

Научно-теоретический журнал
ВЕСТНИК

БГТУ им. В.Г. Шухова

ISSN 2071-7318

9

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**

№ 9, 2020 год

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

Vol. 9. 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: <https://bulletinbstu.editorum.ru>

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Official website of the journal: <https://bulletinbstu.editorum.ru>
Tel.: +7 (4722) 30-99-77. E-mail: VESTNIK@intbel.ru
Subscription index in the united catalogue of "Press of Russia" – 44446.
Online subscription: <http://www.akc.ru/itm/2558104627/>

Главный редактор

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

Заместитель главного редактора

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

Члены редакционной коллегии

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

Баженов Юрий Михайлович, академик РААСН наук, д-р техн. наук, проф., заведующий кафедрой технологии вяжущих веществ и бетона НИУ Московского государственного строительного университета (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).

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

CHIEF EDITOR

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

DEPUTY OF CHIEF EDITOR

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

MEMBER OF EDITORIAL BOARD

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

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

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).

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

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).

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

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

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

Aleksey N. Davidyuk, Doctor of Technical Science, Director NIIZHБ 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).

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Valeriya V. 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

Меркулов С.И., Акимов Э.К. МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ БЕТОННЫХ БАЛОК С КОМПОЗИТНОЙ АРМАТУРОЙ С ОТГИБАМИ НА ПРИОПОРНЫХ УЧАСТКАХ	8
Ильина Т.Н., Крюков И.В., Колесников М.С. АСПИРАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ В ПОКРАСОЧНЫХ ЦЕХАХ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ	15
Шаптала В.В., Хукаленко Е.Е., Северин Н.Н., Гусев Ю.М. УСТРОЙСТВА И ПРОЦЕССЫ ВЕНТИЛЯЦИИ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ ЭЛЕКТРОСВАРОЧНЫХ РАБОТ	21
Гражданкин А.А., Иванченко В.Т. УТОЧНЕНИЕ СОЛНЕЧНОГО КЛИМАТА Г. КРАСНОДАРА ДЛЯ ЭФФЕКТИВНОЙ РАБОТЫ СОЛНЕЧНЫХ ПАНЕЛЕЙ В ЖИЛЫХ ЗДАНИЯХ. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ЗА 2014–2020 ГОДЫ	30
Токарев А.Г., Сидоренко Н.Р. САНАТОРИЙ «УДАРНИК» В ЖЕЛЕЗНОВОДСКЕ: О ВЛИЯНИИ ГРАДОСТРОИТЕЛЬНЫХ ФАКТОРОВ НА АРХИТЕКТУРУ	37
Бредихина А.В. ИСТОРИЧЕСКИЕ ГОСТИНЫЕ ДВОРЫ И ТОРГОВЫЕ РЯДЫ. ВОЗМОЖНОСТИ ИХ РЕНОВАЦИИ	46
Аль-Джабери А.А.Х. ПРОСТРАНСТВЕННАЯ КЛАССИФИКАЦИЯ ТРАНСПОРТНЫХ СЕТЕЙ И ЕЕ СВЯЗЬ С ТИПОЛОГИЕЙ ТРАНЗИТНО-ОРИЕНТИРОВАННОГО РАЗВИТИЯ ДЛЯ ГОРОДОВ НАДЖАФ И КУФА ПРОВИНЦИИ НАДЖАФ	57

ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ

Жабрев Л.А., Чуппина С.В., Шамшурин А.И., Лебедева Е.А., Панченко О.В. ОЦЕНКА СКЛОННОСТИ ПОКРЫТИЙ К ОБРАЗОВАНИЮ ПОР И НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИХ ВКЛЮЧЕНИЙ В СВАРНОМ ШВЕ	67
Никулина Н.С., Булатецкая Т.М., Патрушева Н.А., Власова Л.А., Санникова Н.Ю., Никулин С.С. ПЕРСПЕКТИВА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ МАСЛОНАПОЛНЕННЫХ КАУЧУКОВ БИСОСТАВНОГО КОАГУЛЯНТА МЕЛАССА-ХЛОРИД НАТРИЯ	81

МАШИНОСТРОЕНИЕ И МАШИНОВЕДЕНИЕ

Севостьянов М.В. ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА БРИКЕТИРОВАНИЯ ПОЛИДИСПЕРСНЫХ МАТЕРИАЛОВ И ОТХОДОВ ПРОИЗВОДСТВА В ПРЕСС-ВАЛКОВЫХ АГРЕГАТАХ	89
Ханин С.И., Зыбин Р.В., Мордовская О.С. ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЦЕССА КЛАССИФИКАЦИИ МАТЕРИАЛА В КЛАССИФИЦИРУЮЩЕЙ ПЕРЕГОРОДКЕ ШАРОВОЙ МЕЛЬНИЦЫ	97

CONSTRUCTION AND ARCHITECTURE

- Merkulov S.I., Akimov E.K.**
EXPERIMENTAL RESEARCH METHODOLOGY OF ELEMENTS WITH COMPOSITE FITTINGS WITH BENDING AT PRIORITY SECTIONS 8
- Il'ina T.N., Kryukov I.V., Kolesnikov M.S.**
ASPIRATION SYSTEMS IN DYEING SHOPS OF MECHANICAL ENGINEERING COMPANY 15
- Shaptala V.V., Khukalenko E.E., Severin N.N., Gusev Yu.M.**
DEVICES AND VENTILATION PROCESS DURING EXECUTION ELECTRIC WELDING 21
- Grazhdankin A.A., Ivanchenko V.T.**
REFINING THE SOLAR CLIMATE OF KRASNODAR FOR THE EFFECTIVE WORK OF SOLAR PANELS IN RESIDENTIAL BUILDINGS. RESEARCH RESULTS FOR 2014-2020 30
- Tokarev A.G., Sidorenko N.R.**
"UDARNIK" SANATORIUM IN ZHELEZNOVODSK: ABOUT INFLUENCE OF URBAN-PLANNING FACTORS ON ARCHITECTURE 37
- Bredikhina A.V.**
THE HISTORICAL BAZAARS AND SHOPPING ARCADES. POSSIBILITIES OF THEIR RENOVATION 46
- Al-jaberi A.A.H.**
SPATIAL CLASSIFICATION OF TRANSPORT NETWORKS AND ITS CONNECTION WITH THE TYPOLOGY OF TRANSIT-ORIENTED DEVELOPMENT FOR THE CITIES OF NAJAF AND KUFA OF THE PROVINCE OF NAJAF 57

CHEMICAL TECHNOLOGY

- Zhabrev L.A., Chuppina S.V., Shamshurin A.I., Lebedeva E.A., Panchenko O.V.**
EVALUATION OF COATINGS TENDENCY TO THE PORES AND NON-METAL INCLUSIONS FORMATION IN A WELD 67
- Nikulina N.S., Bulatetskaya T.M., Patrusheva N.A., Vlasova L.A., Sannikova N.Yu., Nikulin S.S.**
THE PROSPECT OF USING THE BICOMPONENT COAGULANT OF MOLLASES "SODIUM CHLORIDE" WHEN PRODUCTION OF OIL-FILLED RUBBERS 81

MACHINE BUILDING AND ENGINEERING SCIENCE

- Sevostyanov M.V.**
THEORY AND PRACTICE OF BRIQUETTING OF POLYDISPERSE MATERIALS AND PRODUCTION WASTE IN PRESS-ROLL INSTALLATIONS 89
- Khanin S.I., Zybin R.V., Mordovskaya O.S.**
INCREASING THE EFFICIENCY OF THE MATERIAL CLASSIFICATION PROCESS IN CLASSIFYING BALL MILLS PARTITION 97

СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

DOI: 10.34031/2071-7318-2020-5-9-8-14

^{1,*}Меркулов С.И., ²Акимов Э.К.¹Курский государственный университет²Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

*E-mail: mersi.dom@yandex.ru

МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ БЕТОННЫХ БАЛОК С КОМПОЗИТНОЙ АРМАТУРОЙ С ОТГИБАМИ НА ПРИОПОРНЫХ УЧАСТКАХ

Аннотация. Одной из причины, ограничивающих широкое применение композитной стержневой арматуры, является невозможность применения данного вида арматуры в качестве поперечной на опорных участках изгибаемых элементов. Предлагается для обеспечения прочности изгибаемых элементов по наклонным сечениям выполнить отгиб стержней рабочей продольной рабочей арматуры, предложены геометрические параметры отгибов для некоторых видов композитной арматуры в зависимости от диаметра стержня. Для разработки методики расчета прочности наклонных сечений необходимо выработать экспериментально обоснованные предпосылки, учитывающие особенности совместной работы композитной стержневой арматуры в наклонных сечениях.

В статье предложена методика экспериментального исследования прочности и трещиностойкости армобетонных изгибаемых элементов с неметаллической композитной стержневой арматурой, включая конструкцию опытных образцов, схему установки приборов при испытании. Разработанная методика позволяет определить параметры прочности и трещиностойкости наклонных сечений изгибаемых элементов. Задачами экспериментальных исследований бетонных элементов, армированных композитной стержневой арматурой, является определение закономерности изменения напряженно-деформированного состояния бетона и композитной арматуры в процессе нагружения, определение характера разрушения элементов по наклонному сечению, получение данных о прочности и трещиностойкости элементов.

Ключевые слова: наклонное сечение, композитная арматура, отгибы арматуры, поперечное армирование.

Введение. Применение композитной арматуры позволяет обеспечить коррозионную безопасность бетонных конструкций зданий и сооружений с агрессивными условиями эксплуатации. В настоящее время накоплен значительный опыт применения композитной арматуры в широкой номенклатуре бетонных конструкций, при этом композитная арматура, как правило, применяется в сочетании со стальной арматурой [1–5]. Полная замена стальной арматуры на композитную сталкивается со значительными технологическими проблемами, решение которых на сегодняшний момент не найдено. В изгибаемых элементах вместе с продольными стержнями композитной арматуры приходится применять поперечную стальную арматуру. Для надежной работы поперечных стержней необходимо обеспечить надежную их анкеровку в случае образования наклонных трещин. Анкеровка поперечных стержней композитной арматуры не может обеспечиваться надежным креплением к продольным стержням, устройством анкеров, изготовлением замкнутых хомутов. Проектирование бетонных конструкций с композитной арматурой выполняются в соответствии со сводом правил СП

295.1325800.2017, некоторые положения которого нуждаются в экспериментальной проверке и уточнению. Так, расчет по наклонному сечению на действие поперечных сил предписывается выполнять как стальной поперечной арматуры с применением характеристик композитной арматуры, при этом не учитываются отмеченные особенности применения стержней композитной арматуры для поперечного армирования изгибаемых элементов.

В настоящее время выполняются исследования конструкций с композитной арматурой проводятся по различным направлениям: исследование прочности конструкций при различных напряженных состояниях и режимах нагружения [6–8], исследование деформативности [9, 10], исследования конструкций с армированием различными видами композитной арматуры [11, 12]. Так же выполняются исследования сцепления стержней композитной арматуры с бетоном [13], огнестойкости бетонных конструкций с композитной арматурой [14]. В то же время отсутствуют экспериментальные и теоретические исследования прочности наклонных сечений с армированием опорных участков стержневой ком-

позитной арматурой. В настоящей работе разработана методика испытаний изгибаемых балок по трещиностойкости и прочности наклонных сечений с армированием композитной арматурой в виде отгибов продольных стержней рабочей арматуры.

Методика. Задачами экспериментальных исследований бетонных изгибаемых балок с отгибами стержней композитной арматуры на опорных участках является:

- получение новых экспериментальных данных по прочности и трещиностойкости изгибаемых балок при кратковременном нагружении;
- выявить особенности совместной работы отгибов стержней композитной арматуры и бетона в наклонных сечениях;
- выявить механизм разрушения по наклонному сечению изгибаемых балок.

Методика экспериментальных исследований бетонных изгибаемых балок с отгибами стержней композитной арматуры на опорных участках включает:

- выбор материалов для изготовления опытных образцов балок;
- определение механических характеристик бетона и композитной арматуры;
- проектирование опытных образцов;

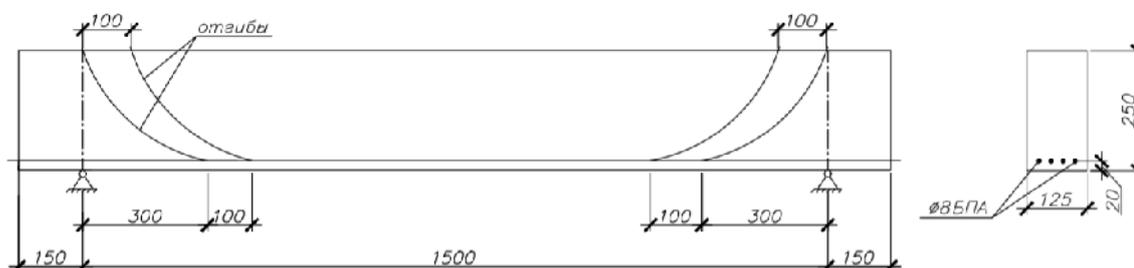


Рис. 1. Конструкция опытной балки

Механические характеристики композитной арматуры определены по ГОСТ 32495-2015, также учтены результаты экспериментальных исследований [15–18]. Необходимо отметить, что существует определенная сложность в назначении расчетных прочностных характеристик стержневой композитной арматуры. Значение сопротивления растяжению и значение модуля упругости назначают в соответствии с ГОСТ 31938–2012, который лишь устанавливает минимальные значения физико-механических показателей стержневой композитной арматуры. В то же время документ допускает, что предел прочности на растяжение и модуль упругости при растяжении должны быть не менее значений, указанных в документах изготовителей композитной арматуры. То есть проектирование бетонных конструкций с композитной арматурой воз-

– разработка технологии изготовления опытных образцов балок с отгибами стержней композитной арматуры на опорных участках;

– разработка схемы установки приборов на опытных образцах;

– разработка схемы испытаний кратковременно действующей нагрузкой опытных образцов.

Основная часть. Композитная стержневая арматура используется в качестве продольного армирования, но не используется в качестве поперечного армирования, из-за технологических сложностей. Представляется возможным применить стержневую композитную арматуру для обеспечения наклонных сечений в виде отгибов.

Конструкция опытных балок представлена на рис. 1. Размеры опытных образцов составили 125×250×1800 мм. Материалы образцов: бетон класса В25, арматура базальтопластиковая с песчаным покрытием производства ROCKBAR ООО «Гален» диаметром 8 мм. Два стержня продольной арматуры расположены прямолинейно по всей длине балки, а оставшиеся два в четвертях пролета переводились из нижней зоны в пролете к верхней грани на опоре с выходом через верхнюю часть балки. Особенностью конструктивного решения опытных балок является отсутствие поперечного армирования по всей длине.

можно только применительно к продукции конкретных предприятий, выпускающих композитную полимерную арматуру. Поэтому очень важно решить задачу назначения расчетного сопротивления композитной арматуры при проектировании бетонных конструкций с такой арматурой [19, 20].

