No. 2 (43). Pp. 87–97. URL: <http://marhi.ru/AMIT/2018/2kvart18/PDF/05skalkin.pdf> (accessed 05.05.2020). (rus)]
7. Solovyov A.K., Bagratyan M.G. Review of standard projects of Schools in the USSR [Obzor tipovykh proektov Shkol v SSSR]/ Natural and technical Sciences/ No. 11 (89). Article in the journal - scientific article. M.: publishing house Sputnik+, 2014, Pp. 560–561. (rus)]

8. Trubavina E.A. History of education development in Belgorod region. [Istoriya razvitiya obrazovaniya na Belgorodchine]. URL: [http:// nsportal.ru](http://nsportal.ru) (accessed: 30.04.2020). (rus)
9. Ovchinnikov V. V. Olginskaya gymnasium, or the Story of the century-old history of Novooskolskaya secondary school No. 1 [Ol'ginskaya gimnaziya, ili Povest' o vekovoj istorii Novooskol'skoj srednej shkoly' No. 1]. Belgorod: Belgorod regional printing house, 2006, 2016. P. 19–23. (rus)
10. Klochko A. R., Korovina E. I. Development of architecture of school buildings in Russia and in the world [Razvitie arkhitektury' shkol'ny'x zdaniy v Rossii i v mire]. Architecture of buildings and structures. 2017. No. 2 (39). Pp. 98–113. - URL: https://www.marhi.ru/AMIT/2017/2kvart17/PDF/08_AMIT_39_KLOCHKO_KOROVINA_PfF (rus)
11. Ilya Shpakov, model project No. 70 (school for 400 students) in 1935 [Tipovoj proekt № 70 (shkola na 400 uchashhixsya) 1935 goda] [Text] <https://shiva16.livejournal.com/77868.html> (rus)
12. Belyaev V.M. Architecture of Belgorod schools [Arkhitektura belgorodskix shkol] [Electronic resource] URL: <https://belgorod.livejournal.com/1154583.html> (rus)
13. Perkova M.V. Characteristics of the provision of educational institutions in the territory of the suburban Belgorod agglomeration [Xarakteristika obespechennosti obrazovatel'ny'mi uchrezhdeniyami territorii suburbii Belgorodskoj aglomeracii]. Bulletin of BSTU named after V. G. Shukhov. 2016. no. 11. Pp. 95–98. (rus)
14. Checheli N.N., Sukachev E. D. Album of projects of educational complexes for construction in rural areas of the Belgorod region [Al'bom proektov uchebno-vospitatel'ny'x kompleksov dlya stroitel'stva v sel'skoj mestnosti Belgorodskoj oblasti] / Belgorod, 1991. (rus)
15. Shelaevskaya secondary school <https://shelaevo.ucoz.ru/>
16. Perkova M.V., Butko O.V. Analysis of the provision of educational institutions in the territory of the Belgorod agglomeration [Analiz obespechennosti obrazovatel'ny'mi uchrezhdeniyami territorii Belgorodskoj aglomeracii]. In the collection: science-Intensive technologies and innovations. Collection of reports of the International scientific and practical conference. 2016. Pp. 167–173. (rus)
17. Secondary school in Belgorod, Novy-2 microdistrict. Access mode: <https://www.bel.kp.ru/online/news/2444109/>
18. Secondary school in the district Luch [Text]. Mode of access: <http://www.beladm.ru/publications/publication/novaya-shkola-v-mikrorajone-luch-zhdet-svoih-uchen/>
19. Secondary school "Vector of Success" in p.Razumnoye, Belgorod district [Text]. Access mode: (Source:<http://vektor.uobr.ru/> MoE "Razumenskaya secondary school №4" Vector of success»)
20. Zhitenev T.E. the Question of parish schools at the local Council of the Russian Orthodox Church 1917-1918. pravmisl.ru/index.php?option=com_content&view=412
21. Sokolov Yu.V. Modern use of architectural monuments [Sovremennoe ispol'zovanie pamyatnikov arkhitektury']. Humanities research. 2016. No. 7. URL: <http://human.snauka.ru/2016/07/15840> (accessed: 12.05.2020). (rus)

Information about the authors

Chechel, Ivan P. Postgraduate student. E-mail: golden-line7@yandex.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Received 15.05.2020

Для цитирования:

Чечель И.П. Формирование и развитие функционально-планировочной структуры общеобразовательных школ Белгородской области (1904–2020 гг.) // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2020. № 7. С. 49–65. DOI: 10.34031/2071-7318-2020-5-7-49-65

For citation:

Chechel I.P. The formation and development of functional-planning structure of general education schools in belgorod region (1904–2020). Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2020. No. 7. Pp. 49–65. DOI: 10.34031/2071-7318-2020-5-7-49-65

DOI: 10.34031/2071-7318-2020-5-7-66-75

Алексеев Ю.В., Мурад Алашкар.И.Х., *Рукосуева Е.А., Маджорзадехзахири А.
Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет
*E-mail: katarukosueva@gmail.com

УЧЕТ ИНТЕРЕСОВ ЖИТЕЛЕЙ Г. ХОМС ПРИ РЕНОВАЦИИ ЖИЛОЙ ЗАСТРОЙКИ ПОСЛЕ РАЗРУШЕНИЯ

Аннотация. В мегаполисе Хомс война нарушила жизнедеятельность города, разрушила социальную, экономическую и экологическую сферы. Для того чтобы понять в каком направлении осуществлять процесс планирования и какие мероприятия необходимо учесть при планировании территории г. Хомс, было проведено социологическое исследование - анкетный опрос жителей города. В результате опроса и анализа данных были разработаны таблицы, которые включают внутренние и внешние факторы и влияют на пространственное развитие г. Хомс. С помощью SWOT-анализа составлены матрицы оценки внутренних факторов (IFE) и внешних факторов (EFE). В результате исследования выявлены и проанализированы планировочные возможности и ограничения, обеспечивающие обоснованное планирование города Хомс. Полученные результаты свидетельствуют о том, что ресурсный потенциал территории достаточно богат и позволяют устранить слабые стороны, преодолеть внешние угрозы и укрепить систему планирования для обеспечения устойчивого развития г. Хомс. Предложена оптимальная стратегия пространственного развития города, которая описана по группам внутренних и внешних факторов. Она учитывает социально-культурные и экономические аспекты, экологические аспекты и управление пространственно-территориальным развитием территорий.

Ключевые слова: г. Хомс, устойчивое развитие, SWOT-анализ, матрицы IFE и EFE, стратегия развития.

Введение. Устойчивое развитие включает в себя социальные, экологические и экономические аспекты. Городское развитие может быть устойчивым, когда оно может обеспечить конкретные решения для лучшего удовлетворения потребностей жителей. Это проблема, которая не была реализована из-за подавляющего отношения к структуре городского управления, отсутствия участия общественности и многих других последствий традиционного планирования, несовместимых с Целями устойчивого городского развития [1, 2, 3].

Эксперты ООН по городскому хозяйству считают, что городское планирование и управление в развивающихся странах имеют общие черты, такие как амбициозность и нереалистичность, отсутствие механизмов реализации, отсутствие правовой системы и согласованной организационной структуры, нехватка финансовых ресурсов, а также нехватка навыков и знаний. Ситуацию усугубляют недостаточное участие граждан, проблемы городского землепользования, неспособность правительств контролировать земельные участки, отсутствие надлежащих стандартов и стандартов землепользования для жилых помещений, отсутствие гибкости и несовместимость с текущими городскими планами, включая генеральный план. Основная ответственность и обязанность городских властей всегда различны в зависимости от вкусов и мнений разных людей, в то время как существование еди-

ного замысла и стандартных процессов для каждого из вышеперечисленных показателей можно регулировать и решать. Правильная оценка городов очень полезна. Соответственно, любой менеджер, использующий правильную политику городского управления, может более эффективно выполнять проекты и иметь лучшие государственные услуги и более здоровую среду обитания, реалистичные цели и более практический городской результат. Концепция устойчивого развития коренится в экологическом принципе. Согласно этому принципу, если в любой среде так же эффективно, как в природе, используются ресурсы, то принцип капитала будет заключаться в том, что он остается стабильным, а наше использование окружающей среды так же устойчиво, как и ее производственная мощность. Действительно, устойчивое развитие подчеркивает создание общества мечты, которое превосходит сегодняшнее общество и стремится сделать его реальностью для будущих поколений. [4, 5, 6, 7]

Некоторые авторы в своих исследованиях уделяли внимание возможности достижения устойчивости планов и программ на примере арабских стран. Было выявлено, что в некоторых арабских странах в последнее время достаточно остро стоят вопросы экологической устойчивости и более эффективного управления развитием территорий. Новое законодательство стран Ближнего Востока (в частности, Ирака), Органи-

зации Объединенных Наций, а также Европейского Союза связано с повышением требований по экологическим вопросам. [8]

В сложившихся современных условиях глобального экологического кризиса региональное территориальное планирование должно основываться, прежде всего, на сохранении и укреплении природного каркаса, преемственности развития территории и обеспечивать благоприятную среду жизнедеятельности соответственно особенностям места проживания [9]. Поэтому в настоящее время, когда г. Хомс практически полностью разрушен в результате военных действий, в ближайшем будущем планируется реновации жилой застройки в г. Хомс необходимо предусмотреть планировочные решения, соответствующие требованиям устойчивого развития.



Рис. 1. Карта мухафазы Хомс

Объект исследований – мегаполис Хомс, площадью 4800 гектаров. Хомс является административным центром одноименной мухафазы и одним из крупнейших районов страны. Хомс – крупнейший биокomплекс в центре Сирии, с населением в 2020 году примерно 1 336 000 человек, что на 1,67 % больше, чем в 2019 году. В исследовании было рассмотрено 44 района г. Хомса.

Цель исследования. Основной целью данного исследования является выявление приемлемой и устойчивой стратегии реконструкции жилых районов города Хомс с акцентом на социальные условия и ресурсы после разрушения города.

Задачи исследования. Для достижения этой цели исследуется два вопроса:

1. Обзор современного состояния социальной структуры города и жилых районов в соответствии с критериями градостроительного планирования с целью перестройки;
2. Определение наилучшей стратегии принятия мер по восстановлению жилых районов в соответствии с размерами городского общества после сноса.

Методология исследования. В данном исследовании используется описательно-исторический метод, основанный на документальной и библиотечной информации. На основе теоретико-эмпирического исследования и с учетом территориально-пространственного измерения субъекта (город Хомс) использован метод полевых исследований – был проведен первичный обзор ситуации в районе до разработки анкеты.

Для комплексного выявления и анализа возможностей и ограничений развития с целью классификации областей с точки зрения устойчивости развития в данном исследовании был использован SWOT-анализ.

SWOT-анализ – это метод структурированного планирования, используемый для оценки сильных и слабых сторон, возможностей и угроз, связанных с таким проектом, как устойчивое городское развитие. SWOT-анализ может быть проведен для города, места, отрасли или человека. Он включает в себя определение цели устойчивого развития в проекте и выявление внутренних и внешних факторов, которые являются благоприятными и неблагоприятными для достижения этой цели, то есть формулирование стратегического плана и представление стратегий развития.

В отличие от предыдущих десятилетий, внешний вид городов, особенно мегаполисов, изменился от традиционного и классического к системному и стратегическому, и их устойчивость или нестабильность развития в значительной степени зависят от внутренних сильных и слабых сторон. Во внешнем плане неизбежно использование модели, которая может обеспечить комплексный анализ возможностей и ограничений развития путем выявления внутренних и внешних факторов [10, 11].

В данном исследовании проведен экспертный опрос, обработаны результаты опроса, сделаны выводы с учетом примененной SWOT-модели.

Теоретические основы исследования.

Пространственный анализ

Пространственный анализ позволяет понять взаимосвязи между явлениями и элементами и помогает упростить и создать порядок в расплывчатой и сложной реальности [12, 13].

Устойчивое развитие

Это урок, который человечество извлекло из своего прошлого, особенно после промышленной революции, и пришло к выводу, что развитие необходимо, но что окружающая среда не должна быть жертвой деятельности в области развития. В ответ на городские проблемы и кризисы были выдвинуты новые концепции и подходы для будущего развития, которые можно назвать устойчивым развитием, экологической

справедливостью, новой урбанизацией и, в последнее время, разумным развитием. [14, 15].

Устойчивость городов

В целом устойчивость городского развития основывается на поддержке и взаимодействии экологических, социально-экономических и политических причин, которые объединяют эти три перспективы для достижения устойчивости городов. Устойчивое городское развитие с пятью общими целями для достижения устойчивого городского будущего в европейских городах, основанного на минимальном использовании пространства и природных ресурсов, улучшении управления городскими потоками, защите здоровья городского населения, обеспечении равного доступа к ресурсам и услугам и заботе о культурном разнообразии и является социальным процессом. [16, 17]

Анализ

Как указано в методике работы, SWOT-модель основана на анализе пространственных различий и состояния устойчивости развития в 44 районах Хомса. Для этого были предприняты следующие шаги:

1) Первый шаг – выявление внутренних и внешних факторов развития с помощью анкетирования жителей.

На основе SWOT-модели разработаны Таблицы 1, 2, 3, 4, характеризующие внутренние и внешние факторы, влияющие на пространственно-территориальное развитие г. Хомс.

При SWOT-анализе внутренними факторами являются те факторы, на которые способен повлиять сам объект анализа. В рамках данного исследования к внутренним факторам относятся социальные, функциональные, местные экономические факторы, соображения общественного интереса. Внешними являются факторы, которые могут повлиять на объект анализа, но при этом не контролируются им. К внешним факторам относятся региональные экономические, политические, инвестиционные, иммиграционные факторы и чрезвычайные ситуации, такие как природные бедствия, войны и др.

Выбранные критерии исследования были разделены на внутренние и внешние факторы развития и обобщены в таблицах 1 и 2. В таблице 1 представлены состав внутренних факторов, определяющих сильные и слабые стороны планировочного решения.

Таблица 1

Критериальная матрица внутренних факторов устойчивости развития г. Хомса на основе SWOT- модели

Внутренние факторы	
Сильные стороны	Слабые стороны
Си1. Охват и уровень общей грамотности населения. Си2. Размер домашнего хозяйства. Си3. Соотношение полов. Си4. Яркие и динамичные городские районы Си5. Сокращение потока миграции населения в город. Си6. Отсутствие кластерной формы города, несмотря на различные этнические и расовые группы. Си7. Контроль естественного прироста населения. Си8. Высокий уровень осведомленности о здоровье и низкий уровень смертности. Си9. Высокий уровень безопасности и социального комфорта на уровне микрорайона. Си10. Благотворительные фонды и учреждения по всему городу.	Сл1. Повышение уровня рождаемости и необходимость контроля численности населения. Сл2. Способность создавать социально-экономические аномалии. Сл3. Низкий уровень общей культуры. Сл4. Нестабильность семей. Сл5. Потенциал социальных аномалий. Сл6. Отсутствие социального участия. Сл7. Высокая распространенность социальных расстройств и аномалий. Сл8. Отсутствие устойчивости и нестабильного социального капитала из-за соседних районов, этнического разнообразия без социальной сплоченности и интеграции. Сл9. Снижение качества жизни и отсутствие необходимых минимальных условий жизни и услуг. Сл10. Возросло количество жилья, арендного мигрантами из-за пределов города Хомс.

В таблице 2 представлены внешние факторы, определяющие возможности планировочного решения и угрозы для развития города.

Таблица 2

Критериальная Матрица внешних факторов устойчивости развития Хомс на основе SWOT- модели

Внешние факторы	
Возможности	Угрозы
В1. Структура человеческих ресурсов с точки зрения высокого качества населения. В2. Молодое население города Хомс (двигатель развития). В3. Управление ориентацией основ градостроительных планов на популяризацию и соответствие требованиям гражданского общества. В4. Сохранение памяти и самобытности культурных и социальных ценностей жителей города. В5. Существование духа участия, урбанизации, этнического сосуществования. В6. Наличие многочисленных академических центров в этом районе. В7. Существование социальных, культурных и самобытных ценностей в старых кварталах В8. Высокая готовность людей жить в квартирах. В9. Растущий уровень грамотности. В10. Здесь проживает большая часть этнических и расовых слоев населения.	У1. Рост и распространение социального ущерба, обусловленного ростом численности населения. У2. Расселение переселенцев на окраинах города и создание и развитие пригородов. У3. Рост численности населения в городе. У4. Существование различных этнических групп со специфической социальной стратификацией и неэтничностью (таких как персы, турки и курды). У5. Молодежь г. Хомса (демографическая нагрузка и социально-экономические и жилищные проблемы). У6. Крайняя нищета и двухуровневое разделение (бедность и богатство) в районе г. Хомса. У7. Снижение качества жизни и недостаточная обеспеченность граждан жильем. У8. Отсутствие программ иммиграционного контроля. У9. Нестабильное жилье в этом районе (высокие арендные ставки) в сочетании с отсутствием чувства места и, следовательно, слабостью социального участия, гражданской активности и поведения, основанного на гражданстве. У10. Высокая доля иммигрантов и доминирование сельских представлений и культуры.

2) Второй шаг – присвоение рейтингов.

Каждому фактору должен быть присвоен вес в диапазоне от 0,0 (низкая важность) до 1,0 (высокая важность). Это число показывает, насколько важен данный фактор, если город хочет добиться успеха в устойчивом городском развитии. Сумма всех весов должна быть равна 1,0.

Рейтинги в матрице оценки внутренних факторов ставятся в зависимости от того, насколько сильны или слабы выбранные факторы, а в матрице оценки внешних факторов аналогично оцениваются возможности или угрозы каждого фактора в городе. Значения рейтингов варьируются от 4 до 1, где 4 означает большую силу или воз-

можности, 3 – незначительную силу или возможности, 2 – незначительную слабость или угрозы и 1 – большую слабость или угрозы. Сильные стороны или возможности могут получать только оценки 3 и 4, слабые стороны или угрозы – 1 и 2 [18].

Общая оценка каждого фактора находится как произведение веса фактора на его рейтинг.

В таблице 3 на основании данных таблицы 1 представлены внутренние факторы, оцененные с помощью матрицы оценки.

В таблице 4. на основании данных таблицы 2 представлены внешние факторы, оцененные с помощью матрицы оценки.

Таблица 3

Матрица оценки внутренних факторов (IFE)

Внутренние факторы	Вес	Рейтинг	Общая оценка
Сл1. Повышение уровня рождаемости и необходимость контроля численности населения	0.054	2	0.108
Сл2. Способность создавать социально-экономические аномалии.	0.04	2	0.08
Сл3. Низкий уровень общей культуры.	0.027	2	0.054
Си4. Сокращение потока миграции населения в город.	0.027	2	0.054
Си5. Отсутствие кластерной формы города, несмотря на различные этнические и расовые группы.	0.054	2	0.108
Си6. Контроль естественного прироста населения.	0.04	1	0.04
Сл7. Высокая распространенность социальных расстройств и аномалий.	0.054	2	0.108
Сл8. Отсутствие устойчивости и нестабильного социального капитала из-за соседних районов, этнического разнообразия без социальной сплоченности и интеграции.	0.067	2	0.134

Окончание таблицы 3

Сл9. Снижение качества жизни и отсутствие необходимых минимальных условий жизни и услуг.	0.04	1	0.04
Сл10. Возросло количество жилья, арендного мигрантами из-за пределов города Хомс.	0.04	2	0.08
Си1. Охват и уровень общей грамотности населения.	0.067	4	0.268
Си2. Размер домашнего хозяйства.	0.054	3	0.162
Си3. Соотношение полов.	0.054	3	0.162
Си4. Яркие и динамичные городские районы	0,067	3	0.201
Си5. Сокращение потока миграции населения в город.	0,054	3	0.162
Си6. Отсутствие кластерной формы города, несмотря на различные этнические и расовые группы.	0.04	3	0.12
Си7. Контроль естественного прироста населения.	0.067	3	0.201
Си8. Высокий уровень осведомленности о здоровье и низкий уровень смертности.	0.054	3	0.081
Си9. Высокий уровень безопасности и социального комфорта на уровне микрорайона.	0.027	3	0.081
Си10. Благотворительные фонды и учреждения по всему городу.	0.027	3	0.081
Общий показатель IFE	1		2.445

Таблица 4

Матрица оценки внешних факторов (EFE)

Внутренние факторы	Вес	Рейтинг	Общая оценка
У1. Рост и распространение социального ущерба, обусловленного ростом численности населения и молодежи.	0,071	2	0,142
У2. Расселение переселенцев на окраинах города и создание и развитие пригородов.	0,057	2	0,114
У3. Рост численности населения в городе.	0,042	2	0,084
У4. Существование различных этнических групп со специфической социальной стратификацией и неэтничностью (таких как персы, турки и курды).	0,071	2	0,142
У5. Молодежь г. Хомса (демографическая нагрузка и социально-экономические и жилищные проблемы).	0,071	2	0,142
У6. Крайняя нищета и двухуровневое разделение (бедность и богатство) в районе г. Хомса.	0,057	2	0,114
У7. Снижение качества жизни и недостаточная обеспеченность граждан жильем.	0,042	2	0,084
У8. Отсутствие программ иммиграционного контроля.	0,042	2	0,084
У9. Нестабильное жилье в этом районе (высокие арендные ставки) в сочетании с отсутствием чувства места и, следовательно, слабостью социального участия, гражданской активности и поведения, основанного на гражданстве.	0,071	2	0,142
У10. Высокая доля иммигрантов и доминирование сельских представлений и культуры.	0,057	3	0,171
В1. Структура человеческих ресурсов с точки зрения высокого качества населения.	0,042	3	0,126
В2. Молодое население города Хомс (двигатель развития).	0,057	4	0,288
В3. Управление ориентацией основ градостроительных планов на популяризацию и соответствие требованиям гражданского общества.	0,014	3	0,042
В4. Сохранение памяти и самобытности культурных и социальных ценностей жителей города.	0,042	3	0,126
В5. Существование духа участия, урбанизации, этнического сосуществования.	0,028	3	0,084
В6. Наличие многочисленных академических центров в этом районе.	0,042	3	0,126
В7. Существование социальных, культурных и самобытных ценностей в старых кварталах.	0,042	3	0,126
В8. Высокая готовность людей жить в квартирах.	0,042	4	0,168
В9. Растущий уровень грамотности.	0,057	3	0,171
В10. Здесь проживает большая часть этнических и расовых слоев населения.	0,042	4	0,168
Общий показатель EFE	1		2,53

3) Третий шаг – интерпретация результатов.

Матрицы IFE или EFE сами по себе имеют мало ценности. Необходимо провести оба анализа и объединить их результаты для обсуждения новых стратегий или для дальнейшего анализа. Они особенно полезны при построении расширенного SWOT-анализа, матрицы IE.

Для получения результатов, на IE-матрице по горизонтали откладывается общий показатель IFE, а по вертикали – общий показатель EFE, и находится точка пересечения значений показателей. Как показано на рис. 2.

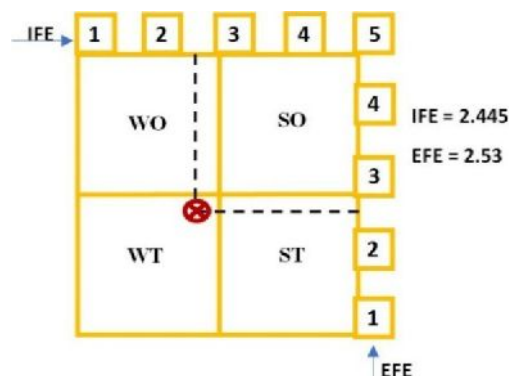


Рис. 2. Стратегия учета внутренних и внешних факторов (IE) устойчивого развития г. Хомса на основе SWOT

На рис. 2:

- **WO (Сл.В)** Стратегия 'мини-макси' – стратегии, которые минимизируют слабые стороны, используя возможности.
- **SO (Си.В)** Стратегия 'Макси-Макси' – стратегии, которые используют внутренние сильные стороны, чтобы максимизировать возможности.
- **WT (Сл.У)** Стратегия 'мини-мини' – стратегии, которые минимизируют слабости, чтобы избежать угроз.
- **ST (Си.У)** Стратегия 'Макси-Мини' – стратегии, которые используют сильные стороны, чтобы минимизировать угрозы.

На основании Таблиц 1, 2, 3, 4 и SWOT-матрицы (рис. 2) сделан вывод, что для устойчивого развития г. Хомса наиболее подходящей является стратегия «мини-макси», которая основана на минимизации слабых сторон, максимально используя возможности развития г. Хомса.

Выводы. Предлагаемые решения данного исследования представлены, с одной стороны, относительно потребностей жителей города, уровня развития и имеющихся институтов и ресурсов городского управления, а с другой стороны, с учетом наиболее важных препятствий и трудностей в достижении Целей устойчивого развития.

На основе матрицы (IE) была принята стратегия WT (Сл.У) "мини-Мини", которая находит

пути минимизации слабых сторон и противодействия угрозам.

В соответствии с этой стратегией для достижения цели исследования необходимо предпринять следующие шаги:

1. Применение политики, основанной на принадлежности и чувстве места у городских жителей.
2. Сбалансировать качество распределения и малочисленность населения в городе
3. Организация и развитие образовательных и культурных пространств в городе.
4. Укрепление идентичности города Хомса в различных психологических, культурных и социальных аспектах при одновременном обеспечении динамизма города и оснащении его для принятия происходящих событий и следования эволюционному процессу.

1. Создавайте подходящие и совместимые приложения с логической и тесной связью для достижения оживленных, динамичных, динамичных и активных окрестностей.

2. Возрождение ценной самобытности, гражданских и историко-культурных особенностей города при одновременном обеспечении условий для его роста и развития.

3. Использование основ градостроительных планов для адаптации к требованиям гражданского общества.

4. Пропаганда культурной самобытности в национальном масштабе уделяет ей особое внимание в градостроительстве.

5. Повышение и укрепление культуры квартирного проживания среди горожан, особенно низших слоев городского общества.

6. Укрепление социальной защищенности и комфорта при социальном участии граждан на уровне микрорайона.

7. Расширение и развитие социальных связей и взаимодействий через развитие коллективных и открытых городских пространств.

8. Развитие и укрепление сбалансированного распределения объектов и услуг для предотвращения роста бедности и двухуровневого разделения (бедность и богатство) в городе.

9. Улучшение качества жизни неблагополучных и маргинализированных районов путем внедрения биологических объектов и услуг, необходимых для жизни их жителей.

Ожидается, что применение данной стратегии при планировании реновации г. Хомс будет способствовать повышению устойчивости пространства города и обеспечит участие обществу в этом процессе.

Некоторые важные решения по обеспечению устойчивости развития, основанные на результатах модели оценки SWOT-анализа, представлены в таблице 5.

Таблица 5

Стратегии устойчивого развития г. Хомса

Аспекты формирования среды жизнедеятельности	SWOT решения для структурного развития, полученные на основе модели оценки
Социально-культурные и экономические аспекты	Обеспечение необходимых условий и средств для качественного и количественного улучшения жизни путем физического улучшения и организации условий жизни этих городских общин в Хомсе.
	Привлечение потенциального участия жителей изношенных и неэффективных городских районов для расширения экономических и социальных прав и возможностей.
	Организация нового бизнес-центра города для перехода от одноядерного города к многоядерному городу.
	Предоставление правового титула на имущество и предоставление обеспечения жителям неформальных поселений.
	Развитие культурно-досуговых пространств в некоторых городских районах.
	Формирование и ввод в действие местных советов как первого источника развития местных сообществ и важнейшего инструмента эффективного городского управления.
	Признание неформальных поселений и их стимулирующих планов и проектов развития.
	Постепенное уточнение доминирующих бизнес показателей конкретных городских районов с целью повышения уровня жизни и качества жизни жителей.
Экологические аспекты	Развитие и оснащение курортов и городских прогулок.
	Внимание и потенциальное использование природной среды города.
	Создание НПО и усиление их роли и ответственности в качестве символа коллективной поддержки сохранения зеленых насаждений, природных ресурсов и лесов в городе и его окрестностях.
	Повышение эффективности системы общественного транспорта.
	Содействие распространению культуры разделения отходов на волне комплексного управления городским хозяйством и жителями.
	Соблюдение строительных норм, энергоэффективная оптимизация высокотехнологичных материалов, а также полный переход на чистое топливо в автомобилестроении и обрабатывающей промышленности.
	Реализация программы переселения в зоны повышенного риска и перевод в альтернативные безопасные места.
	Практическое требование к частному и государственному секторам региона проводить исследования по экологической оценке перед любыми планами и проектами развития.
Аспекты Управления пространственно-территориальным развитием	Реновация и развитие инфраструктуры в городских районах.
	Разработка новых сдерживающих механизмов для предотвращения несанкционированного и незаконного строительства.
	Разработка и внедрение пакетов поддержки и поощрений для модернизации и реконструкции некачественных зданий.
	Создание устойчивых источников доходов муниципалитетов для восстановления городских пространств с участием частного сектора.
	Создание в муниципалитете интегрированного подразделения по управлению городским хозяйством с участием представителей различных органов и структур, занимающихся вопросами городского развития и управления, для координации и принятия единой политики в области планирования, составления бюджета и осуществления необходимых планов и услуг в области городского развития.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Dempsey N., Brown C., Bramely G. The key to sustainable urban development in uk cities? The influence of density on social sustainability // Progress in planning. 2012. Vol.77. Pp 89–141.
2. Houghton. Developing Sustainable Urban Development Models // Cities. 1997. Vol.14. No. 4. Pp. 189–195.
3. Hall P. Toward Sustainable, Liveable and Innovative cities for 21st century // Proceedings of the

Third conference of the World Capitals. Tokyo. 1993. Pp. 22–28.

4. Duran J.A., Paucar A. Sustainability Model for the Valsequillo Lake in Puebla, Mexico: Combining System Dynamics and Sustainable Urban Development. 2007. 45 p.
5. Lang J. Urban Design. The American Experience. Van Nostrand Reinhold. New York. 2006. 27 p.

6. Smith P. Symbolic Meaning in Contemporary Cities // *Ekistics*. 2005. Vol. 39, No. 232, pp. 159–164
7. Pripco C. Sustainable development. URL: www.ingham.org/ce/CED/article. 2005.
8. Абуали А.М., Перькова М.В. Стратегическая экологическая оценка планов и программ для Ирака // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2019. Том 4 № 8. С. 63–72.
9. Перькова М.В. Градостроительное развитие региональной системы расселения и ее элементов (на примере Белгородской области): дисс. ... д-ра архитектуры. М., 2019, 324 С.
10. Humphrey A. SWOT Analysis for Management Consulting // *SRI Alumni Newsletter*. SRI International. 2005. Pp. 42.
11. Blake M., Wijetilaka S. 5 tips to grow your start-up using SWOT analysis. Sydney. 2015. 21 p.
12. Sarrafi M. What is a sustainable city // *Journal of Urban Management*. Vol.4. Pp 17-20.
13. Dulfos O. Geographical Analysis, translation. Nika publication. 1994. 43 p.
14. Barton H. Shaping Neighbourhoods: For Local Health and Global Sustainability: Health, Sustainability, Vitality. 2003. 256 p.
15. Thomas R. Sustainable Urban Design. An Environmental Approach. Taylor and Francis. London. 2009. 256 p.
16. Breheny M. Planning the Sustainable City Region. Earthscan Publication. London. 1994. 170 p.
17. Maoh H., Kanaroglou P. A Tool for Evaluating Urban Sustainability via Integrated Transportation and Land Use Simulation Models. // *Urban Environment*. 2009. Vol. 3. Pp. 28-49.
18. Трегубенко П. Применение матрицы конкурентного профиля (СРМ) для оценки конкурентоспособности компаний // *Риск: ресурсы, информация, снабжение, конкуренция*. 2014. №2. С. 50–53.

Информация об авторах

Алексеев Юрий Владимирович, доктор архитектуры, профессор кафедры градостроительства. E-mail: Alekseev-grado@yandex.ru. Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет. Россия, 129337, Москва, Ярославское ш., д. 26.

Мурад Алашкар Ийлаф Хишам, магистрант кафедры градостроительства. E-mail: elaf.alashkar1992@gmail.com. Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет. Россия, 129337, Москва, Ярославское ш., д. 26.

Рукосуева Екатерина Алексеевна, студентка 4 курса института строительства и архитектуры. E-mail: katyarukosueva@gmail.com. Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет. Россия, 129337, Москва, Ярославское ш., д. 26.

Маджорзадехзахири Алиреза, магистрант кафедры градостроительства. E-mail: Alireza_majorzadehzahiri@yahoo.com. Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет. Россия, 129337, Москва, Ярославское ш., д. 26.

Поступила 28.03.2020

© Алексеев Ю.В., Мурад Алашкар.И.Х., Рукосуева Е.А., Маджорзадехзахири А., 2020

Alekseev Y.V., Mourad Alashkar E.H., *Rukosueva E.A., Majorzadehzahiri A.
Moscow State University of Civil Engineering (National Research University)
 *E-mail: katyarukosueva@gmail.com

CONSIDERATION OF INTERESTS OF HOMES RESIDENTS WHEN RENOVATING A RESIDENTIAL BUILDING AFTER DESTRUCTION

Abstract. The war disrupted the life of the city, destroyed the social, economic and environmental spheres in Homs. A sociological study – a questionnaire survey of city residents is conducted to understand in which direction to carry out the planning process and what activities should be taken into account when planning the territory of the city of Homs. As a result of the survey and data analysis, tables are developed that include internal and external factors and affect the spatial development of the city of Homs. Matrices for assessing internal factors (IFE) and external factors (EFE) are compiled by SWOT analysis. The planning possibilities and limitations that provide reasonable planning of the city of Homs are identified and analyzed. The results obtained indicate that the resource potential of the territory is quite rich and can eliminate weaknesses, overcome external threats and strengthen the planning system to ensure the sustainable development of Homs. An optimal strategy for the spatial development of the city is proposed. It is described by groups of internal and external factors. It takes into account socio-cultural and economic aspects, environmental aspects and the management of spatial and territorial development of territories.

Keywords: Homs city, sustainable development, SWOT analysis, IFE and EFE matrices, development strategy.

REFERENCES

1. Dempsey N., Brown C., Bramely G. The key to sustainable urban development in uk cities? The influence of density on social sustainability. Progress in planning. 2012. Vol.77. Pp 89–141.
2. Houghton. Developing Sustainable Urban Development Models. Cities. 1997. Vol.14. No. 4. Pp 189-195.
3. Hall P. Toward Sustainable, Liveable and Innovative cities for 21st century // Proceedings of the Third conference of the World Capitals. Tokyo. 1993. Pp. 22-28.
4. Duran J.A., Paucar A. Sustainability Model for the Valsequillo Lake in Puebla, Mexico: Combining System Dynamics and Sustainable Urban Development. 2007. 45 p.
5. Lang J. Urban Design. The American Experience. Van Nostrand Reinhold. New York. 2006. 27 p.
6. Smith P. Symbolic Meaning in Contemporary Cities. Ekistics. 2005. Vol. 39, No. 232, pp. 159-164
7. Pripco C. Sustainable development. URL: www.ingham.org/ce/CED/article. 2005.
8. Abuali A.M., Perkova M.V. Strategic Environmental Assessment of Plans and Programs for Iraq [Strategicheskaya ekologicheskaya otsenka planov i programm dlya Iraka]. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2019. Vol. 4. No. 8. Pp. 63–72. (rus)
9. Perkova M.V. Urban development of the regional settlement system and its elements (on the example of the Belgorod region) [Gradostroitel'noye razvitiye regional'noy sistemy rasseleniya i yeye elementov (na primere Belgorodskoy oblasti)] thesis. ... Dr. architecture.. M., 2019, 324 p. (rus)
10. Humphrey A. SWOT Analysis for Management Consulting. SRI Alumni Newsletter. SRI International. 2005. 42 p.
11. Blake M., Wijetilaka S. 5 tips to grow your start-up using SWOT analysis. Sydney. 2015. 21 p.
12. Sarrafi M. What is a sustainable city. Journal of Urban Management. Vol.4. Pp 17–20.
13. Dulfos O. Geographical Analysis, translation. Nika publication. 1994. 43 p.
14. Barton H. Shaping Neighbourhoods: For Local Health and Global Sustainability: Health, Sustainability, Vitality. 2003. 256 p.
15. Thomas R. Sustainable Urban Design. An Environmental Approach. Taylor and Francis. London. 2009. 256 p.
16. Breheny M. Planning the Sustainable City Region. Earthscan Publication. London. 1994. 170 p.
17. Maoh H., Kanaroglou P. A Tool for Evaluating Urban Sustainability via Integrated Transportation and Land Use Simulation Models. Urban Environment. 2009. Vol. 3. Pp. 28–49.
18. Tregubenko P. Application of a competitive profile matrix (CPM) to assess the competitiveness of companies [Primeneniye matritsy konkurentnogo profilya (CPM) dlya otsenki konkurentosposobnosti kompaniy]. Risk: resursy, informatsiya, snabzheniye, konkurenciya. 2014. No. 2. Pp. 50–53. (rus).

Information about the authors

Alekseev, Yuri V. DSc, Professor. E-mail: Alekseev-grado@yandex.ru. Moscow State University of Civil Engineering (National Research University). Russia, 129337, Moscow, Yaroslavskoye Shosse, 26.

Mourad Alashkar, Eilaf H. Master student. E-mail: eilaf.alashkar1992@gmail.com. Moscow State University of Civil Engineering (National Research University). Russia, 129337, Moscow, Yaroslavskoye Shosse, 26.

Rukosueva, Ekaterina A. Bachelor student. E-mail: katyarusueva@gmail.com. Moscow State University of Civil Engineering (National Research University). Russia, 129337, Moscow, Yaroslavskoye Shosse, 26.

Majorzadehzahiri Alireza, Master student. E-mail: Alireza_majorzadehzahiri@yahoo.com. Moscow State University of Civil Engineering (National Research University). Russia, 129337, Moscow, Yaroslavskoye Shosse, 26.

Received 28.03.2020

Для цитирования:

Алексеев Ю.В., Мурад Алашкар.И.Х., Рукосуева Е.А., Маджорзадехзахири А. Учет интересов жителей г. Хомс при реновации жилой застройки после разрушения // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2020. №7. С. 66–74. DOI: 10.34031/2071-7318-2020-5-7-66-74

For citation:

Alekseev Y.V., Mourad Alashkar E.H., Rukosueva E.A., Majorzadehzahiri A. Consideration of the interests of residents of Homs in the renovation of residential buildings after destruction. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2020. No. 7. Pp. 66–74. DOI: 10.34031/2071-7318-2020-5-7-66-74

DOI: 10.34031/2071-7318-2020-5-7-75-83

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

ВЛИЯНИЕ ПРОИЗВЕДЕНИЙ В.О. ШЕРВУДА НА ФОРМИРОВАНИЕ «КИРПИЧНОГО СТИЛЯ» В РОСТОВЕ-НА-ДОНУ (НА ПРИМЕРЕ АСМОЛОВСКОГО ТЕАТРА)

Аннотация. Важнейшей составляющей архитектурно-художественного облика исторической части города Ростова-на-Дону стали произведения «кирпичного стиля», формирующие массовую жилую застройку и архитектуру промышленных районов. В последней четверти XIX века в формах «кирпичного стиля» возводятся некоторые уникальные, значимые для города общественные здания. Объект данного исследования – архитектура «кирпичного стиля» в Ростове-на-Дону. Для достижения научного результата были использованы следующие методы: натурные и историко-архивные исследования, графический и сравнительный анализ произведений и их деталей, метод аналогий. Наиболее ярким примером стиля является построенное на проспекте Таганрогском по проекту известного столичного архитектора В.О. Шервуда здание театра Асмолова. Будучи знатоком допетровской архитектуры, Шервуд выполнил здание театра в редких для Ростова формах псевдорусского стиля. Строительство Асмоловского театра стимулировало распространение стилизованных форм древнерусской архитектуры в ростовских произведениях «кирпичного стиля». Статья посвящена истории строительства, архитектурно-стилистическим и пространственно-планировочным характеристикам здания Асмоловского театра, а также определению его места в творчестве В.О. Шервуда. Отдельно рассматривается роль здания театра в распространении «кирпичного стиля» и стилизованных деталей древнерусского зодчества в архитектуре Ростова-на-Дону. Рассмотрены позднейшие постройки, для которых театр Асмолова стал образцом.

Ключевые слова: «кирпичный стиль», театр Асмолова, архитектура Ростова-на-Дону, В.О. Шервуд, псевдорусский стиль.

Введение. Произведения «кирпичного стиля» стали своеобразной визитной карточкой архитектурного наследия Ростова-на-Дону второй половины XIX – начала XX веков, что обусловлено не только массовым характером кирпичной архитектуры различного функционального назначения, но и многообразием представленных вариантов сочетания композиционных и архитектурно-художественных приемов, декоративных форм, приемов стилизации, технических и функционально-планировочных новаций. В архитектуре города представлены уникальные по своим технологическим характеристикам утилитарные здания (корпуса складов, мастерских, фабрик, объекты транспортной инфраструктуры, торговые корпуса), массовые общественные здания и доходные дома, отдельные уникальные общественные здания (театры), жилые дома.

Современная практика ремонтно-реставрационных работ на объектах «кирпичного стиля» вызывает обоснованную тревогу не только у профессионалов архитекторов-реставраторов, представителей Всероссийского общества охраны памятников истории и культуры (ВООПИК), но и далеких от архитектурной профессии представителей общественности. Возникновение в Ростове-на-Дону общества «МойФасад», ряда специальных комиссий по охране исторической ар-

хитектуры свидетельствуют о повышенном внимании к вопросу сохранения подлинного облика исторических зданий. Особенно большие потери понесли фасады зданий в «кирпичном стиле» в ходе ремонта застройки центра города в 2016–2018 годах, когда были покрыты штукатуркой и окрашены главные, дворовые и даже торцевые фасады кирпичных зданий, в связи с чем было утрачено основное стилеобразующее качество «кирпичного стиля» – эстетическое значение открытой кирпичной кладки в формировании архитектурно-художественного образа зданий. Кроме того, в ходе ремонтов фасадов были утрачены своеобразные кирпичные декоративные элементы, фактура и цвет фасадных стен. Последующее восстановление аутентичного облика зданий возможно, но потребует от профессионалов изучения архивных источников, исторических фотографий, сохранивших информацию о утраченных деталях зданий и подбора сохранившихся аналогов архитектуры «кирпичного стиля».

В этих условиях особенно важным становится изучение и сохранение информации об историческом облике произведений, обмеры, графическая фиксация сохранившихся фасадов произведений «кирпичного стиля», графическая реконструкция утраченных зданий, что определяет актуальность темы данного исследования.

Научная новизна данного исследования заключается в том, что авторами впервые подробно рассматривается история строительства, архитектурно-художественные особенности, функционально-планировочные характеристики утраченного произведения известного московского архитектора, скульптора, художника Владимира Осиповича Шервуда – Асмоловского театра в Ростове-на-Дону. В научный обиход вводятся новые фактологические данные, проводится сравнительный анализ архитектуры Асмоловского театра и других произведений В.О. Шервуда. Авторами предпринята попытка визуальной реконструкции утраченного здания, на основе которой, а также на основе изучения сохранившихся графических материалов и архивных документов предпринимается попытка выявления влияния архитектуры театра на позднейшие ростовские постройки в «кирпичном стиле».

Практическая значимость исследования заключается в том, что его материалы могут быть использованы при подготовке исторических справок по памятникам архитектуры «кирпичного стиля», при подготовке охранной документации по объектам культурного наследия, относящимся к «кирпичному стилю». В практике ремонтно-реставрационных работ результаты данного исследования могут быть востребованы в ходе восстановления аутентичного облика, декоративного убранства, а также для подбора аналогов для воссоздания несохранившихся элементов архитектурных объектов.

Методология. При проведении исследования использовались методы натурных исследований сохранившихся объектов «кирпичного стиля», а также обмеры и натурные исследования части городской территории, на которой до 1920 года находилось здание Асмоловского театра. Проводился сравнительный анализ утраченного здания театра, известных произведений В.О. Шервуда, в первую очередь здания Исторического музея в Москве, и аналогов из числа ростовских зданий в «кирпичном стиле». Авторами подготовлена визуальная реконструкция здания Асмоловского театра, а также ряда утраченных зданий в «кирпичном стиле», декорированных в формах русской архитектуры допетровского периода.

Основная часть. «Кирпичный стиль», как рациональное направление архитектуры середины – второй половины XIX века, на начальном этапе (в 1870–1880-е годы) является характерной чертой промышленных и утилитарных объектов Ростова-на-Дону, а в 1890-1900-е годы распространяется в архитектуре жилых и общественных зданий. Эта периодизация в целом соответствует общероссийским тенденциям [1, 2].

«Кирпичный стиль позволил более тесно связать внешнее оформление стены с ее конструкцией и создать новые декоративные эффекты» [2]. До 1880-х годов в архитектуре «кирпичного стиля» ценится в основном экономичность, и простота форм, что достигается отказом от штукатурки, использованием эстетических свойств открытой кирпичной кладки, упрощением деталей архитектурно-художественного оформления фасада. Открытая кирпичная кладка фасадной плоскости оказалась намного долговечней в климатических условиях Юга России. В числе первых в кирпичном стиле были построены популярные в настоящее время произведения промышленной и складской архитектуры, объекты культурного наследия федерального значения (Комплекс экспортных зерновых складов, XIX в.), отдельные общественные здания учебной и благотворительной направленности (Классическая гимназия, 1877 г., архит. Н.А. Дорошенко), а также примеры массовой фоновой застройки окраинных районов дореволюционного Ростова (жилой дом по ул. Донской, 34, третья четверть XIX века; жилой дом по ул. Донской, 51, третья четверть XIX века; жилой дом по ул. Ульяновской, 4, вторая половина XIX века). В то же время репрезентативность постройки, свойственная крупным общественным зданиям, доходным домам, особнякам, по-прежнему отождествляется в представлении массового заказчика с обилием лепного и штукатурного декора, а стремление к усложнению декоративного решения жилых зданий, относящихся к недорогой массовой застройке, в середине – второй половине XIX века нередко сопровождается сочетанием открытой кирпичной кладки стен и лепного декора.

Распространение «кирпичного стиля» в архитектуре крупных доходных домов и уникальных общественных зданий начинается на рубеже 1880–1890-х годов. Анализ типологии и хронологии построек «кирпичного стиля» в Ростове-на-Дону показал, что первым значительным уникальным общественным зданием стал Асмоловский театр (архит. В.О. Шервуд), что дает возможность отметить важную роль здания в пересмотре позиции городского общества, рассматривавшего «кирпичный стиль» как стиль промышленных и утилитарных построек. «Здание, сооруженное в традициях русского зодчества, явилось одним из первых примеров национального направления в гражданской архитектуре Юга России» [3]. История строительства первого ростовского каменного зимнего театра по проекту известного столичного архитектора, реализация проекта которого на Красной площади в Москве стала важным этапом становления форм

псевдорусского стиля во всероссийском масштабе, подтверждает гипотезу о значительной роли здания в архитектурной практике города последней четверти XIX века.

История строительства театра Асмолова в Ростове-на-Дону. Первыми зрелищными сооружениями в городах юга России конца XVIII – начала XIX вв. были летние балаганные театры, возводимые на ярмарочных и на рыночных площадях во время гастролей артистов и в дни ярмарок: деревянный балаганный театр на площади Старого базара в Ростове на Дону, построенный рядом с собором Рождества Богородицы в 1834 г. [4]. До 1960-х годов главным зрелищным сооружением в Ростове-на-Дону был театр Содомцева, который находился на территории городского сада со стороны улицы Кузнецкой (Пушкинской). Его вместимость, видимо, была достаточной для города: «лож не более 12, кресел до 70 номеров, партер и галерея. Сцена устроена удобно, но без всякого механизма, декорации же и костюмы привозились из Таганрога» [5].

На смену театру Содомцева, который в начале 1860-х гг. пришел в негодность и был разрушен строится Гайрабетовский театр. В 1859 г. компания предпринимателей инициирует на территории городского сада строительство временного деревянного театра, который предполагалось в течение трех лет заменить капитальным зданием. Основание Гайрабетовского театра на какое-то время приостановило развитие театрального строительства в городе Ростове на Дону, так как согласно договору, заключенному между городской управой с одной стороны и владельцами театра – с другой, предприниматели становились монополистами в области содержания театральных зданий на 40 лет. Однако строго условия договора соблюдались лишь первое время. Когда временный театр уже был построен компания совладельцев включала трех почетных граждан – Драшковича, Грибанова и Гайрабетова. По фамилии последнего театр получил название «Гайрабетовский». Площадь, на которой разместился театр долгое время называлась Театральной. В 1883 году на заседании Городской Думы Ростова-на-Дону было принято решение о закрытии здания зимнего театра в связи с опасностью здания в пожарном отношении. Также было решено разобрать деревянное здание, так как оно небезопасно для окружающей застройки [6]. А в 1899 г. на месте Гайрабетовского театра был построен Городской дом (архит. А.Н. Померанцев).

Еще до упразднения деревянного Гайрабетовского театра Ростовская городская Дума приходит к мысли об открытии каменного зимнего

театра, построенного в соответствии с современными требованиями строительства зрелищных сооружений. В 1883 году городское общество, подстегиваемое опытом города Бердычев, в результате пожара в деревянном цирке которого погибла масса людей, принимает решение закрыть деревянный театр в Ростове, не смотря на необходимость прервать театральный сезон. Принимается решение «предложить Городской Управе озаботиться немедленную сломкою цирка и вменить ей в обязанность на будущее время выдавать разрешения на постройку цирков и театров не иначе, как испрашивая на то предварительное дозволение Думы» [6]. Из протоколов заседаний Ростовской городской Думы следует, что в том же году многие предприниматели ходатайствовали о разрешении построить новое здание театра (цирка) в Ростове-на-Дону (прусско-подданный А. Соломонский, ростовская купчиха Т.И. Гулевская). Одновременно в Городскую Управу обращается и Ростовский 1 гильдии купец В.И. Асмолов, который ходатайствует «о разрешении ему произвести, согласно представленному им плану, постройку концертного зала на собственной его, Асмолова, земле, по Таганрогскому проспекту» [6]. Таким образом, становится ясно, что проект В.О. Шервуда был выполнен до 1883 года. В связи с официальной монополией владельцев Гайрабетовского театра, театр Асмолова строился под условным наименованием «концертное зало», однако, по сути, он занял место городского театра. Все годы своего существования (здание было полностью уничтожено во время пожара в 1920 г. [7]).

В разных источниках приводятся несколько вариантов даты строительства театра Асмолова. Так В.С. Сидоров, приводя в качестве доказательства своей правоты фрагмент программы, посвященной 30-летию Асмоловского театра, пишет: «19 октября, в «пушкинскую лицейскую годовщину», 1883 г. в Асмоловском театре в первый раз открылся занавес» [7]. Г.В.Есаулов и В.А. Черницына называют годом строительства здания 1889 [8]. Анализ Журналов заседания Ростовской-на-Дону городской Думы, местной периодической печати, рекламных объявлений, опубликованных во второй половине 1880-х годов, дало возможность авторам статьи согласиться с мнением Г.В. Есаулова и В.А. Черницыной в отношении даты окончания строительства театра и предположить, что началось строительство не ранее 1884 года.

Объемно-пространственное и функционально-планировочное решение здания Асмоловского театра. Основной побудительной причиной для строительства в начале 1880-х годов нового каменного театра в Ростове-на-Дону стал

не только возрастающий интерес жителей города к театральным представлениям, увеличение количества зрителей и активизация театральной жизни, связанная с выступлениями гастролирующих трупп, но и стремление предотвратить катастрофу в обветшавшем здании действующего деревянного театра, что в контексте всероссийских тенденций борьбы с пожарами и другими массовыми катастрофами в театральных зданиях было особенно актуально. В начале 1880-х годов в специальной печати появляется масса проблемных статей, высказываний архитекторов-практиков, посвященных проблемам современных подходов к проектированию и строительству театральных зданий. Отмечается увеличение строительных катастроф и катастроф в ходе эксплуатации устаревших, функционально непригодных, зачастую деревянных, зданий. Несколько пожаров в зданиях театров, произошедших в городах России, подстегнули внимание к проблемам театрального строительства. Рассматриваются вопросы функционально-планировочного характера, вместимость и техническое оснащение зданий, формулируются требования к театральным зданиям и основные принципы их проектирования:

«1. Сцена не должна быть слишком глубокой, в сравнении с ее шириной.

2. Она должна быть устроена таким образом, чтобы в случае надобности, были возможны ее удлинение и уширение.

3. Она должна быть защищена от сквозных ветров.

4. Сообщение сцены с гардеробными, машинным отделением с другими закулисными помещениями, а также выходы наружу, должны быть удобны и вполне безопасны от пожаров.

5. Крыша должна быть несгораема как внутри, так и снаружи.

6. Сцена должна быть снабжена железным занавесом (проволочным или листовым) и в остальных своих частях должна быть отделена брандмауэрами от зрительной залы.

7. Сцена должна быть устроена сообразно с потребностями сценическо-механическими...

8. Сцена и зрительная зала должны, по возможности, соответствовать законам оптики и акустики, т.е. со всех мест залы зрители должны быть в состоянии хорошо видеть и слышать представляемое на сцене» [9]. При этом строители новейших театров советовали эллиптическую форму зала, первые два яруса лож располагать вертикально, а верхние – с отступом.

В архитектуре Асмоловского театра были учтены основные принципы проектирования безопасных и удобных театральных зданий. Асмоловский театр являлся основной стационарной

сценической площадкой Ростова-на-Дону и служил предметом постоянной конкуренции театральных антрепренеров. Причиной тому стали не только капитальность и внушительные для своего времени масштабы постройки данного назначения, выгодное расположение в структуре города и привлекательный архитектурно-художественный образ, но и в большей степени примененная в архитектуре здания прогрессивная функциональная схема – планировка фойе и зрительного зала вместимостью 1100 мест, техническое решение сценической площадки, приспособлений и специального оборудования, хорошая акустика.

Архитектурно-художественный образ и стилистика. Анализ произведений «кирпичного стиля» в Ростове-на-Дону показывает, что Асмоловский театр – это первое в городе общественное здание в формах псевдорусской архитектуры. В архитектурно-художественном образе театра отразились основные черты творческого метода автора – архитектора Владимира Осиповича Шервуда. Идеи, сформулированные в процессе работы Шервуда над проектом здания Исторического музея в Москве (1875 год), стали основой его творческого метода и в той или иной степени использовались в позднейших работах архитектора. «...Шервуд подошел к проектированию музея как ученый-исследователь. Он пытается проникнуть в секреты законов и специфику древнерусского зодчества и реализовать на практике обнаруженные в процессе его анализа закономерности» [10].

Проектируя здания в псевдорусском стиле, В.О. Шервуд придерживался ряда правил, сформулированных им еще в 1875 году как характеризующие древнерусскую архитектуру:

«1. Здание, состоя из нескольких отдельных по высоте и положению, частей, представляет одно, нераздельное целое.

2. Группировка частей здания, значительно возвышающихся и выступающих, должна приближаться к элементам конической поверхности.

3. Связанность группировки частей, требующая, чтобы части здания со всех точек зрения входили бы в общую линию композиции, не представляя таких, которые казались бы оторванными от целого.

4. Устойчивость формы заключается в том, чтобы как общая масса здания, так и части его во всех пропорциях и отношениях ширины к высоте имели бы схему квадрата.

5. Сила очертаний, выражаемая выступами карнизов, поясками и формой крыш.

6. Разнообразие общей линии фасадов всего здания и отдельных его частей» [11].

Следуя мнению Г. Забелина, высказанному им на лекциях в Художественном Обществе, В.О. Шервуд считал характерной особенностью русской архитектуры ее подобие лесу – башенный характер и разнообразие сочетаний прямых линий (ломаных) с кривыми. Для составления объемной композиции своих зданий архитектор использует традиционные объемные формы древнерусской гражданской архитектуры – клеть, изба, палата. В проектируемом здании каждое помещение как в плане, так и в объемной композиции, образуя одно целое, представляет отдельные части, «что и характеризуется выступами частей и отдельными их крышами» [11]. Возвышающимся частям здания придается пирамидальная форма, что в первую очередь выражается в шатровых завершениях отдельных частей.

В.О. Шервуд заимствует из архитектуры XVI века и перерабатывает в своих постройках характерные декоративные элементы: закомары, клинья, лопатки, ширинки, кувшины, переборы, одиночные, двойные арки и арки с гирькой, а также элементы, пришедшие из деревянного зодчества – колонны с перебором (наборные колонны), балясины. Практическому использованию этих деталей предшествуют тщательные натурные обследования и обмеры объектов исторической архитектуры, анализ пластических и художественно-образных их свойств. При этом в качестве образца для подражания архитектор называет в первую очередь ярчайший пример оригинальной архитектуры XVI века – Собор Василия Блаженного.

В здании театра Асмолова выделяется выходящий на проспект Таганрогский (Буденновский) главный фасад, который построен в соответствии со свойственными творческому методу архитектора В.О. Шервуда принципами группировки частей и башенного характера композиции. Прочтение главного фасада допускает отдаленные точки восприятия, а, следовательно, требует использования сильно выступающих и возвышающихся над венчающим карнизом частей. Боковые фасады, в силу плотности окружающей застройки и невозможности отдаленных точек зрения, лишены сильно выступающих элементов и сложной силуэтности. Фасад, выходящий в сторону Городского сада, был решен как второстепенный. Здание не сохранилось, сохранилось мало изображений восточного паркового фасада, но опыт визуальной реконструкции здания театра Асмолова дает возможность предположить, что фасад, обращенный в сторону Городского сада, был решен в простых формах утилитарной кирпичной архитектуры, композиционно соответствовал параметрам помещений, был лишен

выразительных деталей и сложного силуэта, не смотря на то, что просматривался издали.