Расположение отгибов стержней композитной арматуры необходимо выполнить максимально близко к траектории главных растягивающих напряжений. Варианты устройства отгибов в изгибаемых балках представлены на рис.2. Особенностью конструктивного решения экспериментальных балок являлось отсутствие поперечного армирования по всей длине.

При проектировании опытных балок решалась задача по определению величины радиуса загиба стержней композитной арматуры (табл. 1).

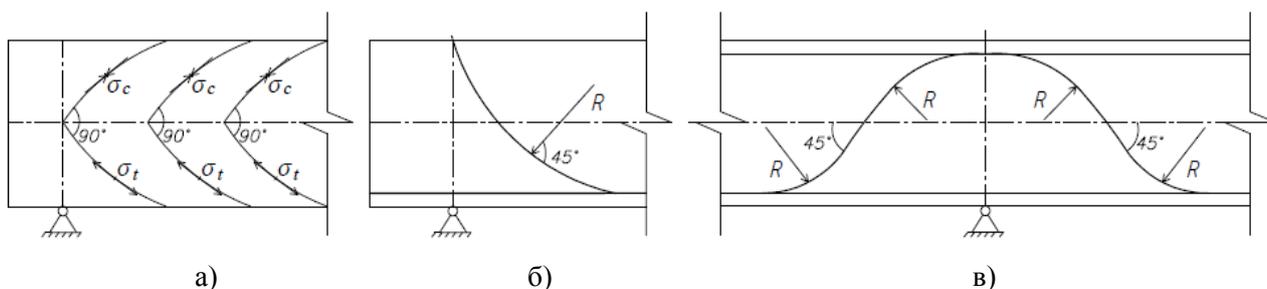


Рис. 2. Отгибы стержневой композитной арматуры в балках: а) траектории главных напряжений в балке, б) отгибы стержней арматуры на опоре однопролетной балки, в) отгибы стержневой арматуры на промежуточной опоре многопролетной балки

Таблица 1

Рекомендуемая минимальная величина радиуса загиба стержней композитной арматуры

	Диаметр стержня, мм	6	8	10
	Радиус загиба стержня R, мм	130	160	210

Для практики проектирования бетонных балок с композитной арматурой можно рекомендовать минимальную величину загиба стержней $20d$. Необходимо отметить, что для фиксации отогнутых стержней требуется установка дополнительной монтажной арматуры.

Испытания опытных балок проводятся на испытательном стенде, позволяющем устанавливать необходимые схемы приложения нагрузки и

режим испытаний. Нагружение составных железобетонных элементов проводится двумя сосредоточенными силами, приложенными на расстоянии 450 мм от опор. Нагрузку прикладывается ступенями по 0,1 разрушающей нагрузки, определенной предварительными испытаниями, на каждом этапе нагружения производилась выдержка 10 – 15 минут. Схема испытания опытных балок и схема установки приборов приведены на рис. 3.

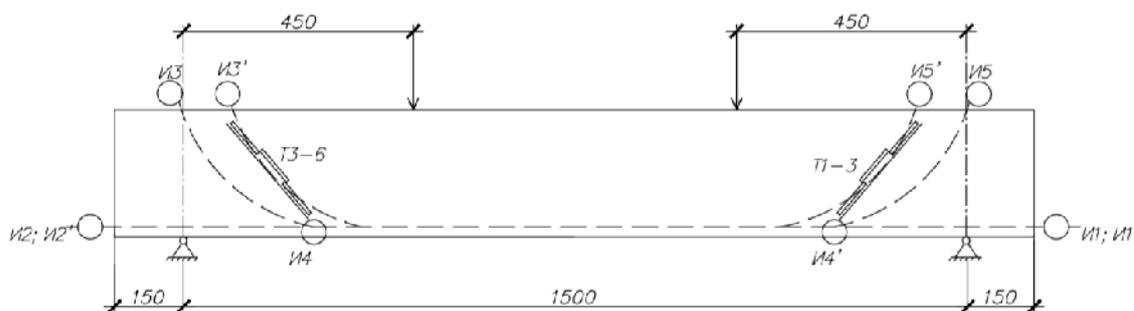


Рис. 3. Схема испытания балки и схема установки приборов: I1;I1', I2;I2' – индикаторы для оценки возможного проскальзывания продольной арматуры; I3;I3', I5;I5' – индикаторы для оценки возможного проскальзывания отогнутой арматуры; I4;I4' – индикаторы для оценки деформации балки по наклонному сечению; T1-6 – тензорезисторы

Контролируемые параметры в ходе испытания балки:

- разрушающая нагрузка;
- нагрузка, при которой образуются трещины;
- деформации бетона на приопорных участках;
- ширина раскрытия трещин на всех этапах нагружения;

– деформации смещения стержневой композитной арматуры относительно бетона.

Для измерения деформаций бетона по наклонным сечениям на опытные балки были применены тензорезисторы типа ПКБ с базой 80 мм, наклеенные боковых поверхностях балки с обеих сторон балок в приопорной зоне по траектории наклонных сечений. Также параллельно

с тензодатчиками установлены индикаторы часового типа с ценой деления 0,001 мм. Данная схема расположения регистрирующих приборов позволит полностью оценить напряженно - деформированное состояние наклонных сечений. Так же для измерения деформации балок по наклонному сечению установлены индикаторы часового типа с ценой деления 0,1 мм. Для фиксации сдвига стержней арматуры в бетоне, установлены индикаторы часового типа с ценой деления 0,001мм в месте выпусков арматуры.

Выводы. Предложенная методика экспериментальных исследований изгибаемых бетонных балок с отгибами стержней композитной арматуры на опорных участках позволяет определить количественные и качественные параметры прочности наклонных сечений, а также оценить степень совместной работы отгибов композитной арматуры с бетоном после образования наклонных трещин. Предложены рекомендации по назначению радиуса отгиба композитных стержней при проектировании изгибаемых бетонных балок с отгибами стержней композитной арматуры на опорных участках.