Распространение мотивов древнерусской архитектуры в зданиях «кирпичного стиля» в Ростове-на-Дону. Строительство в «кирпичном стиле» с использованием мотивов псевдорусской архитектуры зимнего театра Асмолова в Ростове-на-Дону не было уникальным явлением в масштабах страны, вместе с тем для региона это явление стало важным этапом истории архитектуры. В 1880-1890 годы многие проекты театральных зданий были решены в «кирпичном стиле» в формах псевдорусской архитектуры: конкурсный проект театра в Рыбинске (1874, архит. И.С. Китнер [12]), здание Театра Парадиз в Москве (1884–1886, архит. Ф.Н. Кольбе, К.В. Терской [13]), проект Народного театра в Санкт-Петербурге (1898, архит. В.А. Шретер [12]), конкурсный проект театра в Иркутске (1893, архит. А.П. Максимов [12]).

Детали и приемы зодчества XVI века, послужившие прототипом псевдорусского стиля, приходят в архитектуру Ростова-на-Дону и южного региона, лишенного аутентичных образцов древнерусского зодчества, опосредованно через столичный опыт. Необходимо отметить влияние петербургской школы зодчества на формирование «кирпичного стиля» в Ростове в 1890-1900-е годы. Так, исследователи отмечают роль архитекторов В.А. Шретера и И.С. Китнера на формирование творческого метода ведущего мастера «кирпичного стиля» в Ростове-на-Дону архитектора Н.М. Соколова [14]. Вместе с тем, строительство Асмоловского театра по проекту ведущего мастера псевдорусского стиля В.О. Шервуда сыграло особую роль.

Сразу после завершения строительства театра на Таганрогском проспекте в районе Городского сада возникает ансамбль зданий, декорированных в формах псевдорусского стиля и с использованием мотивов древнерусского зодчества XVI века. Это дом Х.Г. Майоровой, построенный напротив Асмоловского театра (до 1888 г.) [8], где использованы стилизованные колонны с перебором, кубышчатые колонны и пилястры, лучковые перемычки в оформлении трех входов в здание, геометрические вставки, поребрик, пояски с зубчиками. Стилизованный аркатурный пояс, вставки, имитирующие резьбу, кубышчатые полуколонны, кокошники в завершении атиков боковых раскреповок стали отличительной чертой доходного дома П.Д. Машонкиной (1890-е гг.) на Таганрогском проспекте. Можно отметить также соседнее с театром здание ресторана «Южная Бавария», принадлежавшего Торговому Дому Карл Стукен и Ко, в котором в формах кир-

пичной архитектуры стилизованы мотивы народной вышивки, а также наряду с готическими формами использованы мотивы древнерусского зодчества. Особенно близко по формам архитектуре Асмоловского театра было выполненное в дереве здание Любовского театра, построенного на территории Городского сада в 1890-е гг. Характерные черты здания – единство отельных объемов, завершенных шатровыми, четырехскатной и бочкообразной формы крышами, выделение объема входной группы в виде открытого крыльца с бочкообразным завершением, использование деталей псевдорусского стиля: наборные и кубышчатые колонны, резные балясины, орнаментальные резные пояса, резные декорированные наличники.

Формирование на проспекте Таганрогском ансамбля зданий в «кирпичном стиле», оказалось стимулом распространения элементов древнерусской архитектуры в декоративном убранстве жилых и общественных зданий, построенных в разных районах Ростова-на-Дону в «кирпичном стиле» во второй половине 1880-х -1900-е годы, а декор, использованный В.О. Шервудом в решении главного фасада Асмоловского театра, включались в оформление целого ряда позднейших построек.

Композиционно-художественные характеристики театра Асмолова, декларируемые В.О. Шервудом также и в его теоретических работах [11, 15] (сложная силуэтность здания, единство отдельных объемов; с башенными, шатровыми, бочкообразными завершениями; сильно выступающие элементы фасадов; сочетание прямых и криволинейных линий; использование декоративных элементов архитектуры допетровского периода), нашли свое продолжение в решении зданий училища Н.И. Токарева (Ткачева, архит. Н.М. Соколов, 1896 г. [16]), Сельскохозяйственной выставки (1904, не сохранились), в архитектуре особняка правления Сельскохозяйственной выставки на Таганрогском проспекте (не сохранились) и Особняка Попечительского совета Дома трудолюбия П.М. Максимова (1890-е гг., архит. Н.М. Соколов [17]).

В архитектуре особняков и доходных домов композиционные и пространственные характеристики не нашли полного воплощения, однако активно использовались приемы декорирования, первым примером использования которых в Ростове стал театр Асмолова. В 1890 годы в городе строятся особняки и доходные дома в «кирпичном стиле», повторяющие мотивы древнерусской архитектуры, использованные В.О. Шервудом в здании Асмоловского театра. Так, архитектурно-художественный образ одноэтажного особняка по ул. Донской, 22 (1890-е гг.), принадлежавшего

(как удалось установить авторам статьи) Радухину Ивану Яковлевичу [18], формируется следующими деталями: колонки с кубышчатыми капителями, фланкирующие боковую раскреповку и оформляющие центральное окно; завершение центральной части фасада, сложной формы, объединяющее щипцовую форму и форму кокошника; щипцовое завершение боковой раскреповки. Элементы стилизованной древнерусской архитектуры включены в оформление жилого дома А.Е. Дорохиной на ул. Почтовой (Станиславского), 67 – стилизованные колонки, ширинки в оформлении двоянных полуциркулярных проемов раскреповок).

Заметным примером аналогичного архитектурно-художественного решения стали крупные доходные дома, построенные в конце 1890-х годов в «кирпичном стиле» (доходный дом Асмаевых, доходный дом Е.Я. Костина), в которых отсутствует усложненная силуэтность, и богатая пластика сильно выступающих элементов фасадов, свойственные Асмоловскому театру, повторенные в архитектуре особняков и общественных зданий, однако использованы приемы композиционного решения фасадов и характерные детали. Так, основой архитектурно-художественного образа доходного дома Асмаевых (просп. Буденновский, 9, 1890-е гг.) стали ряды ширинок в простенках верхних этажей, оформление окон третьего и четвертого этажей лопатками с поясками, декоративные перемычки и сандрики в виде кокошников, венчающий карниз с аркатурным поясом. Доходный дом Е.Я. Костина (ул. Чехова, 37, 1890-е гг.) отличают кокошники в оформлении окон второго этажа, массивные архивольты, отсылающие к формам византийской архитектуры, и ряды ширинок в венчающие части раскреповок, декорированные простенки и лопатки.

Выводы.

Усиление требований к безопасности театральных зданий, усовершенствование приемов их функционально-планировочного решения в российской архитектурно-строительной практике последней четверти XIX века, а также активизация театральной жизни вызвало необходимость строительства нового зимнего театра в Ростове-на-Дону.

Здание ростовского театра Асмолова является яркой иллюстрацией творческого метода его автора – академика архитектуры Владимира Иосифовича (Осиповича) Шервуда. Творческий метод В.О. Шервуда во многом сформированный в период проектирования здания Исторического музея в Москве, в ходе внимательного изучения наследия допетровской архитектуры, и описанный архитектором в ряде теоретических трудов,

отличается умелым использованием композиционных и художественных приемов древнерусской архитектуры XVI века в произведениях «кирпичного стиля».

Архитектурно-художественный образ и декоративное решение здания Асмоловского театра, стилизованного в формах псевдорусского стиля, послужило примером для повторения в ростовской архитектуре второй половины 1880–1890-х годов.

Строительство значимого для города театрального здания по проекту известного столичного архитектора в формах кирпичной архитектуры стимулировало распространение «кирпичного стиля», принятого прежде в архитектуре утилитарных зданий и фоновой застройки периферийных районов, в архитектуре ростовских построек различного функционального назначения – выставочных корпусов, благотворительных и учебных заведений, особняков и доходных домов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Крылова О.Ф. Развитие «кирпичного стиля» в архитектуре Нижнего Новгорода середины XIX – начала XX вв. // Приволжский научный журнал. 2017. № 1. С. 96–100
2. Инчик В.В. «Кирпичный стиль» и получение лицевого кирпича в Санкт-Петербургской губернии в XIX веке. // Вестник гражданских инженеров 2018. № 5 (70). С. 117–121
3. Есаулов Г.В. Архитектура Юга России: от истории к современности. Очерки. Монография. Москва: Архитектура-С. 2016. 568 с.
4. Иванова-Ильичева А.М. Рационалистические тенденции в архитектуре городов Нижнего Дона и Приазовья второй половины XIX начала XX вв. (на примере Таганрога, Ростова-на-Дону и Нахичевани-на-Дону, Новочеркасска): дис. ... канд. архитектуры: 18.00.01. защищена 26.12.2000; утв. 08.06.2001. Москва. 2000.
5. ГАРО Ф.583 Оп.1 Д.2
6. Журналы заседания Ростовской-на-Дону городской Думы за 1883 год. Ростов-на-Дону: типография И.А. Тер-Абрамиан. 1884.
7. Сидоров В.С. Энциклопедия старого Ростова и Нахичевани на Дону. Т.1. Ростов-на-Дону. 1993. 224 с.
8. Есаулов Г.В., Черницына В.А. Архитектурная летопись Ростова-на-Дону. Ростов-на-Дону, 1999. 289 с.
9. Рудницкий С. О постройке театров // Зодчий. 1882. С. 37–38
10. Кириченко Е.И. Архитектор В.О. Шервуд и его теоретические воззрения // Архитектурное наследство. 1974. Вып. 22. С. 3–18.
11. Шервуд В.О. Пояснительная записка к проекту под девизом «Отечество» для здания музея имени Государя Наследника Цесаревича. Москва. 1875. 55 с.
12. Барановский Г.В. Архитектурная энциклопедия второй половины XIX века: В семи томах. т.3, отд. 2. С.-Петербург: Издание редакции журнала «Строитель». 1902-1908. 502 с.
13. Объекты культурного наследия. Москва [Электронный ресурс] // Портал открытых данных правительства Москвы. URL.: <https://data.mos.ru/opendata/530/data/map?versionNumber=6&releaseNumber=7&globalid=13498194> (дата обращения: 09.04.2020)
14. Петрусенко Ю.В. Влияние «зодчих-наставников» на творчество архитектора Николая Матвеевича Соколова // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2019. № 8. С. 73–80. doi: 10.34031/article_5d4969dbee51e1.94144488
15. Шервуд В.О. Опыт исследования законов искусства. Живопись, скульптура, архитектура и орнаментика. Москва: Университетская типография. 1895. 235 с.
16. Объекты культурного наследия (памятники истории и культуры) государственного (федерального) значения. Ростов-на-Дону. [Электронный ресурс] // Официальный портал Правительства Ростовской области. Систем. требования: Adobe Acrobat Reader. URL: <http://www.donland.ru.25.11.2018> (дата обращения: 09.04.2020)
17. Иванова-Ильичева А.М., Орехов Н.В., Орехов А.Н. «Кирпичный» стиль в произведениях архитектора Н.М. Соколова // Теоретические и практические вопросы развития научной мысли в современном мире. Уфа: Аэтерна, 2015. С. 251–253
18. Оценка недвижимых имуществ города Ростова-на-Дону для раскладки государственного налога на 1900 год. Ростов-на-Дону, Электротпечатня 1900.

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.

Орехов Александр Николаевич, магистрант кафедры Истории архитектуры, искусства и архитектурной реставрации. E-mail: orehov_alexander44@mail.ru. Южный федеральный университет, Академия архитектуры и искусств. Россия, 344082, г. Ростов-на-Дону, ул. Максима Горького, 75.

Поступила 22.04.2020

© Иванова-Ильичева А.М., Орехов Н.В., Орехов А.Н., 2020

**Ivanova-Ilyicheva A.M., Orekhov N.V., Orekhov A.N.
Southern Federal University, Academy of architecture and arts
E-mail: AMI0202@yandex.ru

INFLUENCE OF SHERWOOD'S WORKS ON THE FORMATION OF THE «BRICK STYLE» IN ROSTOV-ON-DON (ON THE EXAMPLE OF ASMOLOV THEATER)

Abstract. *The most important component of the architectural and artistic look of the historical part of Rostov-on-Don is the constructions built in «brick style». In the last quarter of the XIX century, some unique and significant public buildings were built in the “brick style”. The object of this research is “brick style” architecture in Rostov-on-Don. The following methods used: full-scale and archival research, comparative analysis, analogy method. The most striking example of the style is the building of the Asmolov Theater built on Taganrogsky Avenue according to the project of the famous Moscow architect V. O. Sherwood. He was the expert of pre-Peter architecture and designed the theater building in the forms of pseudo-Russian style which was unique for Rostov. The construction of the Asmolov Theater stimulated the spread of stylized forms of ancient Russian architecture. The article is devoted to the history of construction, architectural, stylistic and spatial planning characteristics of the Asmolov Theater as well as determining its place in the work of V. O. Sherwood and its role for the «brick style» in the architecture of Rostov-on-Don. The buildings for which the Asmolov Theater became a model are considered.*

Keywords: *«brick style», Asmolov Theater, architecture of Rostov-on-Don, V. O. Sherwood, cement composites, active mineral admixture.*

REFERENCES

1. Krylova O.F. The development of the "brick style" in the architecture of Nizhny Novgorod in the middle of the XIX – early XX centuries. [Razvitiye «kirpichnogo stilya» v arkhitekture Nizhnego Novgoroda serediny XIX – nachala XX vv.]. Volga Scientific Journal. 2017. No. 1. Pp. 96–100 (rus)
2. Inchik V.V. "Brick style" and the receipt of face bricks in the St. Petersburg province in the XIX century. ["Kirpichnyy stil" i polucheniye litsevoego kirpicha v Sankt-Peterburgskoy gubernii v XIX veke]. Bulletin of civil engineers. 2018. No. 5 (70). Pp. 117–121 (rus)
3. 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)
4. Ivanova-Ilyicheva A.M. Rationalist tendencies in the architecture of the cities of the Lower Don and the Sea of Azov in the second half of the 19th and early 20th centuries (on the example of Taganrog, Rostov-on-Don and Nakhichevan-on-Don, Novocherkassk) [Ratsionalisticheskiye tendentsii v arkhitekture gorodov Nizhnego Dona i Priazov'ya vtoroy poloviny XIX nachala XXvv. (na primere Taganroga, Rostova-na-Donu i Nakhichevani-na-Donu, Novocherkasska)]: dis. ... cand. architecture: 18.00.01. protected 12.26.2000: approved. 06.08.2001. M. 2000. (rus)
5. GARO F.583 Op.1 D.2
6. Journals of the meeting of the Rostov-on-Don City Council for 1883. [Zhurnaly zasedaniya Rostovskoy-na-Donu gorodskoy Dumy za 1883 god] Rostov-on-Don: I.A. Ter-Abramian. 1884. (rus)
7. Sidorov V.S. Encyclopedia of old Rostov and Nakhichevan on the Don. [Entsiklopediya starogo Rostova i Nakhichevani na Donu]. Vol. .1. Rostov-on-Don. 1993. 222 p. (rus)
8. Esaulov G.V., Chernitsyna V.A. The architectural annals of Rostov-on-Don. [Arkhitekturnaya letopis' Rostova-na-Donu]. Rostov-on-Don. 1999. 288 p. (rus)
9. Rudnitsky S. On the construction of theaters [O postroyke teatrov]. Architect. 1882. Pp. 37–38 (rus)
10. Kirichenko E.I. Architect V.O. Sherwood and his theoretical views [Arkhitekt V.O. Shervud i yego teoreticheskiye vozzreniya]. Architectural heritage. 1974. Iss. 22. Pp. 3–18. (rus)
11. Sherwood V.O. Explanatory note to the project under the motto «Fatherland» for the building of the museum named after Sovereign Heir Tsarevich. [Poyasnitel'naya zapiska k projektu pod devizom "Otechestvo" dlya zdaniya muzeya imeni Gosudarya Naslednika Tsarevicha]. M.: 1875. 55 p. (rus)

12. Baranovsky G.V. The architectural encyclopedia of the second half of the XIX century: In seven volumes. [Arkhitekturnaya entsiklopediya vtoroy poloviny XIX veka: V semi tomakh]. Vol. 3, det. 2. St. Petersburg: Edition of the editorial board of the Builder magazine. 1902–1908. 502 p. (rus)

13. Objects of cultural heritage. Moscow. Open data portal of the Moscow government. URL .: <https://data.mos.ru/opendata/530/data/map?version-Number=6&releaseNumber=7&globalid=13498194> (accessed 04.04.2020) (rus)

14. Petrusenko Y.V. The influence of «architects-mentors» on the creativity of architect Nikolai Matveevich Sokolov. [Vliyaniye «zodchikh-nastavnikov» na tvorchestvo arkhitekтора Nikolaya Matveyevicha Sokolova]. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2019. No. 5. Pp. 73–80. DOI: 10.34031/article_5d4969d5e1e1.94144488 (rus)

15. Sherwood V.O. Experience in the study of the laws of art. Painting, sculpture, architecture and ornamentation. [Opyt issledovaniya zakonov iskusstva. Zhivopis', skul'ptura, arkhitektura i ornamentika]. M.: University Printing House. 1895. 235 p. (rus)

16. Objects of cultural heritage (historical and cultural monuments) of state (federal) significance. [Ob'yekty kul'turnogo naslediya (pamyatniki istorii i kul'tury) gosudarstvennogo (federal'nogo) znacheniya]. Rostov-on-Don. [Electronic resource] Official portal of the Government of the Rostov region. System. Requirements: Adobe Acrobat Reader. URL: <http://www.donland.ru>. 25.11.2018 (accessed date: 04/09/2020) (rus)

17. Ivanova-Ilyicheva A.M., Orekhov N.V., Orekhov A.N. "Brick" style in the works of architect N.M. Sokolova [«Kirpichnyy» stil' v proizvedeniyakh arkhitekтора N.M. Sokolova] Theoretical and practical questions of the development of scientific thought in the modern world. Ufa: Aeterna, 2015. Pp. 251–253 (rus)

18. Assessment of real estate of the city of Rostov-on-Don for the layout of the state tax for the year 1900. [Otsenka nedvizhimykh imushchestv goroda Rostova-na-Donu dlya raskladki gosudarstvennogo naloga na 1900 god]. Rostov-on-Don, Electric Printing 1900. (rus)

Information about the authors

Ivanova-Ilyicheva, Anna M. PhD, Assistant professor. E-mail: AMI0202@yandex.ru. Southern Federal University, Academy of architecture and arts. Russia, 344082, Rostov-on-Don, Maxim Gorky st., 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 st., 75.

Orekhov, Alexander N. Masterstudent of the Department of History of Architecture, Art and Architectural Restoration. E-mail: orehov_alexander44@mail.ru. Southern Federal University, Academy of architecture and arts. Russia, 344082, Rostov-on-Don, Maxim Gorky st., 75.

Received 22.04.2020

Для цитирования:

Иванова-Ильичева А.М., Орехов Н.В., Орехов А.Н. Влияние произведений В.О. Шервуда на формирование «кирпичного стиля» в Ростове-на-Дону (на примере Асмоловского театра) // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2020. № 7. С. 75–83. DOI: 10.34031/2071-7318-2020-5-7-75-83

For citation:

Ivanova-Ilyicheva A.M., Orekhov N.V., Orekhov A.N. Influence of Sherwood's works on the formation of the «brick style» in Rostov-on-Don (on the example of Asmolov theater). Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2020. No. 7. Pp. 75–83. DOI: 10.34031/2071-7318-2020-5-7-75-83

ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ

DOI: 10.34031/2071-7318-2020-5-7-84-92

Новоселов А.Г., Васина Ю.А., Новоселова И.Н., Горяйнова Д.Н., Ершова Ю.И.Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова***E-mail: novosyolovag@yandex.ru*

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ СНИЖЕНИЯ ЦИРКУЛЯЦИИ ЛЕТУЧИХ СОЕДИНЕНИЙ ВО ВРАЩАЮЩЕЙСЯ ПЕЧИ СУХОГО СПОСОБА ПРОИЗВОДСТВА

Аннотация. В статье рассмотрен вариант снижения циркуляции летучих соединений – соединений серы, калия, натрия, способных накапливаться в системе обжига клинкера, циркулировать и приводить к образованию наростов в декарбонизаторе, циклонном теплообменнике и загрузочной части вращающейся печи. Уменьшить количество циркулирующих соединений в печи можно снижением их степени возгонки путем перевода в менее летучие соединения и вывода этих соединений из системы обжига совместно с клинкером. При этом необходимо обеспечить определенное молярное соотношение между щелочными соединениями и оксидом серы, которое зависит от того какое соединение будет выходить из системы обжига вместе с клинкером. Введение карбоната калия обеспечивает снижение возгонки оксида серы на 16 %, а карбоната натрия – на 45 %, за счет перевода карбонатов в менее возгоняемые сульфаты. Показано изменение свойств цемента – сроков схватывания и прочности, под влиянием соединений, выходящих вместе с клинкером. С увеличением соотношения между щелочными соединениями и оксидом серы начало схватывания цементного теста сокращается на 41 %, конец схватывания – на 26 %. Прочность цемента в начальные сроки твердения увеличивается, а в возрасте 28 суток – снижается.

Ключевые слова: обжиг клинкера, возгонка оксида серы, настывы, соотношение между щелочными соединениями и оксидом серы.

Введение. Одной из основных проблем, возникающих при производстве цемента сухим способом, является образование наростов (настывов) в декарбонизаторе, циклонном теплообменнике и загрузочной части вращающейся печи.

Настывы (рис. 1) приводят к зарастанию циклонов, забиванию течек материала и, как следствие, к нарушению технологического процесса, внеплановым остановкам и длительным простоям оборудования.



Рис. 1. Настыв в загрузочной части вращающейся печи

Основной причиной образования настывов является наличие во вращающейся печи и цик-

лонном теплообменнике соединений хлора, соединений, содержащих оксиды натрия и калия, соединений, содержащих серу в любом виде.

Хлористые соединения, а также соединения натрия, калия и серы попадают в систему обжига клинкера вместе с сырьевыми компонентами. Как правило, источником этих соединений является глинистый компонент. Сера дополнительно содержится в твердом или альтернативном топливе и может поступать в систему при их использовании [1-4]. Все эти соединения циркулируют и накапливаются в печи и нижних ступенях циклонного теплообменника, а также оказывают влияние на процесс обжига и качество клинкера [5-14].

Для снижения вероятности образования настывов необходимо знать причину их возникновения. Так, например, если настывы образуются по причине избыточного количества хлоридов Cl^- , то в качестве основного способа снижения является установка байпасного потока для отбора части отходящих газов с последующим охлаждением и очисткой их в фильтре [15]. Снижение количества Cl^- , содержащегося в материале на входе в печь, происходит более чем в два раза при интенсивности байпаса 2...4 % [16]. Однако байпас является малоэффективным средством для вывода оксида серы из системы обжига клинкера. Эффективным средством для вывода оксида серы из системы обжига клинкера является перевод его в менее возгоняемые соединения и вывод их вместе с клинкером. Количество выведенного SO_3 с клинкером можно регулировать вводом щелочесодержащих соединений. Степень возгонки щелочесодержащих соединений уменьшается в следующей последовательности: хлористые и фтористые соединения, карбонаты, сульфиды, сульфаты. Значительно труднее возгоняются соединения натрия, легче – соединения калия [17]. Для вывода оксида серы с клинкером необходимо обеспечить молярное соотношение между K_2O , Na_2O и SO_3 (A/S) с учетом содержания хлора в определенном интервале [18-19]. Соотношение A/S в клинкере должно находиться в следующих пределах $0,8 < A/S < 1,2$ и определяется по формуле:

$$\frac{A}{S} = \left(\frac{K_2O}{94} + \frac{Na_2O}{62} - \frac{Cl}{71} \right) / \left(\frac{SO_3}{80} \right), \quad (1)$$

где K_2O , Na_2O , Cl , SO_3 – массовые доли соответствующих компонентов в клинкере, %.

Материалы и методы. С целью исключения влияния примесей на результаты исследований в качестве сырьевых материалов для получения клинкера использовались реактивы: $CaCO_3$, SiO_2 , Al_2O_3 и Fe_2O_3 . Источником оксида серы являлся реактив $CaSO_4 \cdot 2H_2O$, а щелочесодержащего соединения – реактивы K_2CO_3 и Na_2CO_3 . Все реактивы соответствовали чистоте «ч.д.а.».

Определение содержания общей серы в клинкере осуществлялось путем растворения клинкера в смеси азотной и соляной кислоты с дальнейшим осаждением материала хлористым барием [20].

Сроки схватывания цементного теста определялись на приборе Вика согласно методике, указанной в ГОСТ 310.3-76 «Цементы. Методы определения нормальной густоты, сроков схватывания и равномерности изменения объема».

Для исследования прочности лабораторных цементов изготавливались малые образцы $1,41 \times 1,41 \times 1,41$ см из теста нормальной густоты состава 1:0, которые 1 сутки твердели в ванне с гидравлическим затвором над водой и затем – в воде с температурой 20 ± 2 °C. Испытания на прочность проводились в возрасте 2, 7 и 28 суток. Предел прочности при сжатии вычислялся как среднее арифметическое из трех характерных значений при испытании четырех образцов-близнецов.

Основная часть. Из указанных сырьевых материалов была приготовлена сырьевая смесь для получения рядового клинкера. Расчетный химический состав сырьевой смеси и клинкера представлены в таблице 1. Расчетный минералогический состав и модульные характеристики клинкера представлены в таблице 2.

Таблица 1

Химический состав сырьевой смеси и клинкера, %

	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	ППП	Прочие	Сумма
Сырьевая смесь	14,27	3,71	3,09	43,96	34,54	0,43	100
Клинкер	21,80	5,67	4,72	67,16	–	0,66	100

Таблица 2

Расчетный минералогический состав и модульные характеристики клинкера

Минералогический состав, %					Модульные характеристики		
C_3S	C_2S	C_3A	C_4AF	Сумма	КН	n	p
62,96	15,02	7,02	14,35	99,35	0,92	2,1	1,2

В указанную сырьевую смесь сверх 100 % вводился реактив $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, которым регулировалось содержание оксида серы SO_3 , и реактивы карбоната калия K_2CO_3 и карбоната натрия Na_2CO_3 для регулирования соотношения A/S между SO_3 и K_2O , SO_3 и Na_2O и для перевода оксида серы из более возгоняемого соединения – CaSO_4 в менее возгоняемое – K_2SO_4 или Na_2SO_4 . Соотношение A/S составляло 0; 0,5; 1 и 1,5. Таким образом, было приготовлено семь сырьевых смесей.

Количество оксида серы SO_3 для всех приготовленных сырьевых смесей было одинаковым и составляло 2,13 % в пересчете на клинкер. Соотношения A/S регулировалось изменением вводимого карбоната калия K_2CO_3 или карбоната натрия Na_2CO_3 . Для компенсации избыточного количества оксида кальция CaO , вводимого с гипсом, в сырьевые смеси вводилось небольшое количество реактива SiO_2 в количестве необходимом для образования алита C_3S .

Обжиг клинкеров проводился в лабораторной печи при температуре 1450 °C с выдержкой 40 минут. Охлаждение клинкеров осуществлялось до 1250 °C в печи со скоростью около 20 °C/мин, моделируя охлаждение клинкера в зоне охлаждения вращающейся печи, и далее резко на воздухе до полного охлаждения.

Обожженные клинкеры характеризуются наличием основных клинкерных минералов и отсутствием свободного оксида кальция (рис. 2). Дополнительные фазы не идентифицируются. Следует отметить, что происходит небольшое смещение дифракционного отражения с максимумом 2.196 Å в области 41 градуса. Предположительно, это может быть связано с образованием твердых растворов, в первую очередь с алитом C_3S , под влиянием вводимых соединений.

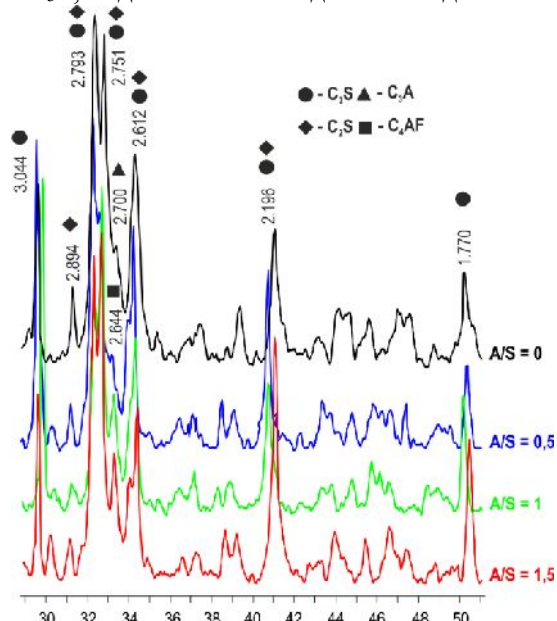


Рис. 2. Влияние соотношения A/S на фазовый состав синтезируемых клинкеров

Количество возгоняющегося оксида серы SO_3 определялось по разнице вводимого в сырьевую смесь SO_3 и оставшегося SO_3 в клинкере после обжига.

Результаты определения остаточного количества SO_3 в клинкере при вводе карбоната калия K_2CO_3 представлены в таблице 3 и на рисунке 3.

При увеличении соотношения A/S, т.е. при повышении содержания K_2CO_3 в сырьевой смеси, наблюдается увеличение фактического содержания SO_3 в клинкере и снижение возгонки SO_3 . Фактическое содержание SO_3 в клинкере увеличивается на 81 % с 0,424 до 0,766 % при повышении соотношения A/S от 0 до 1,5.

Таблица 3

Влияние соотношения A/S на возгонку SO_3 при вводе K_2CO_3

A/S	Расчетное содержание SO_3 в клинкере, %	Фактическое содержание SO_3 в клинкере, %	Возгонка SO_3 , %
0	2,13	0,424	80,1
0,5	2,13	0,525	75,4
1,0	2,13	0,624	70,7
1,5	2,13	0,766	64,0

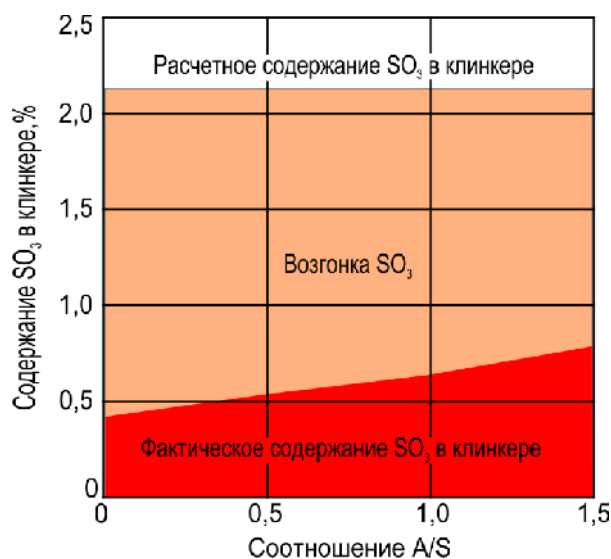


Рис. 3. Влияние соотношения A/S на возгонку SO_3 при вводе K_2CO_3

Следует отметить, что увеличение содержания оксида серы в клинкере при повышении соотношения A/S происходит неравномерно. Максимальное увеличение SO_3 в клинкере 24 % происходит при соотношении A/S, равном 0,5. Для соотношения A/S, равном 1,0, увеличение содержания SO_3 в клинкере составляет 19 %. Для соотношения A/S, равном 1,5, увеличение содержания SO_3 в клинкере составляет 23 %.

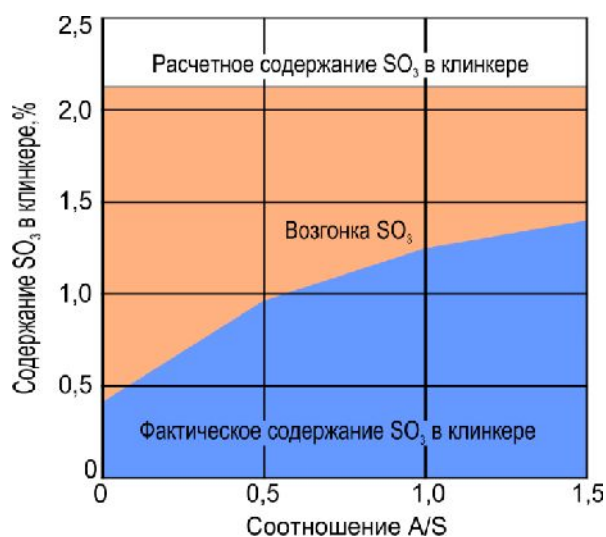
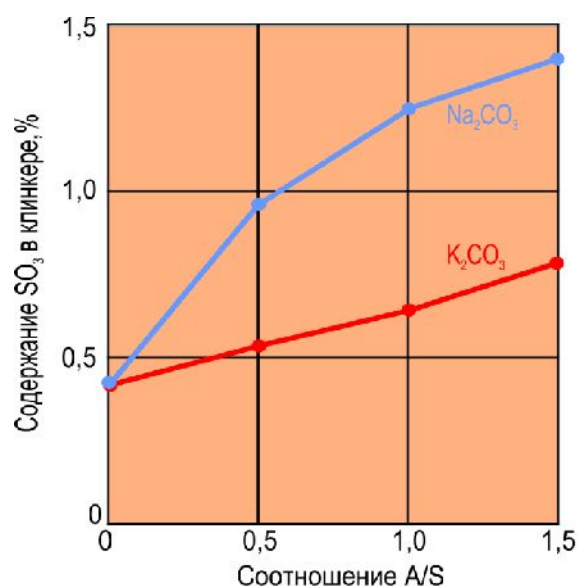
Результаты определения остаточного количества SO_3 в клинкере при вводе карбоната натрия Na_2CO_3 представлены в таблице 4 и на рисунке 4.

При увеличении соотношения A/S, т.е. при повышении содержания Na_2CO_3 в сырьевой смеси, наблюдается увеличение содержания SO_3 в клинкере или снижение возгонки SO_3 . Фактическое содержание SO_3 в клинкере увеличивается в 3,3 раза с 0,424 до 1,390 % при повышении соотношения A/S от 0 до 1,5.

Таблица 4

Влияние соотношения A/S на возгонку SO_3 при вводе Na_2CO_3

A/S	Расчетное содержание SO_3 в клинкере, %	Фактическое содержание SO_3 в клинкере, %	Возгонка SO_3 , %
0	2,13	0,424	80,1
0,5	2,13	0,956	55,1
1,0	2,13	1,240	41,8
1,5	2,13	1,390	34,7

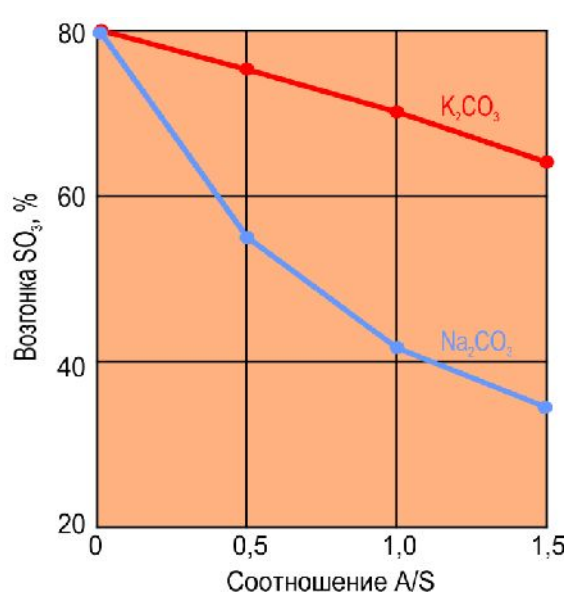
Рис. 4. Влияние соотношения A/S на возгонку SO_3 при вводе K_2CO_3 

Так же, как и при корректировке соотношения A/S карбонатом калия K_2CO_3 , при вводе карбоната натрия Na_2CO_3 максимальное увеличение содержания оксида серы SO_3 в клинкере наблюдается при минимальном соотношении A/S, равном 0,5. Повышение содержания SO_3 в этом случае, составляет более, чем в 2 раза – 125 %. При повышении соотношения A/S до 1,0 количество SO_3 в клинкере увеличивается на 30 %, а при A/S, равном 1,5 – на 12 %.

Следует отметить, что при вводе карбоната натрия Na_2CO_3 фактическое содержание оксида серы SO_3 в клинкере существенно увеличивается, почти в 2 раза, по сравнению с вводом карбоната калия K_2CO_3 . Это как раз подтверждает то, что соли натрия менее возгоняемые, чем соли калия.

Сравнение содержания SO_3 в клинкере и количества возгоняемого оксида серы при вводе карбонатов калия и натрия в зависимости от соотношения A/S представлено на рисунке 5.

Анализируя представленные зависимости (рис. 5), можно сделать вывод, что дальнейшее увеличение соотношения A/S, выше 1,5, скорее всего, будет иметь эффект только при вводе карбоната калия, поскольку наблюдается тенденция к увеличению выходящего с клинкером оксида серы SO_3 и снижению его возгонки. Увеличение же соотношения A/S выше 1,5 при вводе карбоната натрия, скорее всего, не приведет к существенному эффекту и количество оксида серы выходящего с клинкером и возгоняемого в процессе обжига примерно останется на том же уровне. Поэтому увеличение соотношения A/S для снижения возгонки и увеличении содержания оксида серы в клинкере возможно только при его корректировке карбонатом калия.

Рис. 5. Влияние вида щелочного карбоната на возгонку и содержание в клинкере SO_3 в зависимости от соотношения A/S

Однако чрезмерное присутствие щелочных сульфатов в клинкере может отрицательно сказаться на свойствах цемента. В первую очередь это относится к срокам схватывания и прочности изделий на основе такого цемента.

Для исследования влияния щелочных сульфатов на сроки схватывания и прочность цемента

было приготовлено три цемента с различным содержанием сульфата калия K_2SO_4 (соединения, в составе которого может выходить оксид серы) и двухводного гипса $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ (регулятора сроков схватывания). Соотношения между K_2SO_4 и двухводным гипсом представлено в таблице 5.

Таблица 5

Соотношение между сульфатом калия K_2SO_4 и двухводным гипсом $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ в цементе

№ цемента	Содержание в пересчете на SO_3 , %		Всего SO_3 , %
	$CaSO_4 \cdot 2H_2O$	K_2SO_4	
№1	3	0	3
№2	2	1	3
№3	0	3	3

С учетом того, что для приготовления цементов использовался заводской клинкер, в котором возможно незначительное содержание оксида серы, то общее количество SO_3 добавляемого для всех приготовленных цементов состав-

ляло 3 %, так как, согласно ГОСТ 31108-2016, количество SO_3 для рядового цемента не должно превышать 3,5 %.

Результат определения сроков схватывания цементного теста представлен в табл. 6.

Таблица 6

Сроки схватывания цементного теста, мин

Временной период	№ цемента		
	№1	№2	№3
Начало схватывания	75	57	44
Конец схватывания	117	111	86

Как и следовало ожидать с увеличением количества введенного сульфата калия K_2SO_4 происходит сокращение начала и конца схватывания цемента. При введении 1 % SO_3 , содержащегося в K_2SO_4 , начало схватывания цемента №2 сокра-

щается на 24 %, а при введении 3 % SO_3 , содержащегося в K_2SO_4 (цемент №3) – на 41 % по сравнению с цементом №1 без ввода сульфата калия. Конец схватывания для цемента №2 сокращается незначительно, на 5 % по сравнению с цементом №1, а для цемента №3 – на 26 %.

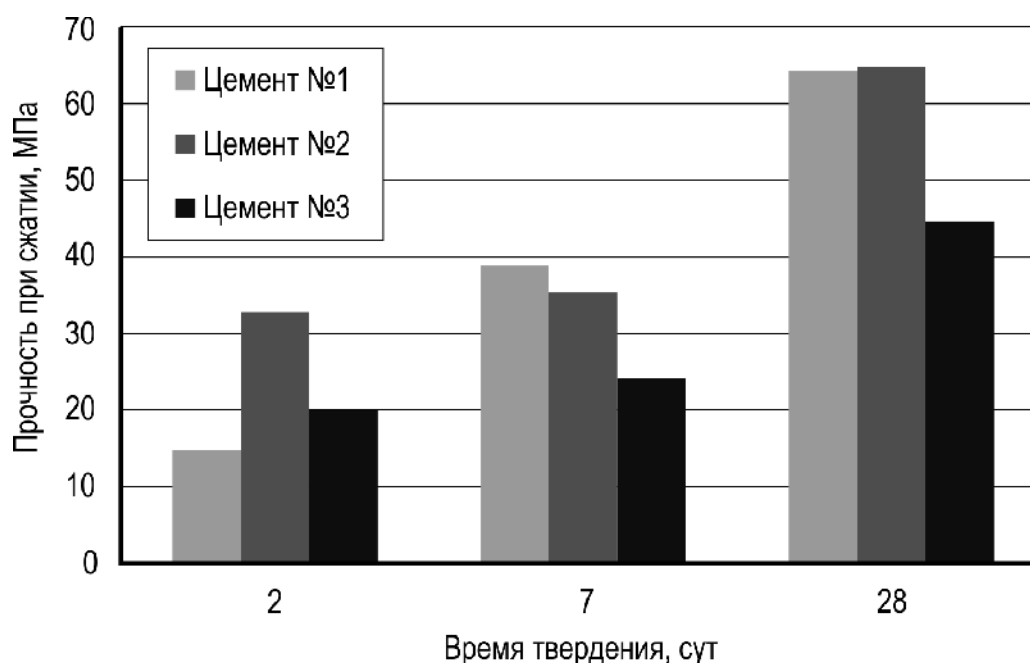


Рис. 6. Влияние соотношения $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ и K_2SO_4 на гидравлическую активность цементов

Сокращение сроков схватывания для цементов №2 и №3 обусловлено нехваткой двуводного гипса и недостаточным (цемент №2) и отсутствующим (цемент №3) влиянием сульфата кальция на скорость гидратации трехкальциевого алюмината C_3A .

Прочность цементов в возрасте 3, 7 и 28 суток представлена на рисунке 6.

С увеличением количества вводимого в цемент сульфата калия K_2SO_4 повышается прочность образцов в двухсуточном возрасте. Это характерно и для цемента №2 и для цемента №3. Причем прочность цемента №2 увеличивается более, чем в 2 раза по сравнению с цементом №1. Прочность цемента №3 увеличивается на 33 % по сравнению с цементом №1. Это, в первую очередь, связано, так же, как и для изменения сроков схватывания указанных цементов, с нехваткой или отсутствием двуводного гипса и, соответственно, с недостаточной блокировкой гидратации цементов на начальном этапе твердения. К семи суткам твердения прочности цементов №1 и №2 становятся практически одинаковыми. Причем прочность цемента №1 увеличивается в 2,6 раза, а прочность цемента №2 всего на 12,5 %. Прочность цемента №3 является минимальной – 24 МПа. Однако, следует отметить, что, несмотря на минимальное абсолютное значение прочности цемента №3, увеличение его прочности составило 20 % по сравнению с двухсуточным возрастом, то есть больше, чем прирост прочности цемента №2.

В возрасте 28 суток прочность цементов №1 и №2 выравниваются и составляют около 64 МПа, а прочность цемента №3 – 45 МПа. Это как раз свидетельствует о негативном влиянии сульфата калия на прочность цемента №3 и отсутствии влияния на прочность цемента №2 в 28-суточном возрасте.

Выводы.

1. Для снижения циркуляции летучих соединений в печи сухого способа производства и снижения вероятности образования настывей необходимо обеспечить соотношение между щелочными соединениями в пересчете на K_2O и Na_2O и оксидом серы SO_3 A/S примерно равным 1. При этом, в зависимости от того, какие соединения преобладают, натрия или калия, соотношение A/S можно регулировать в большую или меньшую сторону. При большем содержании соединений натрия соотношение A/S может быть уменьшено. При большем содержании соединений калия – наоборот увеличено.

2. Увеличение соотношения A/S от 0 до 1,5 способствует выводу оксида серы SO_3 в виде щелочных сульфатов с клинкером и снижению его возгонке. Общее количество оксида серы SO_3 ,

выходящее с клинкером увеличивается на 81 % при вводе карбоната калия K_2CO_3 и в 3,3 раза при вводе карбоната натрия Na_2CO_3 по сравнению с A/S равном 0.

3. Наличие в клинкере щелочных сульфатов изменяет сроки схватывания цементного теста. Время начала схватывания сокращается на 24 и 41 %, а время конца схватывания – на 5 и 26 % при введении 1 и 3 % SO_3 , содержащегося в K_2SO_4 , соответственно.

4. Наличие в клинкере щелочных сульфатов способствует увеличению прочности образцов на начальном этапе твердения. В двухсуточном возрасте при вводе 1 % SO_3 , содержащегося в K_2SO_4 , прочность цемента увеличивается более, чем в 2 раза, а при вводе 3 % SO_3 , содержащегося в K_2SO_4 – на 33 %. В возрасте 28 суток прочность цементов без K_2SO_4 и с 1 % SO_3 , содержащегося в K_2SO_4 , составляют одинаковые значения – 64 МПа. Прочность цемента с 3 % SO_3 , содержащегося в K_2SO_4 составляет минимальное значение – 45 МПа.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Cortada Mut M. D. M., Dam-Johansen K., Glarborg P., Nørskov, L. K. Sulfur Release during Alternative fuels Combustion in Cement Rotary Kilns. Copenhagen: DTU Library. 2014. 248 p.
2. Cortada Mut M. D. M., Nørskov, L. K., Glarborg P., Dam-Johansen K., Sulphur release from alternative fuel firing // Global Cement Magazine. 2014. September. URL: <https://www.globalcement.com/magazine/articles/878-sulphur-release-from-alternative-fuel-firing>
3. Борисов И.Н., Мандрикова О.С. Применение топливосодержащих отходов в производстве цемента // Цемент Информ. 2014. №1. С. 9–11.
4. Борисов И.Н., Мандрикова О.С., Мишин Д.А. Нефтяной кокс – альтернативное топливо для цементной вращающейся печи // Современные проблемы науки и образования. 2014. №6. URL: <http://science-education.ru/ru/article/view?id=16660>
5. Chatterjee A.K., Cement Production Technology. Principles and Practice. Boca Raton: Taylor & Francis Group. 2018. 419 p.
6. Klassen V.K., Ermolenko E.P., Novosyolov A.G., Mishin D.A. Problem of impurity of salts of alkali metals in cement raw materials // Middle-East Journal of Scientific Research. 2013. №17 (8). Pp. 1130–1137. URL: [http://idosi.org/mejsr/mejsr17\(8\)13/18.pdf](http://idosi.org/mejsr/mejsr17(8)13/18.pdf).
7. Классен В. К. Технология и оптимизация производства цемента: учебное пособие. Белгород: Изд-во БГТУ. 2012. 308 с.

8. Классен В.К. Технология портландцемента: избранные труды. Белгород: Изд-во БГТУ. 2017. 530 с.
9. Locher G., Klein H. Modeling circulating sulfur, chlorine and alkali systems in the clinker burning process; part 1: comparison of measurement and calculation // Cement International. 2009. №3. Pp. 74–87.
10. Locher G., Klein H. Modeling circulating sulfur, chlorine and alkali systems in the clinker burning process; part 2: theory and discussion // Cement International. 2009. №4. Pp. 64–75.
11. Enders M., Haeseli U. Reactions of alkalis, chlorine and sulfur during clinker production // Cement International. 2011. №3. Pp. 38–53.
12. Tokheim L.-A., Kiln system modification for increased utilization of alternative fuels at Norcem Brevik // Cement International. 2006. №4. Pp. 52–59.
13. Klein H., Hoenig V. Model calculations of the fuel energy requirement for the clinker burning process // Cement International. 2006. №3. Pp. 44–63.
14. Штарк Й., Вихт Б. Цемент и известь. Пер. с нем. А. Тулаганова. Под ред. П. Кривенко. Киев. 2008. 470 с.
15. Schneider C., Schulz M., Hamman B. Production of glass products – a possible new way of utilizing dusts from the cement industry // Cement International. 2007. №1. Pp. 64–73.
16. Nobis R. General report WDC Congress 2009: Burning Technology // Cement International. 2009. №5. Pp. 52–71.
17. Лугинина И.Г. Избранные труды. Белгород: Изд-во БелГТАСМ. 2002. 302 с.
18. Капан М. Циркуляционные явления при обжиге клинкера. Часть I // Цемент и его применение. 2017. №5. С. 44–49.
19. Капан М. Циркуляционные явления при обжиге клинкера. Часть II // Цемент и его применение. 2017. №6. С. 34–41.
20. Ботвинкин О.К., Клюковский Г.И., Мануйлов Л.А. Лабораторный практикум по общей технологии силикатов и техническому анализу строительных материалов. Под ред. Косякина З. К. М.: Стройиздат. 1966. 400 с.

Информация об авторах

Новоселов Алексей Геннадьевич, кандидат технических наук, доцент кафедры технологии цемента и композиционных материалов. E-mail: novosyolovag@yandex.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46

Васина Юлия Андреевна, магистрант. E-mail: vasinajulia1511@gmail.com. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46

Новоселова Инна Николаевна, кандидат технических наук, доцент кафедры технологии цемента и композиционных материалов. E-mail: grebenik_inna@mail.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46

Горайнова Диана Николаевна, магистрант. E-mail: dianka19996@mail.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46

Ершова Юлия Ивановна, магистрант. E-mail: ershova.yulya10@mail.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46

Поступила 27.05.2020

© Новоселов А.Г., Васина Ю.А., Новоселова И.Н., Горайнова Д.Н., Ершова Ю.И., 2020

***Novosyolov A.G., Vasina Y.A., Novoselova I.N., Goriaynova D.N., Ershova Yu.I.**

Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov

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

INVESTIGATION OF THE POSSIBILITY OF REDUCING THE CIRCULATION OF VOLATILE COMPOUNDS IN A ROTARY KILN OF A DRY PRODUCTION METHOD

Abstract. The article considers a method of reducing the circulation of volatile compounds – sulfur, potassium, sodium compounds that can accumulate in the clinker burning system, circulate and lead to the formation of growths and deposits in the calciner, preheater and the loading part of the rotary kiln. The number of circulating compounds in the rotary kiln can be reduced by decreasing their degree of sublimation by converting them to less volatile compounds and removing these compounds from the firing system together with

the clinker. In this case, it is necessary to provide a certain molar ratio between alkaline compounds and sulfur oxide, which depends on which compound will leave the burning system together with clinker. The introduction of potassium carbonate reduces the sublimation of sulfur oxide by 16 %, and sodium carbonate-by 45 %, due to the transfer of carbonates to less sublimable sulfates. The change of cement properties – setting time and strength, under the influence of compounds coming out with the clinker is shown. The start of setting of the cement paste is reduced by 41 %, the end of setting by 26 % with an increase in the ratio between alkaline compounds and sulfur oxide. The strength of cement in the initial period of hardening increases, and at the age of 28 days – decreases.

Keywords: *clinker burning, volatility of sulfur oxide, crust, the ratio between alkaline compounds and sulfur oxide.*

REFERENCES

1. Cortada Mut M.D.M., Dam-Johansen K., Glarborg P., Nørskov, L.K. Sulfur Release during Alternative fuels Combustion in Cement Rotary Kilns. Copenhagen: DTU Library. 2014. 248 p.
2. Cortada Mut M.D.M., Nørskov L.K., Glarborg P., Dam-Johansen K., Sulphur release from alternative fuel firing. Global Cement Magazine. 2014. September. URL: <https://www.globalcement.com/magazine/articles/878-sulphur-release-from-alternative-fuel-firing>
3. Borisov I.N., Mandrikova O.S. The use of fuel-containing waste in cement production. Cement Inform. 2014. No. 1. Pp. 9–11.
4. Borisov I.N., Mandrikova O.S., Mishin D.A. Petroleum coke - an alternative fuel for a cement rotary kiln. Modern problems of science and education. 2014. No. 6. URL: <http://science-education.ru/ru/article/view?id=16660>
5. Chatterjee A.K., Cement Production Technology. Principles and Practice. Boca Raton: Taylor & Francis Group. 2018. 419 p.
6. Klassen V.K., Ermolenko E.P., Novosyolov A.G., Mishin D.A. Problem of impurity of salts of alkali metals in cement raw materials. Middle-East Journal of Scientific Research. 2013. No. 17 (8). Pp. 1130–1137. URL: [http://idosi.org/mejsr/mejsr17\(8\)13/18.pdf](http://idosi.org/mejsr/mejsr17(8)13/18.pdf).
7. Klassen V.K. Technology and optimization of cement production: a training manual. Belgorod: publishing house of BSTU named after V.G. Shukhov. 2012. 308 p.
8. Klassen V.K. Portland Cement Technology: Selected Works. Belgorod: publishing house of BSTU named after V.G. Shukhov. 2017. 530 p.
9. Locher G., Klein H. Modeling circulating sulfur, chlorine and alkali systems in the clinker burning process; part 1: comparison of measurement and calculation. Cement International. 2009. No. 3. Pp. 74–87.
10. Locher G., Klein H. Modeling circulating sulfur, chlorine and alkali systems in the clinker burning process; part 2: theory and discussion. Cement International. 2009. No. 4. Pp. 64–75.
11. Enders M., Haeseli U. Reactions of alkalis, chlorine and sulfur during clinker production. Cement International. 2011. No. 3. Pp. 38–53.
12. Tokheim L.-A., Kiln system modification for increased utilization of alternative fuels at Norcem Brevik. Cement International. 2006. No. 4. Pp. 52–59.
13. Klein H., Hoenig V. Model calculations of the fuel energy requirement for the clinker burning process Cement International. 2006. No. 3. Pp. 44–63.
14. Stark J., Vikht B. Cement and lime. German translation A. Tulaganova. Edited by P. Krivenko. Kiev. 2008. 470 p.
15. Schneider C., Schulz M., Hamman B. Production of glass products – a possible new way of utilizing dusts from the cement industry. Cement International. 2007. No. 1. Pp. 64–73.
16. Nobis R. General report WZ Congress 2009: Burning Technology. Cement International. 2009. No. 5. Pp. 52–71.
17. Luginina I.G. Selected Works. Belgorod: publishing house of BSTU named after V.G. Shukhov. 2002. 302 p.
18. Kapan M. Circulation phenomena during clinker burning. Part I. Cement and its application. 2017. No. 5. Pp. 44–49.
19. Kapan M. Circulation phenomena during clinker burning. Part II. Cement and its application. 2017. No. 6. Pp. 34–41.
20. Botvinkin O.K., Klyukovsky G.I., Manuylov L.A. Laboratory workshop on general technology of silicates and technical analysis of building materials. Edited by Kosyakina Z.K. M.: Stroyizdat. 1966. 400 p.

Information about the authors

Novosyolov, Alexey G. PhD. E-mail: novosyolovag@yandex.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Vasina, Yulia A. undergraduate. E-mail: vasinajulia1511@gmail.com. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Novoselova, Inna N. PhD. E-mail: grebenik_inna@mail.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Goriaynova, Diana N. undergraduate. E-mail: dianka19996@mail.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Ershova, Yulya I. Undergraduate. E-mail: ershova.yulya10@mail.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Received 27.05.2020

Для цитирования:

Новоселов А.Г., Васина Ю.А., Новоселова И.Н., Горяйнова Д.Н., Ершова Ю.И. Исследование возможности снижения циркуляции летучих соединений во вращающейся печи сухого способа производства // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2020. № 7. С. 84–92. DOI: 10.34031/2071-7318-2020-5-7-84-92

For citation:

Novosyolov A.G., Vasina Y.A., Novoselova I.N., Goriaynova D.N., Ershova Yu.I. Investigation of the possibility of reducing the circulation of volatile compounds in a rotary kiln of a dry production method. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2020. No. 7. Pp. 84–92. DOI: 10.34031/2071-7318-2020-5-7-84-92

DOI: 10.34031/2071-7318-2020-5-7-93-100

***Тужилин С.П., Лопатина Ю.А., Свиридов А.С.**

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «ФНАЦ ВИМ»

*E-mail: sptuzh@mail.ru

ПЕРЕРАБОТКА ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ МЕТОДОМ СВОБОДНОГО ЛИТЬЯ В ВАКУУМЕ

Аннотация. На данный момент существует большое количество методов переработки полимерных материалов, как термопластов, так и реактопластов. Однако большинство из них целесообразно применять только при крупносерийном или массовом производстве полимерных изделий, в то время как в современных условиях существует тенденция к производству небольших партий изделий сложной конфигурации. Одним из универсальных методов переработки полимерных материалов в условиях мелкосерийного производства является формование изделий литьем без давления в вакууме. Этот процесс объединяет в одном технологическом цикле синтез полимера и его переработку. Он подходит как для переработки большинства реактопластов, так и для некоторых термопластичных полимеров. Помимо переработки полимеров данный метод позволяет изготавливать полимерные наполненные и сверхнаполненные композиционные материалы. Данная работа посвящена обзору метода свободного литья в вакууме в эластичные формы. Рассмотрены материалы, используемые для переработки данным способом. Рассмотрены материалы, требуемые для изготовления эластичных форм. Описаны основные этапы технологического процесса изготовления полимерных изделий данным методом. Приведены области возможного применения данной технологии.