Предлагаемой методики позволяет на каждой стадии проведения испытаний в режиме реального времени получать и оценивать напряженно-деформированное состояние опытных балок.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Акимов Э.К. Применение неметаллической композитной арматуры в бетонных конструкциях // Международный студенческий строительный форум – 2016 (к 45-летию кафедры строительства и городского хозяйства). 2016. №1. С. 278–282.
2. Акимов Э.К. Перспективы применения неметаллической композитной арматуры в изгибаемых армобетонных элементах с отгибами на приопорных участках // Наука и инновации в строительстве. Сборник докладов Международной научно-практической конференции (к 165-летию со дня рождения В.Г. Шухова). 2018. С. 10–13.
3. Римшин В.И., Меркулов С.И. Элементы теории развития бетонных конструкций с неметаллической композитной арматурой // Промышленное и гражданское строительство. 2015. № 5. С. 38–42.
4. Меркулов С.И., Римшин В.И. Композитные материалы для бетонных и железобетонных конструкций // Актуальные вопросы архитектуры и строительства. Сборник материалов Международной научно-технической конференции. С. 222–225.
5. Субботин А.И., Шутова М.Н., Шагина А.И. Анализ специфики использования композитного армирования в фундаментах возводимых и реконструируемых зданий // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2019. № 2(75). С. 37–48.
6. Невский А.В. Экспериментальные исследования прочности бетонных колонн с углекомпозитным стержневым, дисперсным и внешним армированием на основе углеволокна при кратковременном динамическом нагружении // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2018 Т.20, № 4. С. 91–101.
7. Гиздатуллин А.Р., Хусаинов Р.Р., Хозин В.Г., Красникова Н.М. Прочность и деформативность бетонных конструкций, армированных полимеркомпозитными стержнями // Инженерно-строительный журнал. 2016. № 2(62). С. 32–41.
8. Krassowska, J., Lapko A. The influence of steel and basalt fibers on the shear and flexural capacity of reinforced concrete beams // Journal of Civil Engineering and Architecture. 2013. Vol. 7, № 7(68). Pp. 789–795.
9. Ветрова О.А. Экспериментальные исследования деформативности бетонных балок, армированных композитной арматурой // Известия Юго-Западного государственного университета. 2020. № 24(1). С. 103–114.
10. Моргунов М.В., Копелиович Д.И. Экспериментальные исследования деформирования бетонной балки армированной стеклопластиковой арматурой // Инновации и инвестиции. 2019. № 4. С. 278–281.
11. Фролов Н.В., Смоляго Г.А., Полоз М.А. Экспериментальные исследования образцов армобетонных балок с различным содержанием в растянутой зоне стержней стеклопластиковой арматуры // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2017. № 1. С. 60–64.
12. Степанова В.Ф., Бучкин А.В., Ильин Д.А. Исследование особенности работы бетонных конструкций с комбинированным армированием (арматурой композитной полимерной и неметаллической фиброй) // Academia. Архитектура и строительство. 2017. №1. С. 124–128.
13. Богданова Е.Р. Изменение свойств сцепления композитной полимерной арматуры с бетоном в условиях воздействия различных сред // Промышленное и гражданское строительство. 2016. № 2. С. 39–43.
14. Меркулов С.И., Римшин В.И., Акимов Э.К. Огнестойкость бетонных конструкций с

композитной стержневой арматурой // Промышленное и гражданское строительство. 2019. № 4. С. 50–53.

15. Меркулов С.И., Акимов Э.К. Экспериментальные характеристики базальтопластиковой арматуры диаметра 6мм // Наука и инновации в строительстве: сб. докл. Междунар. науч.-практ. конф. Белгород: Изд-во БГТУ, 2017. С. 73–76.

16. Фролов Н.В., Обернихин Д.В., Никулин А.И., Лапшин Р.Ю. Исследование свойств композитной арматуры на основе стеклянных и базальтовых волокон // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2015. №3. С. 18–21.

17. Фролов Н.В., Полоз М.А., Колесникова Е.Г. К вопросу об испытании стержневой полимеркомпозитной арматуры на осевое растяжение

// Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2016. №11. С. 74–77.

18. Ray, B.C., Rathorea D. A review on mechanical behavior of FRP composites at different loading speeds. // Critical reviews in solid state and materials sciences. 2015. Vol. 40. Pp. 119–135.

19. Римшин В.И., Меркулов С.И. О нормировании характеристик стержневой неметаллической композитной арматуры // Промышленное и гражданское строительство. 2016. №5. С. 22–26.

20. Бучкин А.В. Нормирование прочностных характеристик композитной арматуры // Актуальные вопросы теории и практики применения композитной арматуры в строительстве. Сборник материалов Третьей научно-технической конференции. 2017. С. 15–20.

Информация об авторах

Меркулов Сергей Иванович, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедры промышленного и гражданского строительства, E-mail: mersi.dom@yandex.ru. Курский государственный университет. Россия, 305000, Курск, ул. Радищева, д. 33.

Акимов Эльзар Каныбекович, аспирант кафедры строительства и городского хозяйства. E-mail: elzarakimov@mail.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Поступила 15.09.2020

© Меркулов С.И., Акимов Э.К., 2020

¹Merkulov S.I., ^{2,*}Akimov E.K.

¹Kursk State University

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

*E-mail: mersi.dom@yandex.ru

EXPERIMENTAL RESEARCH METHODOLOGY OF ELEMENTS WITH COMPOSITE FITTINGS WITH BENDING AT PRIORITY SECTIONS

Abstract. The inability of using this type of reinforcement as a cross on the support sections of the bent elements is one of the reasons limiting the wide use of composite rod reinforcement. To ensure the strength of bent elements along inclined sections, it is proposed to bend the rods of the working longitudinal working reinforcement, and geometric parameters of bends for some types of composite reinforcement are proposed, depending on the diameter of the rod. To develop a method for calculating the strength of inclined sections, it is necessary to develop experimentally justified prerequisites that take into account the features of joint operation of composite rod reinforcement in inclined sections. The article offers a method for experimental study of the strength and crack resistance of reinforced concrete bending elements with non-metallic composite rod reinforcement, including the design of prototypes, the installation scheme of devices during testing. The developed method allows to determine the parameters of strength and crack resistance of inclined sections of bent elements. The tasks of experimental studies of concrete elements reinforced with composite rod reinforcement are to determine the regularity of changes in the stress-strain condition of concrete and composite reinforcement during loading, to determine the nature of the destruction of elements along the inclined section, to obtain data on the strength and crack resistance of elements.

Keywords: inclined section, composite reinforcement, rebar bends, cross reinforcement.

REFERENCES

1. Akimov E.K. Application of non-metallic composite reinforcement in concrete structures

[Primeneniye nemetallicheskoj kompozitnoy armatury v betonnykh konstruktsiyakh]. International student construction forum - 2016 (to the 45th anniversary of the Department of construction and urban management). 2016. No. 1. Pp. 278–282. (rus)