Ключевые слова: переработка полимеров, литье в вакууме, эластичные формы, мелкосерийное производство

Введение. В настоящее время существует большое количество эффективных технологий переработки полимеров: литье полимеров под давлением, вакуумная объемная формовка, ротационное формование, каландрование и др. Однако большинство этих технологий целесообразно применять для изготовления продукции в условиях крупносерийного или массового производства. В то же время в последнее время наблюдается тенденция к усложнению промышленной продукции, росту номенклатуры изготавливаемых изделий и уменьшению времени жизненного цикла готовой продукции [1]. В условиях рыночной экономики производству, чтобы удовлетворять спрос рынка, необходимо быть гибким, мобильным и готовым к колебаниям спроса на рынке [2–3]. Поэтому в условиях рыночной экономики наиболее эффективным будет мелкосерийное и единичное производство. Такой тип производства характерен, в частности, для предприятий, занимающихся научно-исследовательской и опытно-конструкторской деятельностью. Уже сейчас доля мелкосерийного производства составляет от всего объема производства около 80 % [2–4].

Несмотря на то, что предпринимаются попытки адаптировать оборудование крупносерийного производства под сложившиеся условия, как, например, в работе [5], одним из универсальных методов переработки полимеров, эффективным в условиях мелкосерийного и единичного производства, является формование изделий ли-

тьем без давления. Метод применим для изготовления изделий из отверждающихся смол (эпоксидные смолы, ненасыщенные полиэфир, полиуретаны), желеобразных паст из пластифицированного ПВХ и других полимеров, полимеризующихся мономеров (стиролы, акрилаты), мономеров, способных к поликонденсации (например, капролактамы) и других, а также из наполненных и высоконаполненных композиций на основе данных материалов.

Материалы. Формующие инструменты (литейные формы) для получения изделий из полимеров по данной технологии изготавливают из различных материалов. К материалам для изготовления форм предъявляют следующие требования: износостойкость, обеспечение стабильности размеров формующего инструмента, обеспечение хорошего качества формующей поверхности, теплостойкость, хорошая теплопроводность, низкая себестоимость. С учетом перечисленных факторов для изготовления формующих инструментов применяются следующие материалы: металлы, полимерные материалы (эпоксидные смолы, полиуретаны, силиконовые каучуки и др.), гипс, древесина.

Одной из разновидностей свободного литья является вакуумное литье в эластичные формы, представляющее собой процесс получения опытных образцов и небольших партий пластмассовых и восковых деталей любой сложности и габаритов без изготовления стандартной оснастки за очень короткое время [7].

В настоящее время существует широкий спектр силиконовых и полиуретановых двухкомпонентных холоднотвердеющих полимеров, позволяющих изготовить высококачественные формы с любых моделей, требующих при этом минимальных трудозатрат. Низкая вязкость этих

материалов позволяет точно передавать мельчайшие детали модели, а низкая усадка – повторить её геометрию [8]. В таблице 1 приведены характеристики наиболее известных и хорошо зарекомендовавших себя на мировом рынке марок материалов для изготовления эластичных форм POR-A-MOLD и SIL-MOLD.

Таблица 1

Характеристики материалов для изготовления форм

Материалы	Полиуретаны		Силиконы		
	PRO-A-MOLD		SIL-MOLD		
Характеристики	S 2030	S 555	SI – 12	SI – 25	CLEAR
Твердость по Шору, А	30	50	12	25	43
Плотность отвержденной массы, г/см ³	1,05	1,21	1,11	1,11	–
Относительное удлинение, %	900	250	500	450	–
Предел прочности, кг/см ²	45	30	–	–	–
Вязкость, отвердитель/форполимер, сП:	750/1850	3600/8100	80/50000	80/70000	–
Соотношение компонентов, отвердитель/форполимер					
- по весу	–	–	1:10	1:10	1:10
- по объему	1:1	1:1	-	-	-
Время жизни смеси, мин	20 – 30	20 – 30	До 60	До 60	До 90
Время отверждения при 22 °С, час	24	24	24	24	24

Анализ литературы показал, что из двух представленных в таблице 1 типов эластичных полимеров при изготовлении литейных форм отдают предпочтение именно силиконовым компаундам [9–11]. Малая склонность к адгезии и высокая эластичность силикона позволяют достаточно просто решить проблему наличия у детали поднутрений [9]. Использование силиконовых форм нередко оказывается единственным приемлемым способом изготовления изделий при единичном и мелкосерийном производстве, обеспечивающим при этом высокое качество изделий [12].

Основная часть. Проектирование литейной формы. При проектировании эластичных форм для литья реактопластов необходимо учитывать их большую объемную усадку (до 20 %) при полимеризации. Это особенно важно при литье изделий с внутренними полостями. Чтобы обеспечить свободную усадку отверждающегося материала в форме, внутренние сердечники (стержни), формирующие конфигурацию внутренних полостей отливок, должны под действием сил, возникающих во время усадки материала отливки, уменьшаться в размерах вследствие деформации или разрушения [6]. Большое влияние

на качество отливок оказывает конструкция литниково-питающей системы, выбор которой зависит от целого ряда факторов: свойств заливаемого материала, массы и конфигурации отливки, условий заливки, вида формы.

На рисунке 1 представлены наиболее часто применяемые типы литниковых систем для литья в силиконовые формы.

Для снижения количества брака и получения изделий с заданными свойствами литейная форма должна быть правильно спроектирована. Поэтому чтобы повысить качество получаемых изделий необходимо смоделировать процесс заливки полимера в форму и его полимеризации. Для этого в работе [13] была разработана соответствующая математическая модель, довольно точно описывающая реальный процесс.

Если форма является закрытой, то необходимо предусмотреть размещение выпоров в верхних точках отливки для контроля объема залитого полимера и улучшения заполняемости формы. Кроме того, если форма является закрытой, то на данном этапе разработки литейной формы необходимо решить, будет ли форма разъемной или разрезной (рис. 2).

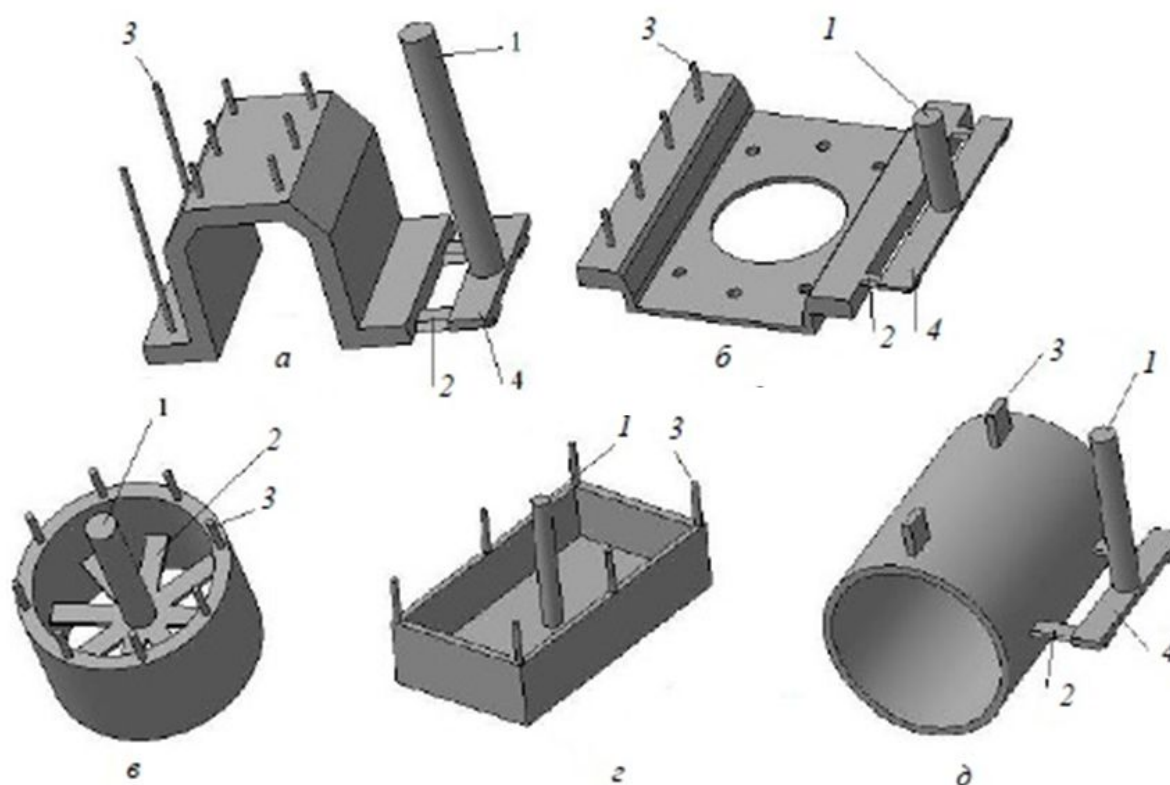


Рис. 1. Литниковые системы для литья полимеров в силиконовые формы: а – нижний подвод полимера; б – верхний подвод полимера; в, г – подвод полимера в центральную часть; д – боковой подвод полимера; 1 – стояк; 2 – питатель; 3 – выпор; 4 – коллектор

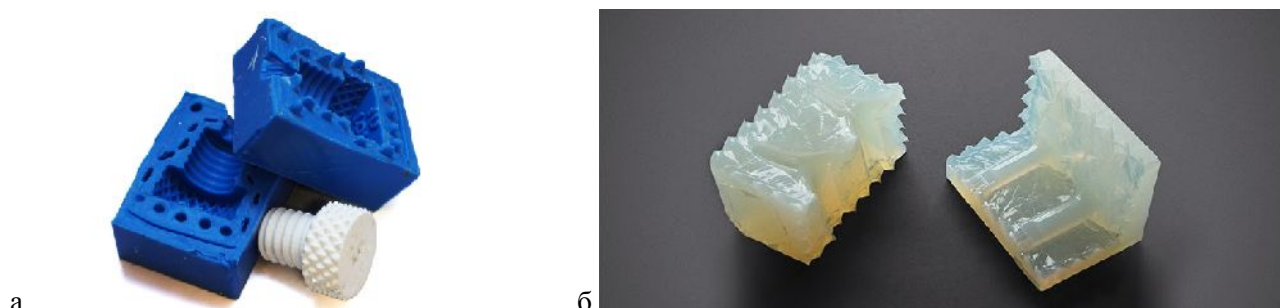


Рис. 2. Виды закрытых форм: а – разъемная форма; б – разрезная форма

При изготовлении разъемных форм каждая часть формы изготавливается по отдельности. Для формирования поверхностей разъема используют ранее изготовленные части формы со специальными элементами на контактирующей с жидким силиконовым полимером в виде углублений или бобышек, называемыми замками. Это позволит после изготовления всех частей точно собрать литейную форму и получить качественную отливку.

При изготовлении разрезных форм вся форма изготавливается как единое целое, и только после отверждения силиконового полимера специальным образом разрезается на требуемое количество частей в зависимости от слож-

ности отливки для извлечения модели. Как показано на рисунке 2б, форму разрезают по кривой волнообразной линии для того, чтобы, как и в случае с разъемными формами, обеспечить точную сборку формы перед заливкой пластика.

Изготовление мастер-модели и литейной формы. По окончании проектирования литейной формы помимо чертежа детали мы имеем чертежи модели отливки и литниковой системы или, с учётом развития технологий автоматизированного проектирования, их цифровые модели. На данном этапе из этих исходных данных необходимо получить собственно физические модели отливки и литниковой системы для последующего изготовления литейной формы. После из-

готовления модели необходимо все её поверхности довести до соответствия требуемым технологическим размерам и параметрам шероховатости.

Далее необходимо спроектировать и изготовить специальную технологическую ёмкость для размещения и закрепления в ней мастер-модели с моделями литниковой системы, предназначенную для изготовления формы или её части (рис. 3) [10].

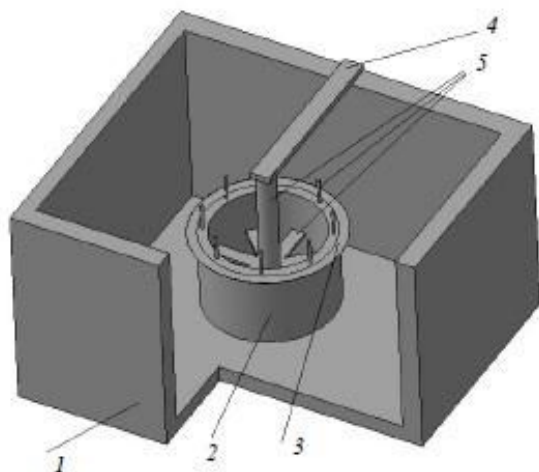


Рис. 3 Модель технологической емкости:

- 1 – опалубка; 2 – мастер-модель; 3 – плоскость, оформляющая разъем формы; 4 – фиксатор мастер-модели и модели литниковой системы в форме; 5 – модели элементов литниковой системы

Поскольку на практике для изготовления литейных форм используются двухкомпонентные холоднотвердеющие силиконовые компаунды, то перед заливкой технологической емкости нужно смешать и тщательно перемешать оба компонента. При этом в течение процесса в смесь попадает большое количество воздуха, поэтому по окончании смешивания состав необходимо поместить в вакуумную камеру для дегазации. В зависимости от вязкости силиконового полимера и создаваемого в камере вакуума время дегазации смеси может составлять от 7 до 15 минут.

После дегазации силикон заливают в подготовленную технологическую емкость, которую затем помещают в вакуумную камеру для повторной дегазации с целью удаления оставшихся включений воздуха, оставшихся на поверхности модели при заполнении. Процесс длится от 5 до 40 минут в зависимости от сложности конфигурации модели и интенсивности процесса выделения воздуха из силиконового полимера. После повторной дегазации в вакуумной камере емкость с силиконом оставляют на воздухе до окончательной полимеризации компаунда в течение 24 часов при комнатной температуре. Окончательно затвердевшую форму извлекают из ёмко-

сти и, если она разъемная – разбирают, если разрезная – разрезают по намеченной плоскости (плоскостям) разреза, чтобы извлечь мастер-модель и модели элементов литниковой системы. На этом же этапе, как правило, делают выпоры специальным инструментом, поскольку они имеют маленькие размеры в поперечном сечении, и их получение литьем затруднено.

Подготовка формы и заливка пластика. Чтобы предотвратить схватывание между материалом формы и заливаемым компаундом во время полимеризации последнего, поверхность рабочей полости и литниковой системы формы обрабатывают специальным разделительным составом, после чего форму собирают. При этом при сборке необходимо обеспечить герметичность литейной формы, чтобы предотвратить протекание низковязких мономеров при заливке.

После сборки формы необходимо подготовить к заливке литейной полимер. Для облегчения заполнения форм, удаления пузырьков воздуха, попавших в реакционную массу, и для ускорения процессов уплотнения наполненных композиций применяют вакуумирование (0,04–0,07 атм), которое желательно проводить на стадии смешения исходных компонентов двухкомпонентного состава. Заливку материала в форму также предпочтительно осуществлять в вакууме, что позволит снизить вероятность возникновения дефектов и увеличить выход годной продукции [9]. В промышленности процесс вакуумного литья полимеров в силиконовые формы осуществляется в специальных вакуумных литейных машинах (рис. 4).

Процесс заливки литейного пластика в форму осуществляется следующим образом. Форма 8 с воронкой 7 и ёмкости 2 и 3 с компонентами заливаемого материала устанавливаются в вакуумную камеру 1. Затем в камере с помощью вакуумного насоса 9 создается вакуум для предварительной дегазации компонентов. Затем дозирующее устройство 4 переливает необходимое количество одного из компонентов из ёмкости 2 в ёмкость 3. Далее оба компонента смешиваются в ёмкости 3 с помощью перемешивающего устройства 6, и затем при помощи заливочного устройства 5 осуществляется заливка реакционной смеси через воронку 7 в силиконовую форму 8. Все операции внутри камеры управляются с пульта 10.

После заливки пластика форму извлекают из вакуумной литейной машины и помещают в печь или сушильный шкаф для окончательного отверждения полимера в форме. Длительность данного этапа составляет порядка 2–3 часов. Основным параметром, оказывающим существенное

влияние на качество получаемых изделий, является скорость снижения температуры, которая обычно составляет 0,1–0,5 °C в минуту. Превышение скорости охлаждения снижает прочностные показатели получаемых изделий за счет возникновения больших градиентов температур и высоких температурных напряжений. По окончании данного этапа форму извлекают из печи или

сушильного шкафа, разбирают и извлекают из неё готовую отливку, которую затем подвергают окончательной механической обработке. Форму очищают от остатков заливочного материала, повторно наносят специальный разделительный состав и собирают для повторения процесса заливки.

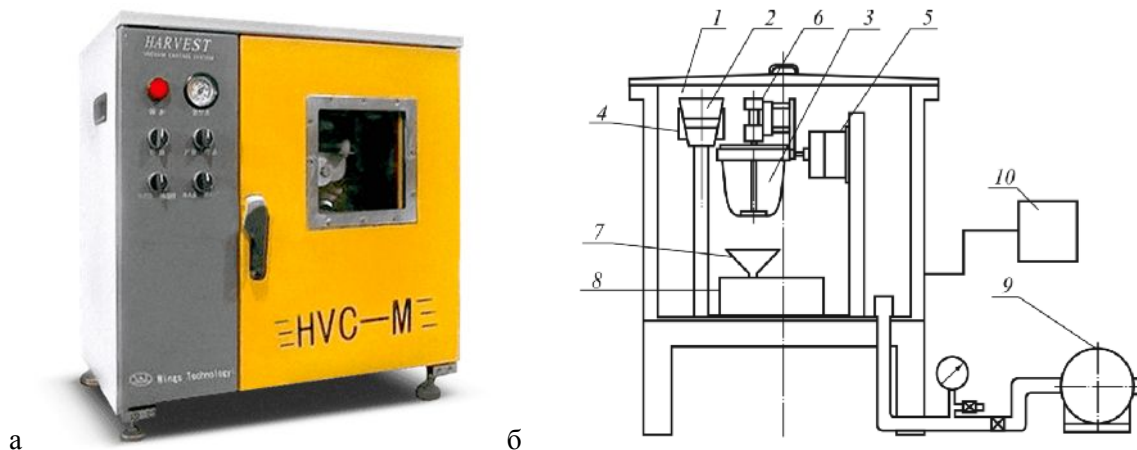


Рис. 4. Вакуумная литьевая машина:

- а – фотография вакуумной литьевой машины HVC-M; б – принципиальная схема вакуумной литьевой машины
 1 – вакуумная камера; 2, 3 – емкости для компонентов литьевого пластика;
 4 – дозирующее устройство; 5 – заливочное устройство; 6 – перемешивающее устройство; 7 – воронка;
 8 – форма; 9 – вакуумный насос; 10 – пульт управления

Применение. Наиболее часто этот метод применяется для изготовления функциональных макетов, а также пробных партий новой продукции. Технология литья в силиконовые формы позволяет проверить собираемость и работоспособность конструкций, отработать дизайн изделия, провести маркетинговые исследования, оценить конструкцию и потребительские свойства изделий перед изготовлением серийной оснастки, уложившись при этом в короткие сроки изготовления и сохраняя все сложные поверхности, мельчайшие детали и любые текстуры изделий.

В работе [14] данная технология была успешно применена для изготовления небольших партий автомобильных фар с целью уменьшения затрат на их производство по сравнению с методом литья под давлением. Авторы работы [15] показали, что данной технологией можно изготавливать детали микрометрового диапазона; в качестве образцов были изготовлены шестерни, диаметр которых составил 1 мм, а ширина зубчатого венца – 38 мкм. Кроме того, этой же технологией воспользовались авторы работы [16] для изготовления пластиковых биочипов для высокопараллельной трансфекции клеток, максимальный размер которых не превышал 200 мкм. В этой же работе показано, что применение этого

метода оправдано для мелкосерийного производства таких чипов по сравнению с литьем под давлением.

Применение технологии свободного литья в эластичные формы в вакууме, согласно [17], также оправдано при изготовлении деталей с микроканалами, размерами от 8 до 100 мкм. Это позволяет более эффективно изготавливать детали для струйных принтеров, портативных устройств, систем химического анализа, биологического зондирования, доставки лекарств, оптического переключения и молекулярного разделения.

В данной работе перечислены не все применения данной технологии, однако этого достаточно, чтобы показать, что она находит достаточно широкое применение во многих отраслях промышленности.

Выводы. В условиях мелкосерийного производства, на долю которого приходится 75 - 80% всех изготавливаемых деталей, технология литья в вакууме в эластичные формы является одним из наиболее эффективных методов получения как готовых изделий, так и функциональных прототипов. Технология в сжатые сроки позволяет получить небольшую партию изделий, что критически важно, как при новом производстве, так и при переналадке старого, что характерно для

мелкосерийного производства. Широкая номенклатура используемых полимеров позволяет получить детали с требуемыми для конкретных условий свойствами.

Несмотря на то, что данный метод наиболее распространен для изготовления прототипов и пробных партий изделий, ряд работ подтвердили целесообразность применения этого метода для производства готовых изделий. Причем стоит особенно отметить тенденцию к изготовлению изделий микрометрового масштаба, где данная технология вытесняет такие методы изготовления деталей, как литье под давлением, литография и другие.

В заключение можно сказать, что эта технология не только активно изучается и развивается как отечественными, так и зарубежными учеными, но и находит всё новые и новые применения в разных отраслях науки и производства.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Медунецкий В.М., Солк С.В., Лебедев О.А. Опыт единичного и мелкосерийного производства оптико-механических систем // Изв. вузов. Приборостроение. 2016. Т. 59, №7. С. 600–604. DOI: 10.17586/0021-3454-2016-59-7-600-604.
2. Типнер Л.М., Исхакова Н.Р. Проблемы организации в условиях единичного и мелкосерийного производства // Экономика и бизнес: теория и практика. 2019. №5. Т.3. С. 97–102. Систем. требования: DOI: 10.24411/2411-0450-2019-10733.
3. Матвеева Е.А. Организация мелкосерийного производства предприятий машиностроения в условиях компьютеризации // Вестник ВУиТ. 2012. №4 (20). С. 51–61
4. Миронов Н.С. Модернизация мелкосерийного и единичного производства // Решетневские чтения. 2017. №21-1. С. 520–521. Систем. требования:
5. Андреев Ю.С., Тимофеева О.С., Яблочников Е.И. Проектирование и изготовление формообразующей оснастки в условиях мелкосерийного производства // Изв. вузов. Приборостроение. 2016. Т. 59, №7. С. 592–599. DOI: 10.17586/0021-3454-2016-59-7-592-599
6. Ревяко М.М., Прокопчук Н.Р. Теоретические основы переработки полимеров: учеб. пособие. Минск: БГТУ, 2009. 305 с.
7. Бобцова С.В. Использование RP-технологий в приборостроении // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2005. №20. С. 270–273.
8. Яманова Р.Р. Современные материалы и технологии для получения форм и отливок при изготовлении сувенирной продукции // Вестник технологического университета. 2015. №2. С. 292–295.
9. Шумков А.А., Самусев И.В. Получение изделий литьем холоднотвердеющих двухкомпонентных полиуретанов в силиконовые формы в вакууме // Вестник ПНИПУ. Машиностроение, материаловедение. 2013. №2. С. 39–43.
10. Шумков А.А. Особенности технологии тиражирования пластиковых изделий методом литья двухкомпонентных холоднотвердеющих полиуретанов в силиконовые формы в вакууме // Вестник ПНИПУ. Машиностроение, материаловедение. 2014. №2. С. 94–100.
11. Chung S., Im Y., Kim H., Jeong H., Dornfeld D.A. Evaluation of micro-replication technology using silicone rubber molds and its applications. International Journal of Machine Tools and Manufacture. 2003. Vol. 43. Issue 13. Pp. 1337–1345. doi: 10.1016/S0890-6955(03)00164-0.
12. Ширяева Л.С., Куценко А.А., Пономарева К.В. Литье металлов и пластмасс с использованием синтез-мастер-моделей (форм) и аддитивных технологий // Сборник материалов IX Всероссий. научно-практической конференции с международным участием «Россия молодая», 18-21 апр. 2017 г., Кемерово [Электронный ресурс] / ФГБОУ ВО «Кузбас. гос. техн. ун-т им. Т. Ф. Горбачева». Кемерово, 2017. Систем. требования: AdobeAcrobatReader. URL: <http://science.kuzstu.ru/wp-content/Events/Conference/RM/2017/RM17/pages/Articles/0306005-.pdf>
13. Zhang H., Qingxi H. Study of the filling mechanism and parameter optimization method for vacuum casting. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology. 2015. Vol. 83. Issue 5. Pp. 711–720. doi: 10.1007/s00170-015-7597-x.
14. Okeke C.P., Brown S.J., Greenrod M.T., Lane R.C., Thite A. N., Durodola J.F. Dynamic response and fatigue life of Vacuum cast Polyurethane polymer material. Procedia Structural Integrity. 2019. Vol. 17. Pp. 596–601. doi: 10.1016/j.prostr.2019.08.080.
15. Thian S., Tang Y., Tan W., Fuh J.Y.H., Wong Y., Loh H., Lu L. The manufacture of micro-mould and microparts by vacuum casting. International Journal of Advanced Manufacturing Technology. 2008. Vol. 38. Pp. 944–948. doi: 10.1007/s00170-007-1151-4.
16. Denoual M., Mace Y., Le Pioufle B., Mognol P., Castel D., Gidrol X. Vacuum Casting to Manufacture a Plastic Biochip for Highly Parallel Cell Transfection. Measurement Science and Technology. 2006. Vol. 17. №12. Pp. 3134–3141. doi: 10.1088/0957-0233/17/12/S03.

17. Thian S.C.H., Fuh J.Y.H., Wong Y.S. Fabrication of microfluidic channel utilizing silicone rubber with vacuum casting. *Microsystem Technologies*. 2008. Vol. 14. Pp. 1125–1135. doi: 10.1007/s00542-008-0640-1.

Информация об авторах

Тужилин Сергей Петрович, инженер лаборатории №14.3 инновационных конструкционных полимерных, композитных и биокompозитных материалов деталей сельскохозяйственных машин. E-mail: sptuzh@mail.ru. Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «ФНАЦ ВИМ». Россия, 109428, г. Москва, 1-й Институтский пр-д, д. 5.

Лопатина Юлия Александровна, научный сотрудник лаборатории №14.3 инновационных конструкционных полимерных, композитных и биокompозитных материалов деталей сельскохозяйственных машин. E-mail: lopatina.julia@yandex.ru. Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «ФНАЦ ВИМ». Россия, 109428, г. Москва, 1-й Институтский пр-д, д. 5.

Свиридов Алексей Сергеевич, младший научный сотрудник лаборатории №14.3 инновационных конструкционных полимерных, композитных и биокompозитных материалов деталей сельскохозяйственных машин. E-mail: svirid4@yandex.ru. Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «ФНАЦ ВИМ». Россия, 109428, г. Москва, 1-й Институтский пр-д, д. 5.

Поступила 25.04.2020

© Тужилин С.П., Лопатина Ю.А., Свиридов А.С., 2020

***Tuzhilin S.P., Lopatina J.A., Sviridov A.S.**

Federal State Budget Scientific Institution "FNAC VIM"

E-mail: sptuzh@mail.ru

PROCESSING POLYMER MATERIALS BY FREE CASTING UNDER VACUUM

Abstract. To date there are a large number of methods for processing polymer materials, both thermoplastics and thermosets. However, most of them are appropriate only for large-scale or mass production of polymer products, while in modern conditions there is a tendency to produce small batches of products of complex configuration. One of the universal methods of processing polymer materials in small-scale production is the molding of products by injection molding without pressure in a vacuum. This process integrates in a single technological cycle of the synthesis of the polymer and its processing. It is suitable for processing most thermosets, as well as for some thermoplastic polymers. In addition to the processing of polymers, this method allows the manufacture of polymer-filled and super-filled composite materials. This work is devoted to a review of the method of free casting in vacuum into elastic forms. The materials used for processing by this method are considered. The materials required for the manufacture of elastic forms are presented. The main stages of the technological process of manufacturing polymer products by this method are described.