2. Akimov E.K. Prospects for the use of non-metallic composite reinforcement in bent reinforced concrete elements with bends in support areas [Perspektivy primeneniya nemetallicheskoj kompozitnoj armatury v izgibayemykh armobetonnnykh elementakh s otgibami na priopornnykh uchastkakh]. Science and innovation in construction. Collection of reports of the International scientific and practical conference (to the 165th anniversary of the birth of V. G. Shukhov). 2018. Pp. 10-13. (rus)
3. Rimshin V.I., Merkulov S.I. Elements of the theory of development of concrete structures with non-metallic composite reinforcement [Elementy teorii razvitiya betonnykh konstruksiy s nemetallicheskoj kompozitnoj armaturoy]. Industrial and civil construction. 2015. No. 5. Pp. 38–42. (rus)
4. Merkulov S.I., Rimshin V.I. Composite materials for concrete and reinforced concrete structures [Kompozitnyye materialy dlya betonnykh i zhelezobetonnnykh konstruksiy]. Current issues of architecture and construction. Collection of materials of the International scientific and technical conference 2018. Pp. 222–225. (rus)
5. Subbotin A.I., Shutova M.N., Shagina A.I. Analysis of the specifics of using composite reinforcement in the foundations of buildings under construction and reconstruction [Analiz spetsifiki ispol'zovaniya kompozitnogo armirovaniya v fundamentakh vozvodimyykh i rekonstruiruyemykh zdaniy]. Bulletin of the Volgograd state University of architecture and civil engineering. Series: Construction and architecture. 2019. No. 2 (75). Pp. 37–48. (rus)
6. Nevsky A.V. Experimental studies of the strength of concrete columns with carbon-composite rod, dispersed and external reinforcement based on carbon fiber under short-term dynamic loading [Eksperimental'nyye issledovaniya prochnosti betonnykh kolonn s uglekompozitnym sterzhnevym, dispersnym i vneshnim armirovaniyem na osnove uglevolokna pri kratkovremennom dinamicheskom nagruzhenii]. Bulletin of the Tomsk state University of Architecture And Civil Engineering. 2018 Vol. 20, No. 4. Pp. 91–101. (rus)
7. Gizdatullin A.R., Khusainov R.R., Khozin V.G., Krasnikova N. M. Strength and deformability of concrete structures reinforced with polymer composite rods [Prochnost' i deformativnost' betonnykh konstruksiy, armirovannykh polimerkompozitnymi sterzhnyami]. Civil engineering magazine. 2016. No. 2 (62). Pp. 32–41. (rus)
8. Krassowska J., Lapko A. The influence of steel and basalt fibers on the shear and flexural capacity of reinforced concrete beams. Journal of Civil Engineering and Architecture. 2013. Vol. 7. No.7 (68). Pp. 789–795.
9. Vetrova O.A. Experimental studies of deformability of concrete beams reinforced with composite reinforcement [Eksperimental'nyye issledovaniya deformativnosti betonnykh balok, armirovannykh kompozitnoj armaturoy]. Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. 2020. No. 24(1). Pp. 103–114. (rus)
10. Morgunov M.V., Kopeliovich D.I. Experimental studies of concrete beam deformation with reinforced fiberglass reinforcement [Eksperimental'nyye issledovaniya deformirovaniya betonnoy balki armirovannoy stekloplastikovoy armaturoy]. Innovation and investment. 2019. No.4. Pp. 278–281. (rus)
11. Frolov N.V., Smolyago G.A., Poloz M.A. Experimental studies of samples of reinforced concrete beams with different contents in the stretched zone of fiberglass reinforcement rods [Eksperimental'nyye issledovaniya obraztsov armobetonnnykh balok s razlichnym sodержaniyem v rastyanutoy zone sterzhney stekloplastikovoy armatury]. Bulletin of BSTU named after V. G. Shukhov. 2017. No. 1. Pp. 60–64. (rus)
12. Stepanova V.F., Buchkin A.V., Ilyin D.A. Investigation of the features of concrete structures with combined reinforcement (composite polymer and non-metallic fiber reinforcement) [Issledovaniye osobennosti raboty betonnykh konstruksiy s kombinirovannym armirovaniyem (armaturoy kompozitnoy polimernoy i nemetallicheskoj fibroy)]. Academia. Architecture and construction. 2017. No. 1. Pp. 124–128. (rus)
13. Bogdanova E.R. Changes in the properties of coupling of composite polymer reinforcement with concrete under the influence of various media [Izmeneniye svoystv stsepleniya kompozitnoy polimernoy armatury s betonom v usloviyakh vozdeystviya razlichnykh sred]. Industrial and civil construction. 2016. No. 2. Pp. 39–43. (rus)
14. Merkulov S.I., Rimshin V.I., Akimov E.K. Fire resistance of concrete structures with composite rod reinforcement [Ognestoykost' betonnykh konstruksiy s kompozitnoy sterzhnevoy armaturoy]. Industrial and civil construction. 2019. No. 4. P. 50–53. (rus)
15. Merkulov S.I., Akimov E.K. Experimental characteristics of basalt-plastic rebar with a diameter of 6 mm [Eksperimental'nyye kharakteristiki bazal'toplastikovoy armatury diametra 6mm]. Science and innovation in construction: sat. Dokl. International. scientific-practical Conf. Belgorod: BSTU Publishing house, 2017. Pp. 73–76. (rus)
16. Frolov N.V., Obernikhin D.V., Nikulin A.I., Lapshin R.Yu. Investigation of the properties of composite reinforcement based on glass and basalt fibers [Issledovaniye svoystv kompozitnoy armatury na osnove steklyannykh i bazal'tovykh volokon].

Bulletin of BSTU named after V. G. Shukhov. 2015. No. 3. Pp. 18–21. (rus)

17. Frolov N.V., Poloz M.A., Kolesnikova E.G. On the test of rod polymer composite reinforcement for axial tension [K voprosu ob ispytanii sterzhnevoy polimerkompozitnoy armatury na osevoye rastyazheniye]. Bulletin of the Belgorod state technological University named after V.G. Shukhov. 2016. No. 11. Pp. 74–77. (rus)

18. Ray B.C., Rathorea D. A review on mechanical behavior of FRP composites at different loading speeds. Critical reviews in solid state and materials sciences. 2015. Vol. 40. Pp. 119–135.

19. Rimshin V.I., Merkulov S.I. On normalization of characteristics of rod nonmetallic composite reinforcement [O normirovani kharakteristik sterzhnevoy nemetallichesko kompozitnoy armatury]. Industrial and civil construction. 2016. No. 5. Pp. 22–26. (rus)

20. Buchkin A.V. Normalization of strength characteristics of composite reinforcement [Normirovaniye prochnostnykh kharakteristik kompozitnoy armatury]. Current issues of the theory and practice of composite reinforcement in construction. Collection of materials of the Third scientific and technical conference. 2017. Pp. 15–20. (rus)

Information about the authors

Merkulov, Sergey I. DSc, Professor. E-mail: mersi.dom@yandex.ru. Kursk state University. 33 Radishcheva str., Kursk, 305000, Russia.

Akimov, Elzar K. Graduate student. E-mail: elzarakimov@mail.ru. Belgorod State Technological University named after V. G. Shukhov. 46 Kostyukova str., Belgorod, 308012, Russia.

Received 15.09.2020

Для цитирования:

Меркулов С.И., Акимов Э.К. Методика экспериментальных исследований бетонных балок с композитной арматурой с отгибами на приопорных участках // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2020. № 9. С. 8–14. DOI: 10.34031/2071-7318-2020-5-9-8-14

For citation:

Merkulov S.I., Akimov E.K. Experimental research methodology of elements with composite fittings with bending at priority sections. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2020. No. 9. Pp. 8–14. DOI: 10.34031/2071-7318-2020-5-9-8-14

DOI: 10.34031/2071-7318-2020-5-9-15-20

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

АСПИРАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ В ПОКРАСОЧНЫХ ЦЕХАХ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Аннотация. Организация воздухообмена в помещениях покрасочных цехов и очистка удаляемого воздуха играют важную роль не только в обеспечении технологических и комфортных параметров микроклимата, но и защите окружающей среды от вредных выбросов. В работе рассмотрены способы окраски металлических изделий, дана характеристика используемых красок. Представлен перечень вредных веществ, выделяемых при окраске изделий, и их влияние на организм человека. На примере покрасочного цеха предприятия ОАО «Белагромаш-Сервис имени В.М. Рязанова», дан анализ существующих систем общеобменной и местной вентиляции. С учетом технологического процесса и расположения покрасочных постов разработана система вытяжной вентиляции. Предложены конструкции и расположение вытяжных зонтов, предотвращающих поступление вредных веществ от поста окраски металлоизделий в рабочую зону. В аспирационную систему подобран центробежно-барботажный аппарат (ЦБА) с высокой эффективностью очистки удаляемого воздуха. Модель движения воздуха, удаляемого от поста окраски, и распределения в нем вредностей, рассчитаны в программе Solid Works.

Ключевые слова: покрасочный цех, вредные вещества, общеобменная вентиляция, местные отсосы, вытяжной зонт, аспирационная система, очистной аппарат.

Введение. Для поддержания безопасности в производственном цехе важное значение приобретает рациональный способ организации вентиляции. Воздух покрасочных цехов, как правило, содержит большое количество аэрозолей, ядовитых паров растворителей и разбавителей. Высокое содержание вредных веществ опасно для здоровья человека, а также может привести к взрыво- или пожароопасной ситуации на производстве [1, 2].