Keywords: polymer processing, vacuum casting, elastic forms, small-scale production

REFERENCES

1. Medunetsky V.M., Solk S.V., Lebedev O.A. Experience in single and small batch production of optical-mechanical systems [Opyt edinichnogo i melkoserijnogo proizvodstva optiko-mekhanicheskikh sistem]. *Journal of Instrument Engineering*. 2016. Vol. 59. No. 7. Pp. 600–604. doi: 10.17586/0021-3454-2016-59-7-600-604. (rus).
2. Tipner L.M., Iskhakova N.R. Problems of organization in conditions of unit and small batch production [Problemy organizatsii v usloviyakh edinichnogo i melkoserijnogo proizvodstva]. *Economy and Business*. 2019. No. 5-3. Pp. 97–102. doi: 10.24411/2411-0450-2019-10733. (rus)

3. Matveeva E.A. The organization of small-scale manufacture the mechanical engineering enterprises in conditions computerizations [Organizatsiya melkoserijnogo proizvodstva predpriyatij mashinostroeniya v usloviyakh komp'yuterizatsii]. *Vestnik of Volzhskiy University after V. N. Tatishchev*. 2012. No. 4 (20). Pp. 51–61. (rus)
4. Mironov N.S. Modernizing small-series and single production [Modernizatsiya melkoserijnogo i edinichnogo proizvodstva]. *Reshetnev readings*. 2017. No. 21-1. Pp. 520–521. (rus)
5. Andreev Yu.S., Timofeeva O.S., Yablochnikov E.I. Design and manufacturing of injection molding tooling in small-scale production [Proektirovanie i izgotovlenie formoobrazuyushchej osnastki v usloviyakh melkoserijnogo proizvodstva]. *Journal of Instrument Engineering*. 2016. Vol. 59.

No. 7. Pp. 592–599. doi: 10.17586/0021-3454-2016-59-7-592-599 (rus)

6. Revyako M.M., Prokopchuk N.R. Teoreticheskie osnovy pererabotki polimerov: ucheb. posobie. Minsk: BGTU, 2009. 305 p.

7. Bobcova S.V. The application of RP-technology in instrument engineering [Ispol'zovanie RP-tehnologii v priborostroenii]. Scientific and Technical Journal of Information Technologies, Mechanics and Optics. 2005. No. 20. Pp. 270–273. (rus)

8. Yamanova R.R. Modern materials and technologies for producing molds and castings in the souvenir production [Sovremennye materialy i tekhnologii dlya polucheniya form i otlivok pri izgotovlenii suvenirnoj produktsii]. Bulletin of technology university. 2015. No. 2. Pp. 292–295. (rus)

9. Shumkov A.A., Samusev I.V. Getting a two-component cold-cast products in polyurethane silicone mold in a vacuum [Poluchenie izdelij lit'em holodnotverdeyushchih dvukomponentnykh poliuretanov v silikonovye formy v vakuume]. Bulletin of PNRPU. Mechanical engineering, material science. 2013. No. 2. (rus).

10. Shumkov A.A. Replication technology features of plastic products by injection of two-component cold-polyurethanes silicone mold in a vacuum [Osobennosti tekhnologii tirazhirovaniya plastikovykh izdelij metodom lit'ya dvukomponentnykh holodnotverdeyushchih poliuretanov v silikonovye formy v vakuume]. Bulletin of PNRPU. Mechanical engineering, material science. 2013. No. 2. Pp. 94–100. (rus).

11. Chung S., Im Y., Kim H., Jeong H., Dornfeld D. A. Evaluation of micro-replication technology using silicone rubber molds and its applications. International Journal of Machine Tools and Manufacture. 2003. Vol. 43. Issue 13. Pp. 1337–1345. doi: 10.1016/S0890-6955(03)00164-0.

12. Shiryayeva L.S., Kucenko A.A., Ponomareva K.V. Metal and plastic casting using synthesis master models (forms) and additive technologies [Lit'e metallov i plastmass s ispol'zovaniem sintez-master-modelej (form) i additivnykh tekhnologij]. Sbornik materialov IX Vseros. nauchno-prakticheskoy konferencii s mezhdunarodnym uchastiem «Rossiya molodaya», 18–21 apr. 2017 g., Kemerovo. FGBOU VO «Kuzbas. gos. tekhn. un-t im. T. F. Gorbacheva. (rus)

13. Zhang H., Qingxi H. Study of the filling mechanism and parameter optimization method for vacuum casting. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology. 2015. Vol. 83. Issue 5. Pp. 711–720. doi: 10.1007/s00170-015-7597-x.

14. Okeke C.P., Brown S.J., Greenrod M.T., Lane R.C., Thite A. N., Durodola J.F. Dynamic response and fatigue life of Vacuum cast Polyurethane polymer material. Procedia Structural Integrity. 2019. Vol. 17. Pp. 596–601. doi: 10.1016/j.prostr.2019.08.080.

15. Thian S., Tang Y., Tan W., Fuh J.Y.H., Wong Y., Loh H., Lu L. The manufacture of micro-mould and microparts by vacuum casting. International Journal of Advanced Manufacturing Technology. 2008. Vol. 38. Pp. 944–948. doi: 10.1007/s00170-007-1151-4.

16. Denoual M., Mace Y., Le Pioufle B., Mognol P., Castel D., Gidrol X. Vacuum Casting to Manufacture a Plastic Biochip for Highly Parallel Cell Transfection. Measurement Science and Technology. 2006. Vol. 17. №12. Pp. 3134–3141. doi: 10.1088/0957-0233/17/12/S03.

17. Thian S.C.H., Fuh J.Y.H., Wong Y.S. Fabrication of microfluidic channel utilizing silicone rubber with vacuum casting. Microsystem Technologies. 2008. Vol. 14. Pp. 1125–1135. doi: 10.1007/s00542-008-0640-1.

Information about the authors

Tuzhilin, Sergey P. Engineer. E-mail: sptuzh@mail.ru. Federal State Budget Scientific Institution “FNAC VIM”. Russia, 109428, Moscow, 1-st Institutskiy driveway, 5.

Lopatina, Julia A., Research fellow. E-mail: lopatina.julia@yandex.ru. Federal State Budget Scientific Institution “FNAC VIM”. Russia, 109428, Moscow, 1-st Institutskiy driveway, 5.

Sviridov, Alexey S., Junior research fellow. E-mail: svirdef4@yandex.ru. Federal State Budget Scientific Institution “FNAC VIM”. Russia, 109428, Moscow, 1-st Institutskiy driveway, 5.

Received 25.04.2020

Для цитирования:

Тужилин С.П., Лопатина Ю.А., Свиридов А.С. Переработка полимерных материалов методом свободного литья в вакууме // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2020. № 7. С. 93–100. DOI: 10.34031/2071-7318-2020-5-7-93-100

For citation:

Tuzhilin S.P., Lopatina J.A., Sviridov A.S. Processing polymer materials by free casting under vacuum. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2020. No. 7. Pp. 93–100. DOI: 10.34031/2071-7318-2020-5-7-93-100

МАШИНОСТРОЕНИЕ И МАШИНОВЕДЕНИЕ

DOI: 10.34031/2071-7318-2020-5-7-101-108

*Дурыхин А.А., Хуртасенко А.В.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

*E-mail: durykhinandrey@mail.ru

ВЛИЯНИЕ СТРАТЕГИЙ ФРЕЗЕРОВАНИЯ НА ДЕФОРМАЦИИ ОБРАБАТЫВАЕМЫХ НЕЖЕСТКИХ ЭЛЕМЕНТОВ ДЕТАЛЕЙ ИЗ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ

Аннотация. В статье рассмотрены стратегии фрезерной обработки тонкостенных элементов деталей из алюминиевых сплавов и их влияние на статические деформации, возникающие в ходе резания.

Произведено моделирование нагружений заготовок в процессе обработки. При моделировании применены различные стратегии обработки для различных параметров тонкой стенки. Вариации стратегий обусловлены положением поддерживающего элемента относительно обрабатываемой поверхности или его отсутствием, а также геометрическими параметрами тонкостенного элемента. Предложен вариант модернизации стратегии обработки, заключающийся в использовании зигзагообразных рабочих проходов с наклоном фрезы по углу опережения в комплексе с обработкой с поддерживающими элементами. Изучены результаты конечно-элементного анализа, произведенного с использованием САПР Siemens NX. Проведено сравнение полученных данных между собой и с критическими справочными значениями механических свойств обрабатываемого материала.

Установлено, что использование стратегий с поддерживающими элементами и применение угла опережения инструмента способствует снижению статических деформаций материала заготовки в ходе процесса резания. Это приводит к сокращению количества чистовых проходов, и уменьшению времени обработки.

Ключевые слова: фрезерование, фрезерная обработка, нежесткий элемент, тонкая стенка, алюминиевый сплав, деформации, метод конечных элементов.

Введение. Оптимизация обработки резанием тонких перекрытий заключается в регулировании таких параметров как: остаточный припуск для чистового прохода, метод обработки углов и траектория инструмента.

Наиболее явно пронаблюдать оптимизацию обработки с целью сокращения отжата стенки возможно при применении иной траектории инструмента, которая приведет к повышению стабильности заготовки.

Использование различных стратегий фрезерования дает возможность подбора оптимальной траектории резания для минимизации напряжений, деформаций и как следствие оптимизации времени обработки.

Целью данной работы являлось моделирование вариаций процессов фрезерной обработки и изучения деформаций обрабатываемого нежесткого элемента для определения зависимостей величин деформаций и геометрических параметров тонкой стенки.

Методология. Нежесткие стенки можно отнести к одной из 3-х групп. Группировка производится по отношению высоты к толщине элемента:

- Элементы с малым отношением высоты к толщине $< 15:1$;
- Элементы со средним отношением высоты к толщине $< 30:1$;
- Элементы с большим отношением высоты к толщине $> 30:1$.

Для каждой из групп предполагается использование различных схем обработки стенок-перегородок [1].

Для деталей, имеющих малое отношение высоты к толщине стенки $< 15:1$ используют метод фрезерования с чередованием обработки сторон, с одинаковой глубиной резания, с перекрытием двух проходов обработки (рис. 1).

Метод обеспечивает поддержку материала в обрабатываемой точке. Припуск под последующую чистовую обработку оставляется с обеих сторон перегородки.

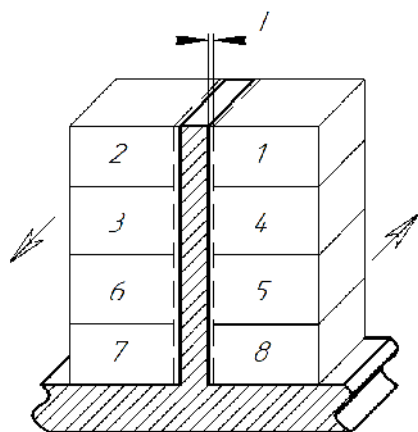


Рис. 1. Обработка с поддерживающими участками

Для деталей, со средним отношением высоты к толщине стенки $< 30:1$ проходы следует выполнять по траектории с перекрытием проходов (рис. 2).

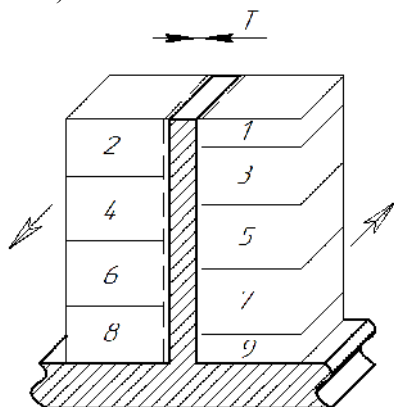


Рис. 2. Траектория обработки тонкой стенки с перекрытием проходов

Смысл метода в том, чтобы производить обработку проходами с разной начальной глубиной резания, перекрывающими друг друга относительно оси стенки, тем самым обеспечивая большую поддержку на последующий проход. Припуск для последующей чистовой обработки должен составлять не менее $0,2\text{--}1$ мм на сторону.

При обработке стенки с большим отношением высоты к толщине $> 30:1$ в дополнение к чередованию сторон при фрезеровании желаемая толщина стенки достигается поэтапно – «ёлочкой» (рис. 3).

В ходе обработки более тонкое сечение всегда опирается на расположенные ниже толстые сечения. Фрезерование выполняется сверху вниз по стенке.

В программе Siemens NX были созданы модели нагружения заготовки при обработке тонкостенных элементов для каждой из групп по отношению высоты к толщине. В качестве расчетного модуля используется NX Nastran для проведения конечно-элементного анализа процесса.

Для каждой группы смоделирована обработка с использованием двух стратегий – поочередная послойная обработка с обеих сторон

стенки и обработка с поддерживающими элементами.

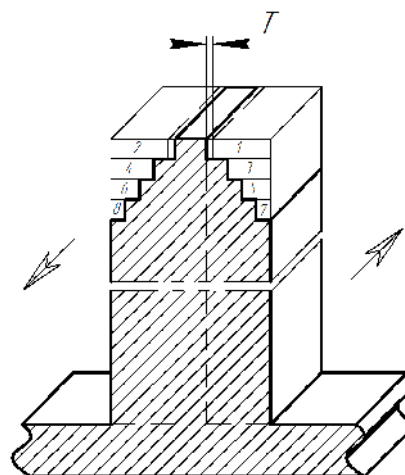


Рис. 3. Траектория обработки «Елочкой» с чередованием сторон стенки

Исследуемый конструктивный элемент – стенка с параметрами: $W = 5$ мм, $L = 200$ мм. Высота H варьируется для моделирования трех групп тонкостенных элементов – 75 мм, 150 мм и 225 мм. Боковые грани не зафиксированы, ограничение – заделка по нижней грани (рис. 4)

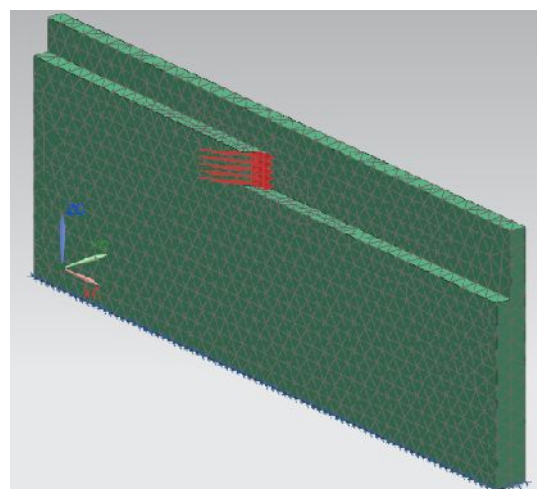


Рис. 4. Общая схема нагрузки заготовок

Моделируется черновой съем материала, т.к. при данной обработке на заготовку осуществляется максимальные силовые нагрузки, которые могут привести к деформации.

Основная часть. Актуальная схема чистовой обработки заключается в многопроходном поочередном фрезеровании каждой из сторон, и необходима для компенсации деформации и постепенного снятия внутренних напряжений [2–6].

Сокращение деформации и отжатий на черновом этапе обработки, снижает необходимость в корректировке получаемых геометрических параметров элемента, что в свою очередь миними-

зирует количество чистовых проходов, производимых для получения необходимой точности готового элемента. Сокращение количества чистовых проходов приводит к сокращению общего времени обработки, что является основным параметром оптимизации процесса механической обработки.

Режимы резания для обработки каждой группы не изменяются:

Глубина резания $t = 5$ мм, подача на зуб $S_z = 0,05$ мм/зуб, кол-во зубьев $z = 6$, диаметр фрезы $D = 12$ мм, частота вращения шпинделя $n = 4500$ об/мин.

Для определения силы, действующей на заготовку в зоне резания при снятии стружки, необходимо рассчитать составляющие силы резания (рис. 5).

Тангенциальная составляющая силы резания определяется по формуле (1), справочная информация с формулами и коэффициентами [7]:

$$P_z = \frac{10 \cdot C_p \cdot t^{x_p} S_z^{y_p} \cdot B_{\Phi}^{u_p} \cdot z}{D q p \cdot n^{w_p}} \cdot K_{mp} \quad (1)$$

$$P_z = 911 \text{ Н}$$

Суммарная окружная, или касательная, сила P_z и радиальная сила P_y имеют равнодействующую R , которую можно разложить на две

силы – горизонтальную P_r и вертикальную P_v [8, 9].

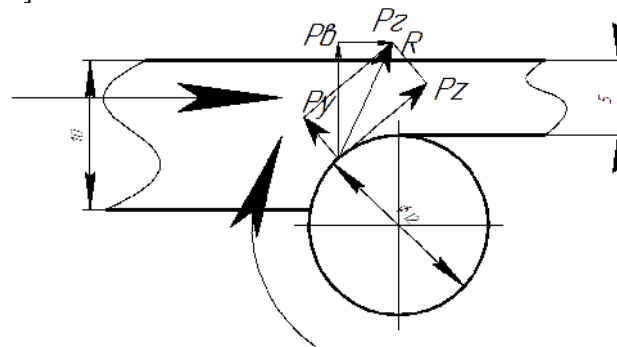


Рис. 5. Схема сил резания при попутном фрезеровании

При попутном фрезеровании, для усредненного расчета применяют соотношений (2) и (3):

$$P_r \approx (0,8 \div 0,9) P_z; \quad (2)$$

$$P_v \approx (0,75 \div 0,8) P_z; \quad (3)$$

Для моделирования приняты значения $P_r \approx 819,9$ Н, $P_v \approx 788,8$ Н, результирующая сила $R \approx 1549$ Н.

Результаты моделирования (рис. 6–8).

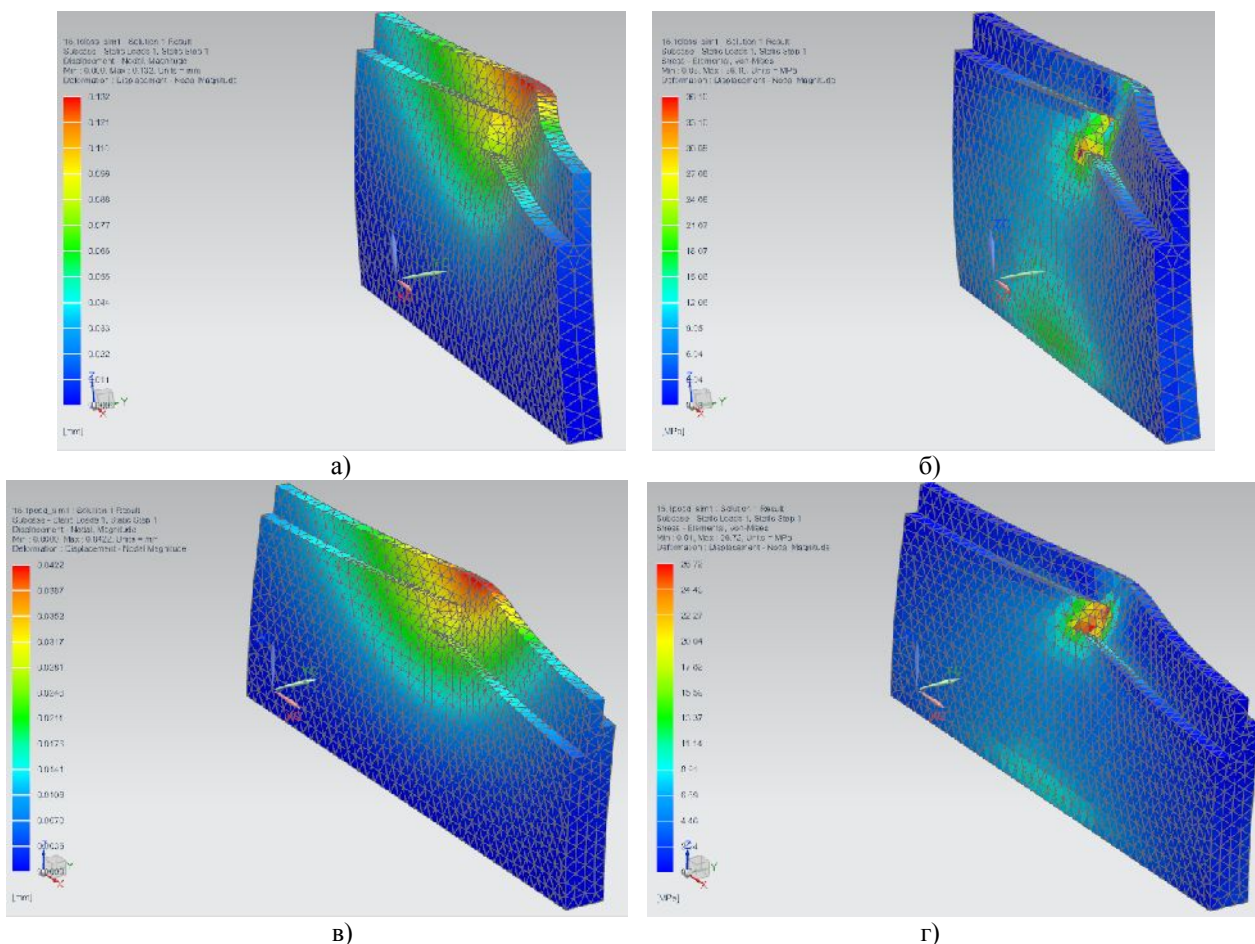


Рис. 6. Перемещение элементов и напряжения в узлах в процессе обработки стенки со средним отношением высоты к толщине $< 15:1$, а, б) – обработка без поддержек, в, г) – обработка с поддержкой

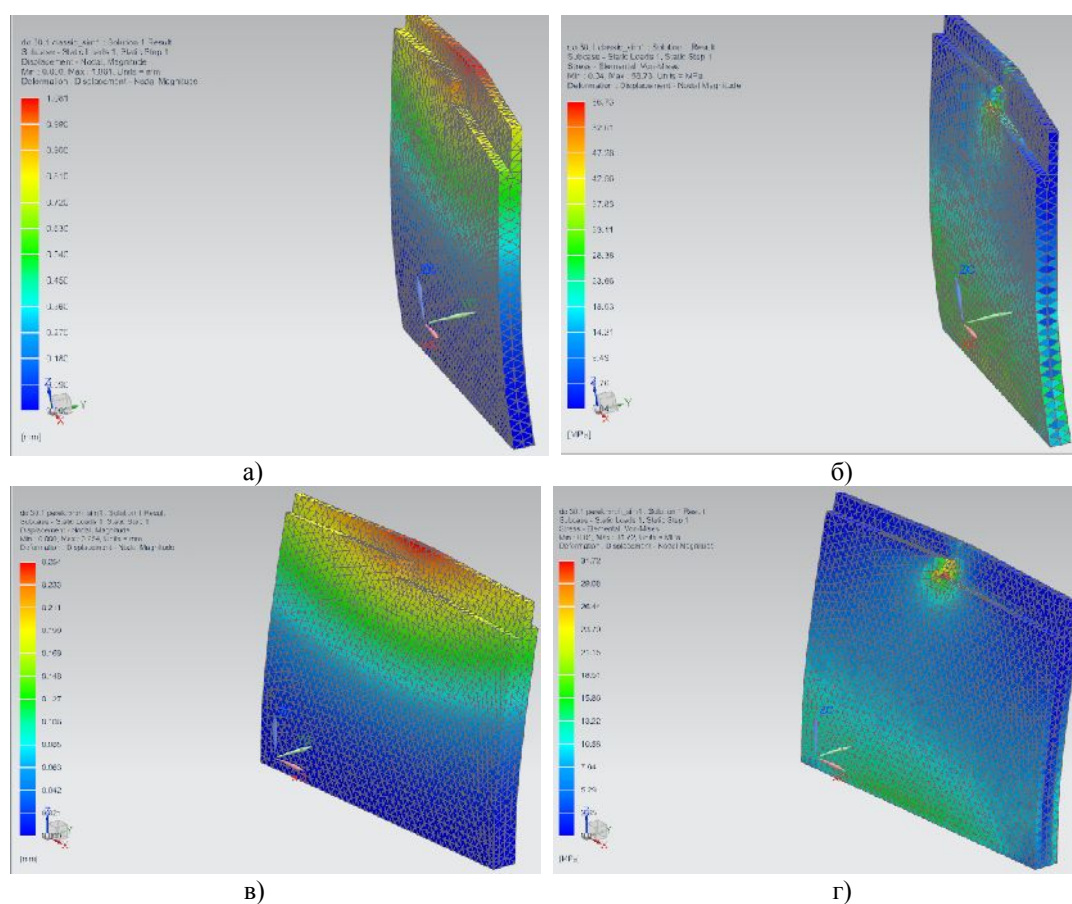


Рис. 7. Перемещение элементов и напряжения в узлах в процессе обработки стенки со средним отношением высоты к толщине $< 30:1$; а, б) – обработка без поддержек, в, г) – обработка с поддержкой

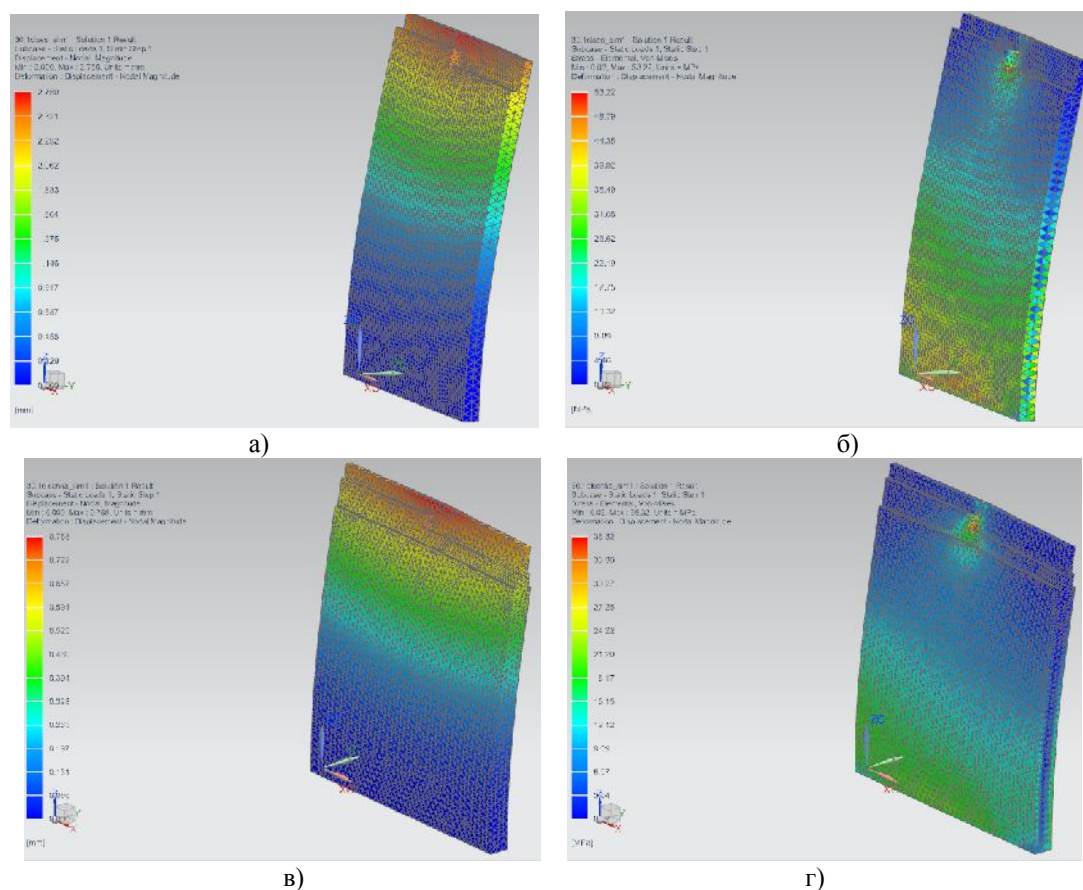


Рис. 8. Перемещение элементов и напряжения в узлах в процессе обработки стенки со средним отношением высоты к толщине $> 30:1$; а, б) – обработка без поддержек, в, г) – обработка с поддержкой

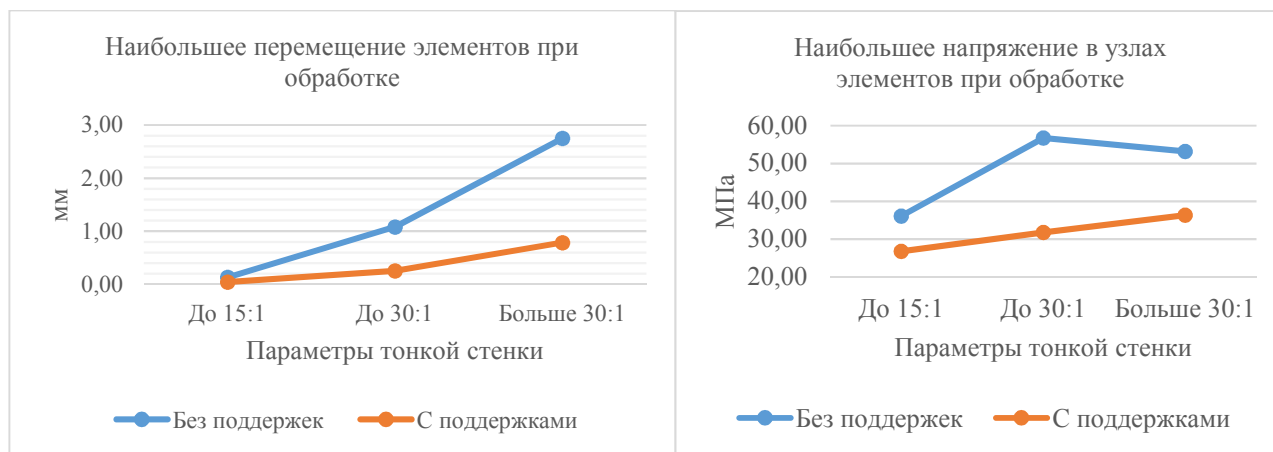


Рис. 9. Сравнение предельных значений перемещений элементов и напряжений в узлах по результатам КЭА разных стратегий фрезерования, для трех групп тонкостенных элементов

Для увеличения эффективности рассмотренных выше методов уменьшения деформаций, предполагается модернизация стратегий, заключающаяся в использовании зигзагообразных рабочих проходов, с наклоном

фрезы по углу опережения [10, 11] в комплексе с обработкой с поддерживающими элементами. Схема применена к тонкой стенке 2 группы, ежимы резания неизменны (рис. 10).