Создание и поддержание нормируемых санитарно-гигиенических условий труда в производственных помещениях, где происходят пирро- и гидротехнологические процессы, являются актуальными задачами. Подобные процессы сопровождаются значительными вредными выделениями в виде избытков теплоты, паров, газов, аэрозолей, пыли [3]. Для устранения избыточных поступлений вредных выделений в первую очередь необходимо обратить внимание на организацию технологических процессов. Снизить концентрацию вредных веществ, поступающих в рабочее помещение, до нормы предельно допустимой концентрации (ПДК), как правило, достаточно трудно. Поэтому для создания комфортно-технологических условий необходима грамотная организация не только общеобменной, но и местной вентиляции. При этом основной задачей является расчет местных отсосов, разработка конструкции и режима их эксплуатации. Комплексное решение данной проблемы должно включать также очистку удаляемого воздуха для защиты окружающей среды от вредных воздействий и

предотвращения загрязнения атмосферы вне этих помещений.

Таким образом, задачей проектирования систем создания параметров микроклимата покрасочных цехов является расчет комплексной аспирационной системы с применением местных отсосов с последующей очисткой удаляемого воздуха.

Основная часть. В качестве примера рассмотрено предприятие ОАО «Белагромаш-Сервис имени В.М. Рязанова», которое является одним из крупнейших заводов по производству сельскохозяйственной техники. Также оно является крупнейшим заводом по производству почвообрабатывающей техники и имеет множество патентов на выпускаемую продукцию. Покрасочный цех предприятия находится в общем объеме помещения ангара с другими цехами производства и складами [3].

Покрасочный цех включает отделение для приготовления красок, склад, контейнеры для отходов лакокрасочных материалов (ЛКМ). Окраска проводится в камере с автономной системой приточно-вытяжной вентиляции. Технологическая линия содержит два последовательно расположенных рабочих поста. Всего на участке окраски работают 5 человек: маляры, подсобные рабочие.

Окраска изделий производится распылением пневматическим способом, который является одним из наиболее распространенных методов окраски. Он позволяет использовать широкий спектр лакокрасочных материалов, наносить

краску на детали различных размеров и сложности с получением требуемого качества окраски. Однако данный способ приводит к высоким потерям лакокрасочной продукции (15–50 %), сопровождается большим расходом растворителя, и конечно, пожароопасностью и токсичностью технологического процесса. Наиболее вредными выделениями на данном этапе являются пары растворителей (ксилол, уайт-спирит, сольвент), аэрозоль краски [4]. Для предотвращения коррозии деталей при дальнейшей их эксплуатации проводится сушка изделий в течение суток. Для удаления вредных выделений над рабочими местами, а также над краскоприготовительным отделением установлена местная вытяжная вентиляция.

Для определения производительности систем местной вентиляции произведен расчет количества загрязняющих веществ, выделяющихся на окрасочном участке. Расчет производили с учетом годового расхода краски и их марки, расхода и марки растворителей, содержания в них аэрозолей краски и растворителя, содержания летучей части компонентов [2, 4].

Расчет количества загрязняющих веществ, выделяющихся при сушке и окраске изделий, выполнен отдельно для элементов краски и для растворителей. Результаты расчета валового выброса загрязняющих веществ, содержащихся в растворителе, краске, грунтовке, разбавителе, представлены в табл. 1.

Таблица 1

Количества выброса загрязняющих веществ

Марка ЛКМ	Доля летучей части (растворителя), %	Количество аэрозоля краски, кг/год	Состав ЛКМ	Содержание компонента в летучей части ЛКМ, %	Расчет выбросов загрязняющих веществ, кг/год	
					При окраске, кг/год	При сушке, кг/год
Эмаль ПФ-115	45,0	25,4	Ксилол	50,0	4,763	14,288
			Уайт-спирит	50,0	4,763	14,288
Грунт ФЛ-03К	30,0	5,1	Уайт-спирит	50,0	1,913	5,738
Сольвент	100,0	–	Сольвент	100,0	27,583	16,083
Ксилол	100,0	–	Ксилол	100,0	11,500	34,500

Производительность системы вентиляции в теплый период определена из расчета удаления вредных паров лакокрасочных материалов с учетом количества образующихся вредных выделений (Гвр) и значений предельно допустимой концентрации соответствующих компонентов (ПДК). Для дальнейших расчетов аспирационной системы принимается максимальное значение производительности.

В зимний период система приточной вентиляции будет выполнять функцию воздушного отопления, поэтому был выполнен теплотехниче-

ский расчет ограждений и определены теплопотери помещения покрасочного цеха. По результатам теплотехнического расчета определена теплопроизводительность системы воздушного отопления.

Объемный расход воздуха для ассимиляции вредных веществ рассчитывается по формуле 1:

$$L_{вр} = G_{вр} / \rho, \text{ м}^3/\text{ч} \quad (1)$$

Результаты расчетов расходов для каждого типа выделяемого вредного вещества приведены в табл. 2.

Таблица 2

Расчет воздухообмена по выделяющимся вредностям

Наименование вещества, выделяемого в помещение	ПДК, мг/м ³	Z _{ух} , мг/м ³	Класс опасности	Мвр		Требуемый расход, Гвр		Требуемый расход, Лвр	
				При окраске, кг/ч	При сушке, кг/ч	При окраске, кг/ч	При сушке, кг/ч	При окраске, м ³ /ч	При сушке, м ³ /ч
Ксилол	50	55	III	0,08	0,25	1795,6	5386,9	2154,7	6464,3
Уайт-спирит	300	330	IV	0,03	0,10	122,8	368,5	147,4	442,2
Сольвент	100	110	IV	0,14	0,08	1522,8	887,9	1827,3	1065,5

Основным условием эффективной работы местной вытяжной вентиляции является достоверный расчет количества удаляемого воздуха и

выбор рациональной конструкции местного отсоса.

Вытяжные зонты предназначены для улавливания вредных веществ и, как правило, устанавливаются над пылящим и газовыделяющим оборудованием с устойчивым конвективным потоком. Классическая схема вытяжного зонта представлена на рис. 1. С поверхности источника вредных выделений поднимается поток струи. Этот поток захватывает частицы пыли, пары и образующиеся газы и уносит их вверх к вытяжному зонту.

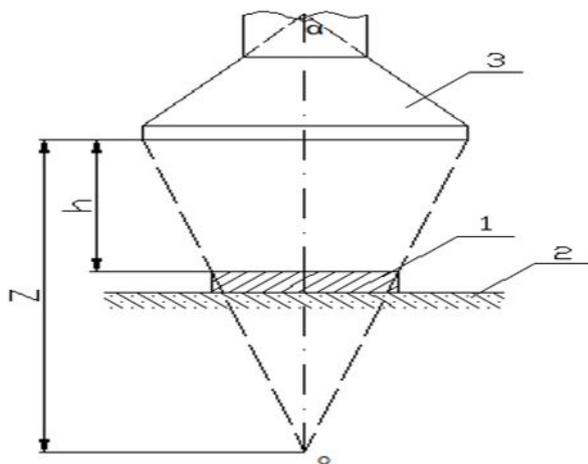


Рис. 1. Схема вытяжного зонта:
1 – источник вредных выделений;
2 – бетонное основание; 3 – зонт

При расчете вытяжных зонтов необходимо учитывать диаметр или размеры источника вредных выделений – d , или a и b , м; температуру источника t_n , °С; предельно допустимые концентрации (ПДК), мг/м³.

Для оценки эффективности работы вытяжного зонта определяли скорости движения воздуха в расчётном сечении вытяжного зонта. Расчётное сечение вытяжного зонта рассматривается как боковая поверхность усеченной пирамиды (усеченного конуса), с основанием в виде площади приёмного сечения (зеркало) зонта. С поверхности приёмного сечения происходят выделения вредных веществ, через боковые поверхности зонта к тепловой струе подтекает окружающий воздух.