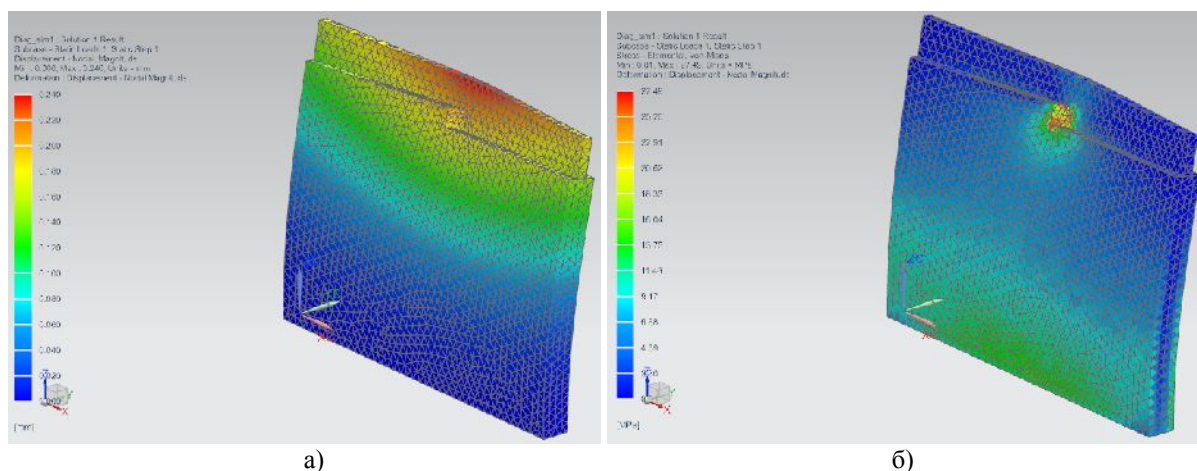


Рис. 10. Перемещение элементов (а) и напряжение в узлах (б) в процессе обработки стенки со средним отношением высоты к толщине < 30:1 с зигзагообразной траекторией

Полученные в ходе КЭА результаты: предельное перемещение элементов 0,240 мм; предельное напряжения по элементам 27,49 МПа.

Сравнивая максимальные значения исследуемых параметров, можно сделать вывод, что применение зигзагообразной стратегии, в комплексе с использованием поддерживающего элемента позволило снизить деформации при обработке тонкой стенки группы до 30:1 дополнительно на 5,5 %, при том, что значения угла опережения фрезы и осевого врезание в данном случае не оптимизированы, так как являются темой для отдельной работы, это дает предположение, о том что эффективность метода может быть увеличена.

Для того, чтобы не допустить разрушения заготовки в ходе обработки, есть необходимость сравнить максимальные полученные значения

перемещений в узлах со справочными пределами механических свойств обрабатываемого материала [12].

Значение предела текучести 6000 серии алюминиевых сплавов равное 50 МПа, и являющееся наименьшим из представленных дает понимание того, что процесс резания с использованием поддержек будет происходить без риска разрушения материала заготовки в ходе возникновения упругих деформаций. При этом обработка классическим методом может приводить к пластическим деформациям обрабатываемого элемента, при использовании мягких или термически необработанных алюминиевых сплавов.

Выводы.

1. Показано, что обработка тонкой стенки с поддержками значительно снижает показатели

деформации материала заготовки во время обработки.

2. Снижение показателей деформации приводят к снижению количества чистовых проходов для удаления погрешности, что приводит к снижению времени обработки.

3. Применение зигзагообразной стратегии обработки с использованием угла опережения инструмента снижает деформации. В опытном варианте снижения составило 5,5 %. Прогнозируется, что оптимизация режимов обработки приведет к уменьшению значения деформаций. Оптимизация режимов резания обработки с использованием угла опережения является темой для отдельного исследования.

4. Обработка классическим методом, без использования поддерживающих элементов может приводить к пластическим деформациям заготовки в зоне резания.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Инструкция по эксплуатации Sandvik Coromant. Обработка титана. Техническое руководство. AB Sandvikens Tryckeri. AB Sandvik Coromant 2011. С. 91–94.
2. Arnaud, L., Gonzalo, O., Seguy, S. et al. Simulation of low rigidity part machining applied to thin-walled structures. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology. 2011. Vol. 54. Pp. 479–488. DOI:10.1007/s00170-010-2976-9
3. Vincent Thévenot, Lionel Arnaud, Gilles Dessein, Gilles Cazenave-Larroche. Influence of material removal on dynamic behavior of thin walled structure in peripheral milling. 7th CIRP International Workshop on Modeling of Machining Operations, ENSAM Cluny, May 2004, Cluny, France. Pp. 243-249. fhal-01449170
4. Vincent Thévenot, Lionel Arnaud, Gilles Dessein, Gilles Cazenave-Larroche. Integration of dynamic behaviour in stability lobes method: 3D lobes construction and application to thin walled structure milling. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology. 2006. No. 27. Pp. 638–644.
5. Herranz S, Campa FJ, López de Lacalle LN, Rivero A, Lamikiz A, Ukar E, Sánchez JA, Bravo U. The milling of airframe components with low rigidity: a general approach to avoid static and dynamic problems. P I Mech Eng B J Eng Manuf. 2005. No. 219 Pp.789– 801.
6. Davies M.A., Balachandran B. Impact dynamics in milling of thin walled structures. Nonlinear Dyn. 2000. No. 22 Pp. 375–392.
7. Григорьев С.Н., Схиртладзе А.Г., Скрябин В.А. [и др.]. Резание материалов. Пенза: Приволжский Дом знаний, 2012. С. 217–226.
8. Блюмберг В.А., Зазерский Е.И. Справочник фрезеровщика. Л.: Машиностроение, 1984. С. 68–72.
9. Справочник технолога-машиностроителя: в 2 т. / под ред. А. М. Дальского, А. Г. Косиловой, Р. К. Мещерякова, А. Г. Сулова. - 5-е изд., испр. М.: Машиностроение, 2003. 944 с
10. Пономарев Б.Б., Нгуен Ши Хьен. Исследование динамики процесса пятикоординатного концевое фрезерования // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2019 № 7. С. 108–120. doi: 10.34031/article_5d35d0b677dc74.960436396
11. Пономарев Б.Б., Нгуен Ши Хьен. Влияние ориентации инструмента на силы резания при концевом фрезеровании // Известия высших учебных заведений. Машиностроение. 2019. №3, С. 11–20. doi: 10.18698/0536-1044-2019-3-11-20
12. Davis J.R. ASM Specialty Handbook: Aluminum and Aluminum Alloys. ASM International, 1993.

Информация об авторах

Дурыхин Андрей Андреевич, аспирант кафедры технологии машиностроения. E-mail: durykhinandrey@mail.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Хуртасенко Андрей Владимирович, кандидат технических наук, доцент кафедры технологии машиностроения. E-mail: hurtintbel@mail.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Поступила 18.05.2020

© Дурыхин А.А., Хуртасенко А.В., 2020

*Durykhin A.A., Hurtasenko A.V.

Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov

*E-mail: durykhinandrey@mail.ru

INFLUENCE OF MILLING STRATEGIES ON DEFORMATIONS OF NON-RIGID ELEMENTS OF ALUMINUM ALLOY PARTS

Abstract. The article considers strategies for milling thin-walled elements of aluminum alloy parts and their influence on static deformations that occur during cutting. The simulation of workpiece loading in the process of milling is produced. Different processing strategies for different parameters of the thin wall are applied in the simulation. Variations in strategies are caused by the position of the supporting element relative to the surface being machined or its absence, as well as by the geometric parameters of the thin-walled element. The modernization of the processing strategy is proposed, which consists in the use of zigzag working passes with the cutter tilt at the advance angle in combination with processing with supporting elements. The results of finite element analysis performed using the Siemens NX CAD system are studied. The obtained data are compared with each other and with critical reference values of the mechanical properties of the processed material. It is established that the use of strategies with supporting elements and use the applying of the tool lead angle allows to reduce the static deformation of the workpiece material during the cutting process. This leads to a decrease in the number of finishing passes and a reduction in processing time.

Keywords: milling, mill cutting, non-rigid element, thin wall, aluminum alloy, deformation, finite element method.

REFERENCES

1. Sandvik Coromant user manual. Titanium processing. Technical manual. [Instrukciya po ekspluatatsii Sandvik Coromant. Obrabotka titana. Tekhnicheskoe rukovodstvo]. AB Sandvikens Tryckeri. AB Sandvik Coromant 2011. Pp. 91–94. (rus)
2. Arnaud L., Gonzalo O., Seguy S. et al. Simulation of low rigidity part machining applied to thin-walled structures. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology. 2011. Vol. 54. Pp. 479–488. DOI:10.1007/s00170-010-2976-9
3. Vincent Thévenot, Lionel Arnaud, Gilles Dessein, Gilles Cazenave-Larroche. Influence of material removal on dynamic behavior of thin walled structure in peripheral milling. 7th CIRP International Workshop on Modeling of Machining Operations, ENSAM Cluny, May 2004, Cluny, France. Pp. 243–249. fhal-01449170
4. Vincent Thévenot, Lionel Arnaud, Gilles Dessein, Gilles Cazenave-Larroche. Integration of dynamic behaviour in stability lobes method: 3D lobes construction and application to thin walled structure milling. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology. 2006. No. 27. Pp. 638–644.
5. Herranz S, Campa FJ, López de Lacalle LN, Rivero A, Lamikiz A, Ukar E, Sánchez JA, Bravo U. The milling of airframe components with low rigidity: a general approach to avoid static and dynamic problems. P I Mech Eng B J Eng Manuf. 2005. No. 219. Pp.789– 801.
6. Davies MA, Balachandran B. Impact dynamics in milling of thin walled structures. Nonlinear Dyn. 2000, No. 22 Pp. 375–392.
7. Grigoriev S.N., Skhirtladze A.G., Scriabin V.A. [et al.]. Cutting materials [Rezanie materialov]: textbook. Penza: Volga House of Knowledge, 2012. Pp. 217–226. (rus)
8. Blyumberg V.A., Zazersky E.I. Milling machine reference book. [Spravochnik frezerovshchika]. L.: Engineering, 1984. Pp. 68–72. (rus)
9. Handbook of a technologist-machine builder [Spravochnik tekhnologa-mashinostroitelya]: Vol. 2, ed. A. M. Dalsky, A. G. Kosilova, R. K. Meshcheryakova, A. G. Suslova. 5th ed., Rev. M.: Mechanical Engineering, 2003 . 944 p. (rus)
10. Ponomarev B.B., Nguyen Sy Hien. Dynamics of five-axis end milling process [Issledovanie dinamiki processa pyatikoordinatnogo koncevogo frezerovaniya]. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2019. No. 7. Pp. 108–120. doi: 10.34031/article_5d35d0b677dc74.960436396 (rus)
11. Ponomarev B.B., Nguyen Sy Hien. The influence of Tool Orientation on Cutting Forces during End Milling [Vliyanie orientatsii instrumenta na sily rezaniya pri koncevom frezerovanii]. Proceedings of Higher Educational Institutions. Machine Building. 2019, No. 3. Pp. 11–20. doi: 10.18698/0536-1044-2019-3-11-20 (rus)
12. Davis J.R. ASM Specialty Handbook: Aluminum and Aluminum Alloys. ASM International, 1993.

Information about the authors

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

Hurtasenko, Andrey V. PhD. E-mail: hurtintbel@mail.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Received 18.05.2020

Для цитирования:

Дурыхин А.А., Хуртасенко А.В. Влияние стратегий фрезерования на деформации обрабатываемых нежестких элементов деталей из алюминиевых сплавов // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2020. № 7. С. 101–108. DOI: 10.34031/2071-7318-2020-5-7-101-108

For citation:

Durykhin A.A., Hurtasenko A.V. Influence of milling strategies on deformations of non-rigid elements of aluminum alloy parts. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2020. No. 7. Pp. 101–108. DOI: 10.34031/2071-7318-2020-5-7-101-108

DOI: 10.34031/2071-7318-2020-5-7-109-118

¹Макаров А.В., ²Кудряшов А.Е., ³Невежин С.В., ³Герасимов А.С., ^{1,*}Владимиров А.А.,
¹Авдеева Н.Е.¹Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) Национального исследовательского технологического университета «МИСиС»²НУЦ СВС МИСиС-ИСМАН Национального исследовательского технологического университета «МИСиС»,³ООО «ВВСТ»

*E-mail: vladimirov.al.an@yandex.ru

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕХНОЛОГИИ ЛАЗЕРНОЙ НАПЛАВКИ ДЛЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ РОЛИКОВ МАШИН НЕПРЕРЫВНОГО ЛИТЬЯ ЗАГОТОВОК

Аннотация. В статье рассмотрена возможность применения технологии лазерной наплавки для восстановления роликов машин непрерывного литья заготовок. Кратко представлены эффективные методы восстановительной наплавки роликов машин непрерывного литья заготовок. Представлено описание процесса формирования покрытий для роликов методами восстановления лазерной и электродуговой наплавками. Описано лабораторное оборудование для подготовки экспериментальных образцов для металлографических исследований. Описана методика подготовки лабораторных образцов покрытий, полученных лазерной и электродуговой наплавками. Электродуговую наплавку образцов из стали 20Х13 осуществляли порошковой проволокой ПП-Нп-25Х5ФМС. Лазерную наплавку образцов из стали 20Х13 осуществляли экономнолегированным порошком на основе железа Fe-Co-Cr-Mo. Исследованы структура и состав наплавленных покрытий методами электродуговой и лазерной наплавки для роликов машин непрерывного литья заготовок. Изучены механические свойства нанесенных покрытий для роликов. Исследованы трибологические характеристики, нанесенных методами электродуговой и лазерной наплавки покрытий. Для оценки свойств покрытий выполнен структурный и фазовый анализ, определены коэффициенты трения и интенсивность изнашивания. Представлены графические изображения структур наплавленных слоев. Представлены зависимости коэффициента трения наплавленных слоев и проанализировано их различие для каждого из методов наплавки. Предложено объяснение различий в свойствах покрытий, основанное на анализе условий их формирования. Произведена оценка эффективности применения метода лазерной наплавки для восстановления деталей металлургического оборудования.

Ключевые слова: машина непрерывного литья заготовок, ролики, износ, восстановление, лазерная наплавка, электродуговая наплавка, износостойкость.

Введение. Прогресс в сталеплавильном производстве тесно связан с внедрением машин непрерывного литья заготовок (МНЛЗ). Планируется в 2020 году увеличить долю разлива стали на МНЛЗ до 98–99 % [1].

Важными элементами криволинейных МНЛЗ являются роликовые проводки.

Ролики МНЛЗ подвержены воздействию следующих основных факторов: термической усталости металла, вызванной высокотемпературным термоциклированием; механическому воздействию со стороны литой заготовки, обусловленному ее весом и нагрузкой от действия ферростатического давления; высокотемпературному окислению и коррозии.

Для изготовления роликов МНЛЗ в отечественном машиностроении, как правило, используют стали жаропрочных марок, такие как 20Х13, 25Х1М1Ф, 40ХГНМ, 24ХМ1Ф [2, 3].

В связи с чем, работы по увеличению стойкости роликов являются актуальными.

Одним из эффективных направлений повышения стойкости роликов является применение восстановительной наплавки. Наиболее распространенной является метод электродуговой наплавки под флюсом.

Для осуществления восстановительной наплавки роликов МНЛЗ применяются сплошные и порошковые проволоки (ленты), такие как Св-20Х13, ПП-Нп-25Х5ФМС, ASM 4603SA, Велтек Н470С и др. [4–10]. На сегодняшний день нет единого решения вопроса о выборе системы легирования проволок для восстановительной наплавки [11]. Условия производства, как правило, уникальны для каждого конкретного предприятия и определяются наличием того или иного оборудования в ремонтных цехах, условиями эксплуатации восстановленных изделий, опытом и квалификацией производственного персонала.

Для металлургических предприятий актуальной задачей является не только восстановле-

ние геометрических параметров изношенных поверхностей роликов, но и создание таких эксплуатационных характеристик поверхностного слоя, которые позволят существенно повысить межремонтный интервал указанных деталей при сохранении экономической целесообразности их восстановления.

В последние годы металлургическими предприятиями проводятся исследования возможности применения для восстановления роликов новых эффективных технологий и материалов, например, плазменно-порошковой наплавки, лазерной наплавки, высокоскоростного напыления, напыления с последующим оплавлением, опыт использования которых описан в работах [12–17].

В 2014 г. компаниями Precitec и Laser Line совместно с Swansea University по заказу сталелитейной компании Tata Steel Strip Products UK были исследованы возможности лазерной наплавки для восстановления и упрочнения узлов металлургического и вспомогательного оборудования. Осуществленные комплексные исследования структуры, физико-механических и служебных свойств покрытий, а также результаты промышленных испытаний роликов МНЛЗ,

восстановленных по технологии лазерной наплавки порошковым материалом, разработанным Swansea University, показали существенное увеличение их стойкости по сравнению с базовой технологией восстановления – электродуговой наплавкой под флюсом. Стойкость роликов, наплавленных под флюсом, составила 63000 т стали, в то время как для роликов, наплавленных лазером, она составила 118000...148000 т [18].

НИТУ «МИСиС» совместно с компанией ООО «ВВСТ» был проведен комплекс исследований, направленных на изучение возможности восстановления роликов МНЛЗ (рис. 1), изготовленных из стали 20Х13 с лазерной наплавкой из экономнолегированного порошкового материала на основе железа. В настоящее время изношенные поверхности данных роликов восстанавливаются методом электродуговой наплавки проволокой ПП-Нп-25Х5ФМС. Перед авторами ставится задача повысить износостойкость наплавленных поверхностей ролика в два раза и более при сохранении экономической целесообразности.

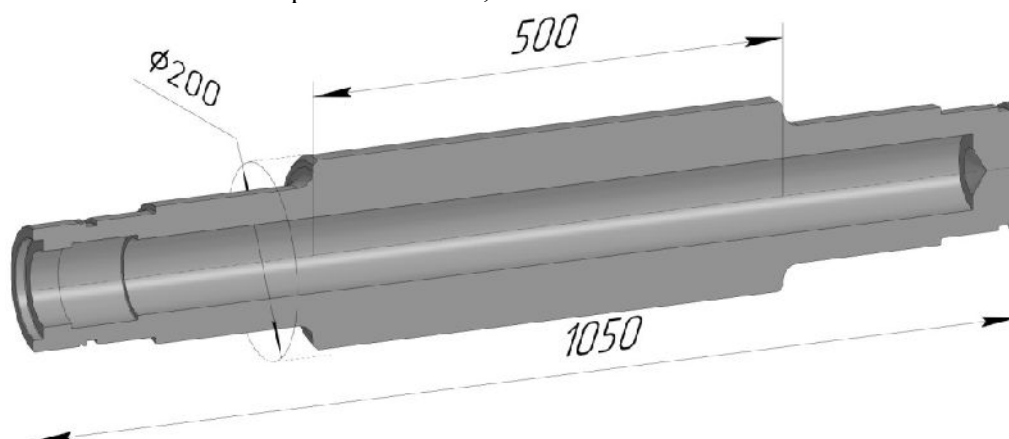


Рис. 1. Ролик третьей секции МНЛЗ №2 АО «Оскольский электрометаллургический комбинат»

Целью данной работы являлось изучение структуры, состава и свойств слоев, полученных по технологиям лазерной и электродуговой наплавки, а также оценка эффективности лазерной наплавки.

Материалы и методы. Лабораторные исследования проводились на образцах (подложках) для наплавки из стали 20Х13 в состоянии поставки. Размер образцов – $\varnothing 60 \times 60$ мм.

Методом электродуговой наплавки в 3 слоя под флюсом марки АН-20С на образцы наплавливали порошковую проволоку ПП-Нп-25Х5ФМС. Наплавка производилась на установке УСН 60-550/1400 SAW. Отпуск образцов для снятия остаточных напряжений производился в муфельной электрической печи ЭКПС-10 при температуре

400 °С в течение 3 часов с последующим охлаждением вместе с печью.

На образцы методом лазерной наплавки наносился порошок экономнолегированный (ПЭЛ1) на основе железа с системой легирования Fe-Co-Cr-Mo. Последующая термическая обработка не проводилась.

Образцы разрезали на многофункциональном отрезном станке LC-250. Резка осуществлялась отрезным диском из абразива Al_2O_3 марки Struers 50A30. Размер образцов для исследований $21 \times 21 \times 5$ мм.

Шлифы готовили на полировальной машине Struers Roto Pol-21 в автоматическом режиме. При шлифовании применялись последовательно шлифовальные бумаги Struers с зернистостью

карбида кремния (SiC) 120, 220, 500, 800, 1200, 4000.

Полирование образцов проводили с помощью суспензии из коллоидного оксида кремния О-PS для финишной полировки с размером зерна 0,04 мкм.

Твердость образцов с наплавленными слоями измерялась согласно ГОСТ 9013-59 на твердомере ТР 5006.

Микроструктура наплавленных слоев исследовалась на оптическом микроскопе Neophot-32 и сканирующем электронном микроскопе Hitachi S-3400N, оснащенный рентгеновским энергодисперсионным спектрометром NORAN.

Рентгеноструктурный фазовый анализ образцов с наплавленными слоями проводился на дифрактометре ДРОН-4 с использованием монокроматического Co-K α излучения (длина волны 1.79021 Å) и Cu-K α излучения (длина волны 1.54178 Å). Съемка проводилась в режиме шагового сканирования в интервале углов $2\Theta = 10^\circ \dots 130^\circ$, шаг съемки составлял $0,1^\circ$, экспозиция – 2...4 с.

Обработка спектров проводилась при помощи программ качественного PHAN и количественного анализа PHAN%, разработанных в НИТУ «МИСиС».

Трибологические свойства образцов с наплавленными слоями оценивали в соответствии с международными стандартами ASTM G

99-959 и DIN 50324 на высокотемпературной машине трения High temperature Tribometer CSM Instruments по схеме pin-on-disk. В качестве контртела применяли шарик из Al₂O₃ диаметром 6 мм. Линейная скорость скольжения образцов выбрана равной 10 см/с, нагрузка – 5 Н. Зависимость коэффициента трения трущейся пары от длины пробега контртела, равной 500 м, строилась на компьютере с помощью программного обеспечения InstrumX.

Температура трибологических испытаний составляет 500 °С, что соответствует температуре на поверхности роликов МНЛЗ №2 АО «ОЭМК», измеренной тепловизором SDS Hot Find-DXT [2].

Профиль дорожки износа исследовали на оптическом профилометре Veeco Wyco NT 1100.

Скорость износа определяли по формуле:

$$W = s \cdot L / (H \cdot l) \quad (1)$$

где W – скорость износа, $\text{мм}^3 \cdot \text{Н}^{-1} \cdot \text{м}^{-1}$; L – длина окружности, мм; s – площадь сечения износа канавки, мм^2 ; H – нагрузка, Н; l – путь трения, м.

Результаты и обсуждение. Установлено, что твердость наплавленных слоев составила 43 HRC при лазерной наплавке материала ПЭл1 и 50 HRC – при электродуговой наплавке под флюсом материала ПП-Нп-25Х5ФМС.

Структура наплавленного слоя после лазерной наплавки приведена на рис. 2а, состав представлен в табл. 1.

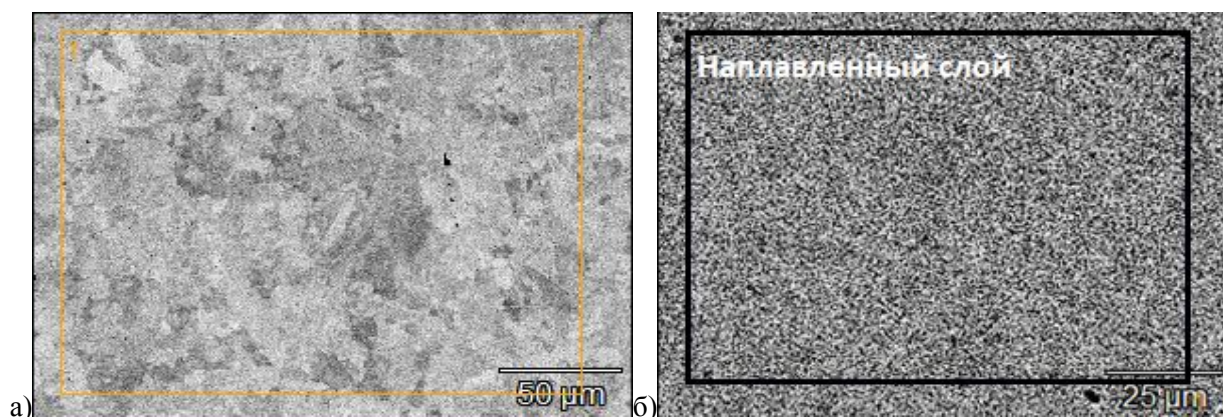


Рис. 2. Структура наплавленного слоя: микрорентгеновый спектральный анализ: а – лазерная наплавка материала ПЭл 1; б – электродуговая наплавка под флюсом ПП-Нп-25Х5ФМС

Таблица 1

Элементный состав слоя наплавленного лазером слоя ПЭл1 (рис. 2а)

Область	C-K	O-K	Cr-K	Fe-K	Co-K	Mo-L
1	1,8	14,1	13,1	67,9	2,2	0,9

На рис. 2б приведена структура наплавленного слоя ПП-Нп-25Х5ФМС, а в табл. 2 приведен его элементный состав.

Фазовый состав наплавленных слоев приведен в табл. 3. Выявлено, что наплавленные слои состоят из двух фаз, основной фазой в образцах α -Fe (мартенсит).

Таблица 2

Элементный состав слоя наплавленного ПП-Нп-25Х5ФМС (рис. 2б)

Область	O-K	Cr-K	Mn-K	Fe-K
1	27,8	0,9	0,5	70,7

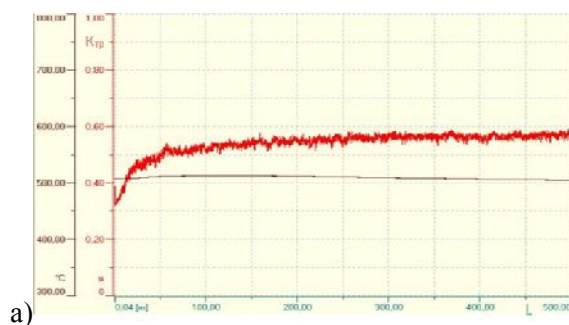
Таблица 3

Фазовый состав наплавленных слоев

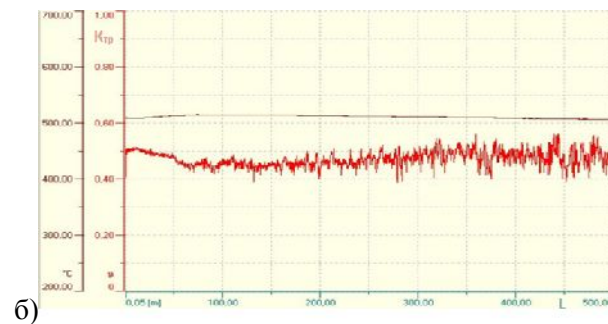
Наплавленный материал	Фаза	Структурный тип	Символ Пирсона	Весовая доля, %	Периоды, Å
ПЭл1	α -Fe	type A2	cI2/1	82	a = 2.880
	γ -Fe	type A1	cF4/1	18	a = 3.593
ПП-Нп-25Х5ФМС	α -Fe	type A2	cI2	98	a = 2.872
	γ -Fe	type A1	cF4	2	a = 3.587

Коэффициент трения $K_{тр}$ в паре образец наплавленный лазером материал ПЭл1 – контртело после 500 м испытаний составляет 0,59 (рис. 3а), в паре образец 25Х5ФМС – контртело – 0,5 (рис. 3б), при этом для покрытия, наплавленного лазером, не наблюдается скачкообразных изменений коэффициента трения, фиксируемых для образца, полученного при помощи дуговой наплавки. Вероятно, больший коэффициент трения для покрытия, наплавленного лазером, обусловлен образованием на его поверхности более

тонкой пленки оксидов хрома при повышенной температуре. В то же время, на поверхности покрытия, полученного при помощи дуговой наплавки, при повышенной температуре вероятнее всего образуется толстая пленка оксидов железа (вюстит, магнетит, гематит), что обусловлено различиями в системе легирования наплавляемых материалов. Толстые оксидные пленки могут выступать в роли твердой смазки и непосредственно влиять на величину коэффициента трения.



а)



б)

Рис. 3. Зависимость коэффициента трения наплавленных слоев от длины пробега контртела:
а – лазерная наплавка материала ПЭл1; б – электродуговая наплавка 25Х5ФМС

Профиль дорожки износа образца из ПЭл1 и ее трехмерное изображение приведены на рис. 4. Скорость износа образца составляет $58,9 \cdot 10^{-6} \text{ мм}^3 \cdot \text{Н}^{-1} \cdot \text{м}^{-1}$.

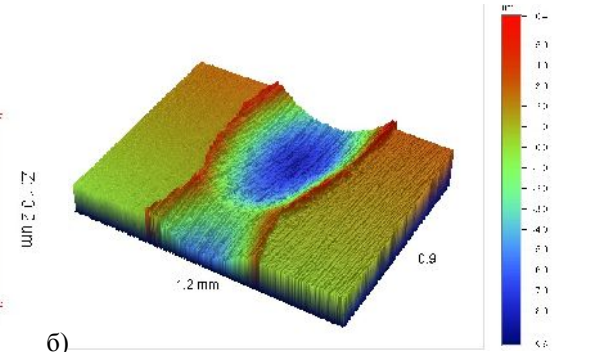
Профиль дорожки износа образца образца 25Х5ФМС и ее трехмерное изображение приведены на рис. 5. Скорость износа образца с

наплавленным слоем составляет $292,5 \cdot 10^{-6} \text{ мм}^3 \cdot \text{Н}^{-1} \cdot \text{м}^{-1}$.

Как видно, образец с лазерной наплавкой материала ПЭл 1, характеризуются более низкой в 4,95 раза скоростью износа по сравнению с образцом с наплавленным слоем порошковой проволокой 25Х5ФМС.



а)



б)

Рис. 4. Профиль дорожки износа образца с наплавленным слоем ПЭл1 (а) и ее трехмерное изображение (б)

Вероятно, более низкая скорость износа покрытий обусловлена особенностями лазерной

наплавки. Так, точная дозировка энергии лазерного излучения позволяет обеспечить степень пе-

ремешивания наплавляемого материала с основным не более 3...7 % при величине зоны термического влияния не более 500 мкм, а также обеспечить сверхвысокие скорости охлаждения и

кристаллизации наплавляемого металла, более 103...104 °C/с.

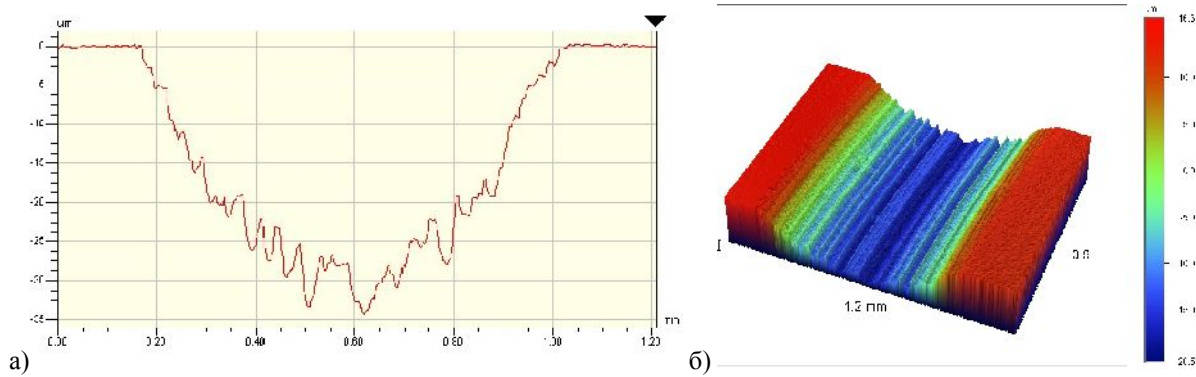


Рис. 5. Профиль дорожки износа образца с наплавленным слоем ПП-Нп-25Х5ФМС (а) и ее трехмерное изображение (б)

Скорость кристаллизации наплавляемого металла определяет его фазовый и структурный состав, а, следовательно, и стойкость к износу, как структурно-чувствительную характеристику. В частности, более высокие скорости кристаллизации обуславливают повышение дисперсности образующихся упрочняющих фаз, определяющих износостойкость покрытий.

Локальное поле напряжений, существующее вокруг частиц упрочняющих фаз, затрудняет движение дислокаций при пластической деформации, предшествующей разрушению металлической матрицы твердого раствора, тем самым затрудняя ее изнашивание [19]. Предположительно, более высокая дисперсность упрочняющих фаз, образующихся при лазерной наплавке покрытий, позволяет им лучше выполнять функции барьеров и противостоять износу.

Кроме того, для разработанного экономно-легированного порошка на основе железа реализован эффект, полученный в работе [20] для дорогостоящих порошков на основе никеля. В частности, за счет легирования порошка кобальтом увеличена стойкость получаемых покрытий к высоко-температурному износу и механизм износа изменен с абразивного, наблюдаемого для образца, наплавленного под флюсом, на адгезионный для образца наплавленного лазером (см. профиль дорожки износа образца на рис. 5 и 6 соответственно).

По результатам лабораторных исследований было принято решение восстановить опытную партию роликов третьей секции МНЛЗ №2 АО «ОЭМК» методом лазерной наплавки материала ПЭЛ1 на оборудовании и по технологии, разработанной ООО «ВВСТ».

При помощи лазерной наплавки с использованием волоконного лазера и шестиосевого промышленного робота в автоматизированном режиме были получены покрытия толщиной ~3,5 мм (рис. 6), последующая термическая обработка не проводилась. Вследствие малой шероховатости покрытия припуск на обработку составил 0,5 мм (при наплавке под флюсом 3...6 мм), шероховатость поверхности после механической обработки $Ra = 3,2$ мкм, трещин и отслоений не обнаружено.

За счет снижения времени на термическую и механическую обработку технология лазерной наплавки позволяет, в сравнении с базовым вариантом наплавки под флюсом, снизить затраты на ремонт роликов МНЛЗ примерно на 50 % при возможности выполнения многократного ремонта.

В настоящее время ролики МНЛЗ восстановленные методом лазерной наплавки материала ПЭЛ1 готовятся к промышленным испытаниям на третьей секции МНЛЗ №2 АО «Оскольский электрометаллургический комбинат».

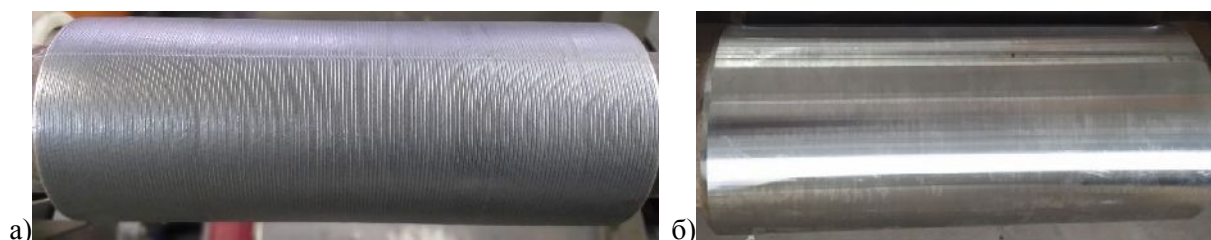


Рис. 6. Ролик третьей секции МНЛЗ №2 АО «ОЭМК», восстановленные методом лазерной наплавки материала ПЭЛ1: а – после наплавки, б – после механической обработки

Выводы.

1. Установлено, что образцы покрытий, полученные при помощи дуговой и лазерной наплавки, имеют различные коэффициенты трения при повышенной температуре (500 °С) и сопоставимых нагрузках (5 Н) и скоростях скольжения (10 см/с) – 0,5 и 0,59 соответственно. Вероятно, это обусловлено различиями в системе легирования наплавляемых материалов. Толстые оксидные пленки железа, образующиеся на поверхности покрытия, наплавленного дугой и порошковой проволокой 25Х5ФМС, могут выступать в роли твердой смазки и непосредственно влиять на величину коэффициента трения, в то время как более тонкие оксидные пленки хрома, образующиеся на поверхности покрытия, наплавленного лазером из порошка ПЭл1 (Fe-Co-Cr-Mo) – нет.

2. Образец с лазерной наплавкой из материала ПЭл1, характеризуется более низкой в 4,95 раза скоростью износа по сравнению с образцом с наплавленным порошковой проволокой 25Х5ФМС покрытием. По-видимому, это обусловлено сверхвысокими скоростями охлаждения и кристаллизации металла, наплавляемого лазером и повышением дисперсности образующихся упрочняющих фаз, определяющих износостойкость покрытий.

3. За счет легирования порошка кобальтом увеличена стойкость получаемых покрытий к высокотемпературному износу и механизм износа изменен с абразивного, наблюдаемого для образца, наплавленного под флюсом, на адгезионный для образца, наплавленного лазером, о чем свидетельствует профиль дорожки износа образцов.

4. При помощи волоконного лазера и 6-осевого промышленного робота в автоматизированном режиме были получены покрытия толщиной ~3,5 мм на сторону без последующей термической обработки. Вследствие малой шероховатости покрытия припуск на обработку составил 0,5 мм (при наплавке под флюсом 3...6 мм), шероховатость поверхности после механической обработки $Ra = 3,2$ мкм. Было установлено, что за счет снижения времени на термическую и механическую обработку технология лазерной наплавки позволяет, в сравнении с базовым вариантом наплавки под флюсом, существенно сократить затраты на ремонт роликов МНЛЗ при возможности выполнения многократного ремонта.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Стратегия развития черной металлургии России на 2014–2020 годы и на перспективу до 2030 года (утв. приказом Министерства промышленности и торговли РФ от 5 мая 2014 г. № 839).

2. Репников Н.И., Макаров А.В., Кудряшов А.Е., Бойко П.Ф., Мамкин В.А. Определение перспективных наплавочных материалов для восстановления роликов вторичного охлаждения МНЛЗ с использованием структурных и трибологических методов исследований // Современные проблемы горно-металлургического комплекса. Наука и производство: материалы тринадцатой Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. Т. 1. 2016. С. 280–284.

3. Кирчу И.Ф., Степанова Т.В., Супрун М.В. Опыт применения роликов из стали 25Х2Г1АФ на слябовой МНЛЗ // Сталь. 2015. № 1. С. 68–72.

4. Красильников С.Г., Окунев Ю.В., Пантелеймонов В.А., Шаповалов К.П., Орлов Л.Н., Голякевич А.А. Применение порошковой проволоки ООО «ТМ ВЕЛТЕК» в производстве металлоконструкций ЗАО «НКМЗ» // Сварщик. 2007. № 1 (53). С. 6–9.

5. Березовский А.В. Наплавочные материалы для упрочнения роликов МНЛЗ // Инновации в материаловедении и металлургии: материалы I международной интерактивной научно-практической конференции. Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2012. Ч. 1. С. 34–37.

6. Мазур Н.В., Подосян А.А., Огарков Н.Н. Исследования свойств материалов роликов МНЛЗ // Процессы и оборудование металлургического производства: Межрегион. сб. науч. тр. / Под ред. Железкова О.С. Вып. 7. Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ». 2006. С. 48–53.

7. Огарков Н.Н., Мазур Н.В., Завьялова Н.В. Определение срока службы роликов МНЛЗ // Процессы и оборудование металлургического производства: Межрегион. сб. науч. тр. / Под ред. Железкова О.С. Вып. 7. Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ». 2006. С. 53–57.

8. Огарков Н.Н., Суфьянов Д.В., Мазур Н.В. Исследование качества наплавленного слоя после электроконтактной обработки // Современные технологии обработки металлов с применением инструментов из сверхтвердых материалов – новые технологии и направления. Труды 5-го Международного семинара: сб. науч. тр. Вып. 1. Магнитогорск ГОУ ВПО «МГТУ». 2007. С. 53–58.

9. Макаров А.В., Кудряшов А.Е., Владимиров А.А., Титова А.П. Применение наплавочных материалов, модифицированных тугоплавкими компонентами, для восстановления роликов машин непрерывного литья заготовок // Вестник Брянского государственного технического университета. 2019. № 8 (81). С. 41–48.

10. Коротков В.А., Михайлов И.Д., Бабайлов Д.С. Исследование наплавленного слоя опорных

роликов машин непрерывного литья заготовок // Сварочное производство. 2007. № 1. С. 30–33.

11. Якушин Б.Ф., Цирков П.А. Особенности технологии дуговой наплавки роликов для установок непрерывной разливки сталей // Сварка и диагностика. 2009. № 5. С. 35–40.

12. Ибатов М.К., Кривцова О.Н., Жунусов Ж.А. Выбор эффективного способа поверхностной обработки упрочнения роликов роллганга // Вестник Карагандинского государственного индустриального университета. 2015. № 4. С. 25–29.

13. Filatov S.V., Dagman A.I., Karavaev V.N. et al. The NLMK's Experience of Operating Slab CCM Molds with Improved Wall Design. Metallurgist 62. 2018. Pp. 58–61.

14. Kadoshnikov V.I., Platov S.I., Terent'ev V.D. et al. Improving the durability of the initial sections of continuous casters Nos. 2 and 3 at the Magnitogorsk Metallurgical Combine. Metallurgist 51. 2007. Pp. 216–219.

15. Kudryashov A.E., Zamulaeva E.I., Levashov E.A., Kiryukhantsev-Korneev F.V., Sheveiko A.N., Shvyndina N.V. Application of electrospark deposi-

tion and modified SHS electrode materials to improve the endurance of hot mill rolls. Part 2. Structure and properties of the formed coatings. Surface Engineering and Applied Electrochemistry. 2019. № 55. Pp. 502–513.

16. Sanz A. New coatings for continuous casting rolls. Surface and Coatings Technology. 2004. № 177–178. Pp. 1–11.

17. Lester S., Longfield N., Griffiths J., Cocker J., Staudenmaier C., Broadhead G. New Systems for Laser Cladding. Laser Technik Journal. 2013. 10. 10.1002/latj.201390037.

18. Ray A. et al. Laser cladding of continuous caster lateral rolls: Microstructure, wear and corrosion characterisation and on-field performance evaluation. Journal of Materials Processing Technology. 2014. № 214. Pp. 1566–1575.

19. Крагельский И.В. Трение и износ. Беларусь: Институт механики металлополимерных систем им. В.А. Белого, 2008. 224 с.

20. Wang K. et al. Effect of Cobalt on Microstructure and Wear Resistance of Ni-Based Alloy Coating Fabricated by Laser Cladding. Metals 7. 2017. № 551. Pp. 1–12.

Информация об авторах

Макаров Алексей Владимирович, кандидат технических наук. Заведующий кафедрой технологии и оборудования в металлургии и машиностроении им. В.Б. Крахта. E-mail: makarov.av@mail.ru. Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) Национального исследовательского технологического университета «МИСиС». Россия, 309516 г. Старый Оскол, Белгородская обл. м-н Макаренко 42.

Кудряшов Александр Евгеньевич, кандидат технических наук. Ведущий научный сотрудник НУЦ СВБ МИСиС-ИСМАН. E-mail: aekudr@yandex.ru. Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС». Россия, 119049, г. Москва, Ленинский проспект, 4.

Невежин Станислав Владимирович, кандидат технических наук. Заместитель генерального директора. E-mail: snevezhin@gmail.com. ООО «ВВСТ». Россия, 142108, г. Подольск, Бородинский бульвар, 2.

Герасимов Андрей Сергеевич, Генеральный директор. E-mail: vvstmsk@mail.ru. ООО «ВВСТ». Россия, 142108, г. Подольск, Бородинский бульвар, 2.

Владимиров Александр Андреевич, кандидат технических наук, ассистент кафедры технологии и оборудования в металлургии и машиностроении им. В.Б. Крахта. E-mail: vladimirov.al.an@yandex.ru. Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) Национального исследовательского технологического университета «МИСиС». Россия, 309516 г. Старый Оскол, Белгородская обл. м-н Макаренко 42.

Авдеева Нелли Егоровна, аспирант кафедры технологии и оборудования в металлургии и машиностроении им. В.Б. Крахта. E-mail: nelli_avdeeva@mail.ru. Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) Национального исследовательского технологического университета «МИСиС». Россия, 309516 г. Старый Оскол, Белгородская обл. м-н Макаренко 42.

Поступила 27.05.2020

© Макаров А.В., Кудряшов А.Е., Невежин С.В., Герасимов А.С., Владимиров А.А., Авдеева Н.Е., 2020

¹Makarov A.V., ²Kudryashov A.E., ³Nevezhin S.V., ³Gerasimov A.S., ^{1,*}Vladimirov A.A.,
¹Avdeeva N.E.

¹Star Oskol Technological Institute. A.A. Ugarova (branch) of the National Research Technological University "MISiS" Russia

²NUTS SHS MISiS-ISMAN National Research Technological University "MISiS"

³LLC "VVST",

*E-mail: vladimirov.al.an@yandex.ru

PROSPECTS FOR THE APPLICATION OF LASER SURFACE TECHNOLOGY FOR RESTORING ROLLERS OF CONTINUOUS CASTING MACHINES

Abstract. The article considers the possibility of applying laser cladding technology to restore the rollers of continuous casting machines. Effective methods of restorative surfacing of rollers of continuous casting machines are briefly presented. The paper describes the process of forming coatings for rollers using laser and electric arc surfacing methods. Laboratory equipment for preparing experimental samples for metallographic studies is described. The method of preparation of laboratory samples of coatings obtained by laser and electric arc surfacing is described. Electric arc surfacing of 20X13 steel samples is performed with PP-NP-25X5FMS powder wire. Laser surfacing of samples made of 20X13 steel is performed with an economically alloyed powder based on Fe-Co-Cr-Mo iron. The structure and composition of surfaced coatings by electric arc and laser surfacing methods for rollers of continuous casting machines are studied. The mechanical properties of the applied coatings for the rollers are studied. Tribological characteristics of coatings applied by electric arc and laser surfacing methods are investigated. To evaluate the properties of coatings, a structural and phase analysis is performed, and the friction coefficients and wear rate are determined. Graphic images of the deposited layer structures are presented. The dependences of the friction coefficient of the deposited layers are presented and their differences for each of the surfacing methods are analyzed. An explanation of the differences in the properties of coatings based on the analysis of their formation conditions is offered. The efficiency of using the laser surfacing method for restoring parts of metallurgical equipment is evaluated.

Keywords: continuous casting machine, rollers, wear, recovery, laser surfacing, electric arc surfacing, wear resistance.

REFERENCES

1. The development strategy of ferrous metallurgy in Russia for 2014–2020 and for the long term until 2030 (approved by order of the Ministry of Industry and Trade of the Russian Federation dated May 5, 2014 No. 839) [Strategiya razvitiya chernoy metallurgii Rossii na 2014–2020 gody i na perspektivu do 2030 goda (utv. prikazom Ministerstva promyshlennosti i torgovli RF ot 5 maja 2014 g. №839)]. (rus)
2. Repnikov N.I., Makarov A.V., Kudryashov A.E., Boyko P.F., Mamkin V.A. Identification of promising surfacing materials for the restoration of secondary cooling rollers for continuous casting machines using structural and tribological research methods [Opredelenie perspektivnykh naplavochnykh materialov dlja vosstanovleniya rolikov vtorichnogo ohlazhdeniya MNLZ s ispol'zovaniem strukturnykh i tribologicheskikh metodov issledovaniy]. Sovremennye problemy gorno-metallurgicheskogo kompleksa. Nauka i proizvodstvo: materialy trinahtoj Vserossijskoj nauchno-prakticheskoy konferencii s mezhdunarodnym uchastiem. 2016. Vol. 1. Pp. 280–284. (rus)
3. Kirchu I.F., Stepanova T.V., Suprun M.V. The experience of using rollers from steel 25Cr2Mn1NW on slab caster [Opyt primeneniya rolikov iz stali 25H2G1AF na sljabovoj MNLZ]. Steel. 2015. No. 1. Pp. 68–72. (rus)
4. Krasilnikov S.G., Okunev Yu.V., Panteleimonov V.A., Shapovalov K.P., Orlov L.N., Golyakovich A.A. The use of flux-cored wire of TM VELTEK LLC in the production of metal structures of NKMZ CJSC [Primenenie poroshkovoj provoloki OOO «TM VELTEK» v proizvodstve metallokonstrukcij ZAO «NKMZ»]. Welder. 2007. No. 1 (53). Pp. 6–9. (rus)
5. Berezovsky A.V. Surfacing materials for hardening castors CCM [Naplavochnye materialy dlja uprochneniya rolikov MNLZ]. Innovacii v materialovedenii i metallurgii: materialy I mezhdunarodnoj interaktivnoj nauchno-prakticheskoy konferencii. Ekaterinburg: Izd-vo Ural. un-ta. 2012. Vol. 1. Pp. 34–37. (rus)
6. Mazur N.V., Podosyan A.A., Ogarkov N.N. Researches of material properties of CCM rollers [Issledovaniya svojstv materialov rolikov MNLZ]. Processy i oborudovanie metallurgicheskogo proizvodstva: Mezhtregion. Sb. nauch. tr. Pod red. Zhelezkova O.S. Vyp. 7. Magnitogorsk: GOU VPO «MGU». 2006. Pp. 48–53. (rus)
7. Ogarkov N.N., Mazur N.V., Zavyalova N.V. Determination of the service life of CCM rollers

[Opredelenie sroka sluzhby rolikov MNLZ]. Processy i oborudovanie metallurgicheskogo proizvodstva: Mezhtregion. Sb. nauch. tr. Pod red. Zhelezkova O.S. Vyp. 7. Magnitogorsk: GOU VPO «MGU» 2006. Pp. 53–57. (rus)

8. Ogarkov N.N., Sufyanov D.V., Mazur N.V. Investigation of the quality of the deposited layer after electrical contact processing [Issledovanie kachestva naplavlennogo sloja posle jelektrkontaktnoj obrabotki]. Sovremennye tehnologii obrabotki metallov s primeneniem instrumentov iz sverhtverdykh materialov – novye tehnologii i napravleniya. Trudy 5-go Mezhdunarodnogo seminar: Sb. nauch. tr. Vyp. 1. Magnitogorsk GOU VPO «MGU». 2007. Pp. 53–58. (rus)

9. Makarov A.V., Kudryashov A.E., Vladimirov A.A., Titova A.P. The use of surfacing materials modified by refractory components for the restoration of rollers of continuous casting machines [Primenenie naplavochnykh materialov, modifitsirovannykh tugoplavkimi komponentami, dlya vostanovleniya rolikov mashin nepreryvnogo lit'ya zagotovok]. Bulletin of the Bryansk State Technical University. 2019. No. 8 (81). Pp. 41–48. (rus)

10. Korotkov V.A., Mikhailov I.D., Babaylov D.S. Investigation of the deposited layer of the support rollers of continuous casting machines [Issledovanie naplavlennogo sloja opornykh rolikov mashin nepreryvnogo lit'ya zagotovok]. Welding production. 2007. No. 1. Pp. 30–33. (rus)

11. Yakushin B.F., Tsirkov P.A. Features of technology for arc surfacing of rollers for continuous casting plants [Osobennosti tehnologii dugovoy naplavki rolikov dlya ustanovok nepreryvnoy razlivki staley]. Welding and diagnostics. 2009. No. 5. Pp. 35–40. (rus)

12. Ibatov M.K., Krivtsova O.N., Zhunusov Zh.A. The choice of an effective method of surface treatment of hardening rollers roller table [Vybor jeffektivnogo sposoba poverhnostnoy obrabotki up-

rochneniya rolikov rol'ganga]. Bulletin of the Karaganda State Industrial University. 2015. No. 4. Pp. 25–29. (rus)

13. Filatov S.V., Dagman A.I., Karavaev V.N. et al. The NLMK's Experience of Operating Slab CCM Molds with Improved Wall Design. Metallurgist 62. 2018. Pp. 58–61.

14. Kadoshnikov V.I., Platov S.I., Terent'ev V.D. et al. Improving the durability of the initial sections of continuous casters Nos. 2 and 3 at the Magnitogorsk Metallurgical Combine. Metallurgist 51. 2007. Pp. 216–219.

15. Kudryashov A.E., Zamulaeva E.I., Levashov E.A., Kiryukhantsev-Korneev F.V., Sheveiko A.N., Shvyndina N.V. Application of electrospark deposition and modified SHS electrode materials to improve the endurance of hot mill rolls. Part 2. Structure and properties of the formed coatings. Surface Engineering and Applied Electrochemistry. 2019. No. 55. Pp. 502–513.

16. Sanz A. New coatings for continuous casting rolls. Surface and Coatings Technology. 2004. No. 177–178. Pp. 1–11.

17. Lester S., Longfield N., Griffiths J., Cocker J., Staudenmaier C., Broadhead G. New Systems for Laser Cladding. Laser Technik Journal. 2013. 10. 10.1002/latj.201390037.

18. Ray A. et al. Laser cladding of continuous caster lateral rolls: Microstructure, wear and corrosion characterisation and on-field performance evaluation. Journal of Materials Processing Technology. 2014. No. 214. Pp. 1566–1575.

19. Kragelsky I.V. Friction and wear. [Trenie i iznos]. Belarus: Institute of Mechanics of Metal-Polymer Systems named after V.A. White, 2008. 224 p. (rus)

20. Wang K. et al. Effect of Cobalt on Microstructure and Wear Resistance of Ni-Based Alloy Coating Fabricated by Laser Cladding. Metals 7. 2017. No. 551. Pp. 1–12.

Information about the authors

Makarov, Alexey V. PhD. Head of the Department of Technology and Equipment in Metallurgy and Mechanical Engineering V.B. Crash. E-mail: makarov.av@mail.ru. Starooskolsky Technological Institute. A.A. Ugarova (branch) of the National Research Technological University "MISiS" Russia, 309516 Stary Oskol, Belgorod Region. m. Makarenko, 42.

Kudryashov, Alexandr E. PhD. Leading Researcher, Scientific and Research Center of the Internal Intelligence Service of MISiS-ISMAn. E-mail: aekudr@yandex.ru. National Research Technological University "MISiS". Russia, 119049, Moscow, Leninsky Prospekt, 4.

Nevezhin, Stanislav V. PhD. Deputy CEO. Email: snevezhin@gmail.com. LLC "VVST", Russia, 142108, Podolsk, Borodinsky Boulevard, 2.

Gerasimov, Andrey S. General Director. E-mail: vvstmsk@mail.ru. LLC "VVST", Russia, 142108, Podolsk, Borodinsky Boulevard, 2.

Vladimirov, Alexandr A. PhD, Assistant. E-mail: vladimirov.al.an@yandex.ru. Starooskolsky Technological Institute. A.A. Ugarova (branch) of the National Research Technological University "MISiS" Russia, 309516 Stary Oskol, Belgorod Region. m. Makarenko, 42.

Avdeeva, Nelly E. Postgraduate student. E-mail: nelli_avdeeva@mail.ru. Starooskolsky Technological Institute. A.A. Ugarova (branch) of the National Research Technological University "MISiS" Russia, 309516 Stary Oskol, Belgorod Region. m. Makarenko, 42.

Received 27.05.2020

Для цитирования:

Макаров А.В., Кудряшов А.Е., Невежин С.В., Герасимов А.С., Владимиров А.А., Авдеева Н.Е. Перспективы применения технологии лазерной наплавки для восстановления роликов машин непрерывного литья заготовок // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2020. № 7. С. 109–118. DOI: 10.34031/2071-7318-2020-5-7-109-118

For citation:

Makarov A.V., Kudryashov A.E., Nevezhin S.V., Gerasimov A.S., Vladimirov A.A., Avdeeva N.E. Prospects for the application of laser surface technology for restoring rollers of continuous casting machines. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2020. No. 7. Pp.109–118. DOI: 10.34031/2071-7318-2020-5-7-109-118

Научное издание

«Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова»
№ 7, 2020 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)

Журнал зарегистрирован Министерством РФ по делам печати, телерадиовещания и средств массовой информации ПИ №ФС 77-26533 от 07.12.2006

Подписано в печать 27.07.20. Формат 60×84/8

Усл. печ. л. 13,72. Уч.-изд. л. 14,75

Тираж 40 экз. Заказ 90. Цена договорная.

Все публикуемые материалы представлены в авторской редакции.

Адрес редакции: 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