Для определения скорости движения воздуха в расчётном сечении и площади расчётного сечения зонта выполнены соответствующие вычисления. Согласно существующим рекомендациям [5, 6], рассчитан эквивалентный диаметр источника, выбрано расстояние от поверхности вредных выделений до зеркала зонта из соотношения $1,5 \text{ м} < h < 2 \cdot d_{ис}$. Определено расстояние Z от полюса тепловой струи (O) до зеркала зонта: $Z = h + 2 \cdot d_{ис}$, м. Определен диаметр d_z сечения теплового факела на удалении Z от полюса струи $d_z = 0,45 \cdot Z^{0,88}$, м. Рассчитана скорость движения

воздуха в расчётном сечении зонта $\omega = L_1/F_p$. Модель движения воздуха, удаляемого от поста покраски, рассчитана в программе Solid Works. Расчет проводился для наибольшего количества выделяющихся вредных веществ, а именно ксилола, массовый расход которого от одного поста составил 0,041 кг/ч при температуре воздуха в помещении 18 °С. Физико-химические параметры ксилола, а именно, динамическая вязкость составляет 0,809 Па·с, плотность при 18 °С 0,862 кг/м³.

Как видно из таблицы 2, наибольший расход требуется для удаления ксилола и составляет 6464 м³/ч. Для данного расхода воздуха рассчитан вытяжной зонт с размерами 3700×2600×800(н), присоединительный диаметр зонта $\varnothing 560$ мм. Скорость потока воздуха в сечении составляет 0,2 м/с.

Согласно технологии, перемещение окрашиваемых металлоконструкций в покрасочном цехе осуществляется с помощью крана. Поэтому вытяжной зонт целесообразно сместить от источника вредных выделений к стене помещения. Для подтверждения рационального расположения вытяжного зонта, максимально улавливающего вредные выделения, произведена модель движения воздуха и распределения вредных веществ, выделяемых постом окраски и улавливаемых вытяжным зонтом.

Как видно на рис. 2, практически все вредные выделения с поста окраски, вовлекаются в поток воздуха, удаляемого вытяжным зонтом, и не поступают в помещение. Таким образом, спроектированный местный отсос полностью справляется с поставленной задачей.

На рис. 3 показано распределение скоростей воздушного потока, создаваемого вытяжным зонтом. Вокруг поста окраски видно движение воздуха, улавливающего вредности, выделяемые от данного источника, которые поступают в вытяжной зонт и затем в систему очистки.

Производительность приточно-вытяжной вентиляционной системы в помещении цеха определяется согласно требованиям обеспечения дисбаланса [7].

Очистка удаляемого воздуха от аэрозолей является сложной задачей, изучению которой посвящено много работ [8–12]. Для постов окраски наиболее эффективно использование модульной окрасочной вентилируемой камеры [13]. Однако по технологии расположения оборудования в цехе это не всегда возможно.

В настоящей работе для обработки удаляемого вентиляционного воздуха был подобран центробежно-барботажный аппарат (ЦБА) в программе производителя оборудования. Эффективность очистки удаляемого воздуха составляет 99 %. Высокая степень улавливания вредных

аэрозолей позволяет использование систем утилизации тепла в удаляемом воздухе [14, 15] для

уменьшения требуемой мощности электронагревателей для холодного периода года.

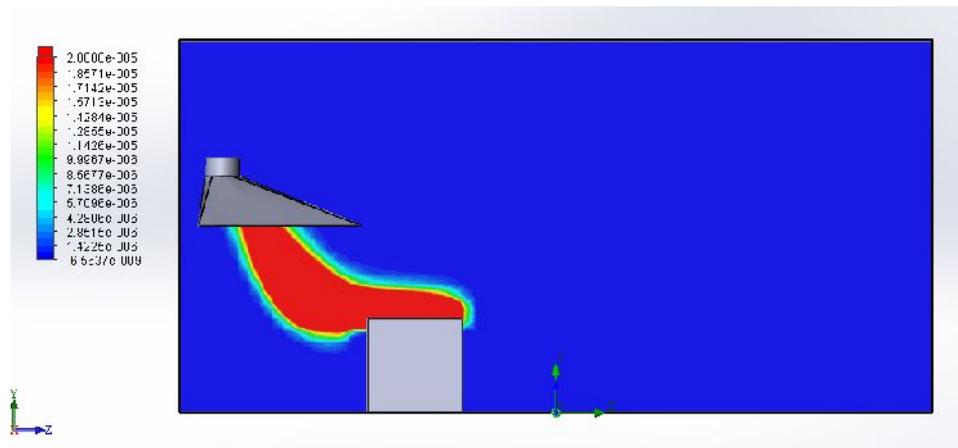


Рис. 2. Визуализация распределения вредностей, выделяемых постом окраски и улавливаемых местным отсосом (МО)

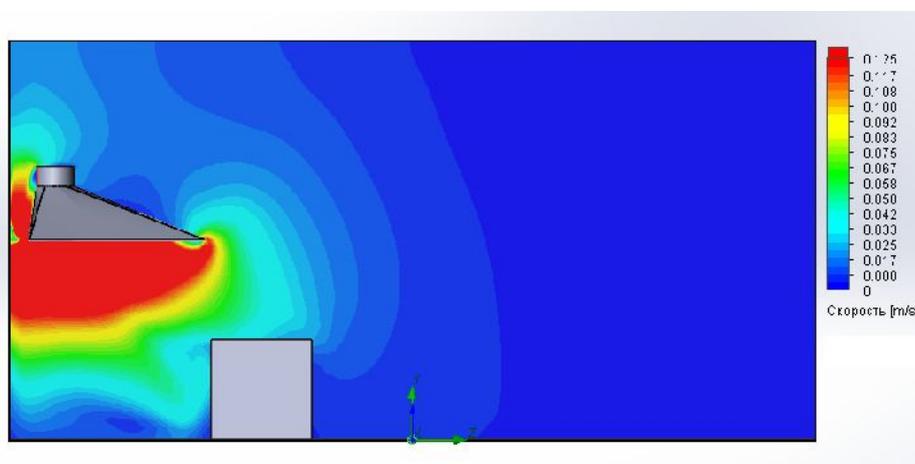


Рис. 3. Визуализация распределения скоростей воздушного потока

При высокой степени очистки вытяжного воздуха расчет концентрации паров растворителей в приземном слое атмосферы выполнять нецелесообразно.

Выводы. Таким образом, разработанная вытяжная система вентиляции, рассчитанная на удаление из рабочей зоны вредных веществ в местных отсосах с последующей очисткой удаляемого воздуха, обеспечивает нормируемые параметры воздуха в помещении покрасочного цеха. Для расчета и подбора оборудования аспирационной системы использованы специализированные программы.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Сериков С.В., Сазонова Ю.А. Вентиляция окрасочного цеха с применением метода эжекции // Современная техника и технологии. 2012. № 5 [Электронный ресурс]. URL: <http://technology.snauka.ru/2012/05/832>

2. Фиалковская Т.А. Вентиляция при окраске изделий. М. «Машиностроение», 1978-180с.

3. Ильина Т.Н., Жилина С.С. Системы вентиляции и очистки воздуха в покрасочных цехах машиностроительных предприятий // Инновационные пути решения актуальных проблем природопользования и защиты окружающей среды: сб. докл. Междунар. Науч.-техн. конф., Алушта, 4-8 июня, 2018г. Часть 2, С.103-107.

4. Ильина Т.Н., Жилина С.С. Способы очистки удаляемого воздуха покрасочных цехов машиностроительных предприятий / Инновационные подходы в решении современных проблем использования природных ресурсов и охраны окружающей среды : сб. докл. Междунар. науч.-техн. конф Алушта, 3-7 июня, 2019г. Белгород: Изд-во БГТУ. 2019.Ч.1. С. 37–42.

5. Гримитлин М. И. Закономерности развития вентиляционных струй. В кн.: Теория и расчет вентиляционных струй. Л., ВНИИОТ ВЦСПС, 1965.

6. Шепелев И. А. Приточные вентиляционные струи и воздушные фонтаны // Изв. АСИА СССР. 1961. № 4.

7. Эльтерман В. М. Вентиляция химических производств М., Стройиздат, 1972.

8. Вальдберг А.Ю., Кушев Л.А. Расчет пыле- и каплеулавливающих установок: учебное пособие. Белгород: Изд-во БГТУ. 2010, 172с.

9. Штокман Е.А. Очистка воздуха. М: Изд-во АСВ. 2007.

10. Белевитский А.М. Проектирование газоочистных сооружений.-Л: Химия. 1990.-288с.

11. Кушев Л.А. Энергосберегающие аппараты для улавливания твердой и жидкой фазы аэрозолей. Белгород: Изд.центр «Логия», 2002. 187 с.

12. Романюк Е.В., Пигловский Н.В., Красовицкий Ю.В., Каргашилов Д.В. Разработка и совершенствование систем аспирации с использованием комбинированных фильтровальных структур: монография. Воронеж, 2015. 201с.

13. Патент 2189534, Российская Федерация, F24F3/16. Модульная окрасочная вентилируемая камера А.В. Гончаров, Б.А. Тихонов. дата подачи 09.11.2000, № заявки 2000128704/06, опубл. 20.09.2002.

14. Ильина Т.Н., Бельмаз Д.Н. Анализ и способы утилизации вторичных энергоресурсов нефтеперерабатывающего предприятия // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2014. №3. С. 170-173.

15. Сериков С.В., Ильина Т.Н. Утилизация тепла уходящих газов котельной установки в системе воздушного отопления // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2013. №4. С. 53-55.

Информация об авторах

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

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

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

Поступила 05.02.2020 г.

© Ильина Т.Н., Крюков И.В., Колесников М.С., 2020

**Il'ina, T.N., Kryukov I.V., Kolesnikov M.S.*

Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov

**E-mail: ilina50@rambler.ru*

ASPIRATION SYSTEMS IN DYEING SHOPS OF MECHANICAL ENGINEERING COMPANY

Abstract. Organizing air change in dyeing shops and cleaning of the exhaust air are of great importance for providing the technological and comfortable parameters of indoor climate, and for protecting the environment from polluting emissions. The article considers the methods of painting metal products and gives characteristics of the used paints. A list of noxious substances, evolved at painting metal products, and their influence on human's health, is presented. Through an example of a dyeing shop at the OAO «Belagromash-Servis named after V.M. Ryazanov», the existing general-dilution and local ventilation systems are analyzed. With account of the technological process and the location of paint stations an exhaust ventilation system has been developed. The designs and arrangement of exhaust hoods are suggested, which prevent hazardous substances from getting from a metal products painting station to work area. For the aspiration system a centrifugal bubble unit (CBU) with the exhaust air cleaning efficiency is selected. The motion model of air, removed from a paint station, and the distribution of noxious substances in it, is calculated in Solid Works.

Key words: dyeing shop, hazardous substances, general dilution ventilation, local exhausts, exhaust hood, aspiration system, cleaning unit.

REFERENCES

1. Serikov S.V., Sazonova Yu.A. Ventilation of a paint shop by means of ejection method [Ventilacija okrasochnogo ceha s primeneniem metoda

jezhekci. Sovremennaja tehnika i tehnologii]. Modern technique and technology. 2012. No. 5 [Electronic resource]. URL: <http://technology.snauka.ru/2012/05/832>. (rus)

2. Fialkovskaya T.A. Ventilation at painting products [Ventiljacija pri okraske izdelij]. Moscow: «Machine building», 1978, 180 p. (rus)
3. Il'ina T.N., Zhilina S.S. Ventilation and air cleaning systems in paint shops of machine-building enterprises [Sistemy ventiljicii i ochistki vozduha v pokrasochnyh cehah mashinostroitel'nyh predpri-jatij]. Innovative ways of solving topical problems of natural resource management and environmental protection: collection of reports of the International scientific and technical conference, Alushta, June 4-8, 2018. Part 2, Pp. 103–107. (rus)
4. Il'ina T.N., Zhilina S.S. Methods of exhaust air cleaning at paint shops of machine-building enterprises [Sposoby ochistki udaljaemogo vozduha pokrasochnyh cehov mashinostroitel'nyh predpri-jatij]. Innovacionnye podhody v reshenii sovremen-nyh problem ispol'zovaniya prirodnyh resursov i ohrany okruzhayushchej sredy : sb. dokl. Mezhdunar. nauch.-tekhn. konf Alushta, Alushta, June 3-7, 2019. Belgorod: BSTU publishing office. 2019. Part 1. Pp. 37–42. (rus)
5. Grimitlin M.I. Laws of ventilation streams development [Zakonomernosti razvitija ventiljacionnyh struj]. In the book: Theory and calculation of ventilation streams. JL, AUSRILP AUCSTU, 1965. (rus)
6. Shepelev I.A. Supply ventilation streams and air fountains [Pritochnye ventiljacionnye strui i vozdushnye fontany]. Proceedings of ACA USSR. 1961. No. 4. (rus)
7. Elterman V.M. Ventilation at chemical production [Ventiljacija himicheskikh proizvodstv]. M., Stroyizdat, 1972. (rus)
8. Valdberg A.Yu., Kushev L.A. Designing of dust-catching and mist-extraction facilities [Raschet pyle- i kaplelavlivajushhih ustan]: study guide. Belgorod: BSTU publishing office. 2010. 172p. (rus)
9. Shtokman E.A. Air cleaning [Ochistka vozduha]. M.: ASV publishing house. 2007. (rus)
10. Belevitsky A.M. Designing of gas treatment facilities [Proektirovanie gazoochistnyh sooruzhenij]. L: Chemistry. 1990. 288 p. (rus)
11. Kushev L.A. Energy-saving machines for entrapment of solid and liquid aerosol phases [Jenergosberegajushhie apparaty dlja ulavlivanija tverdoj i zhidkoj fazy ajerozolej]. Belgorod: Publishing center «Logia», 2002. 187 p. (rus)
12. Romanyuk E.V. Design and improvement of aspiration systems with the use of combined filtering structures [Razrabotka i sovershenstvovanie sistem aspiracii s ispol'zovaniem kombinirovannyh fil'troval'nyh struktur]: monograph. Voronezh, 2015. 201 p. (rus)
13. Patent 2189534, Russian Federation, F24F3/16. Modular ventilated paint spray booth [Modul'naja okrasochnaja ventiliruemaja kamera]. A.V. Goncharov, B.A. Tikhonov. Application date 09.11.2000, No. of application 2000128704/06, pub.20.09.2002. (rus)
14. Il'ina T.N., Belmaz D.N. Analysis and disposal methods of secondary energy resources at oil refineries [Analiz i sposoby utilizacii vtorichnyh jenergoresursov neftepererabatyvajushhego predpri-jatija]. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2014. No. 3. Pp. 170–173. (rus)
15. Serikov S.V., Il'ina T.N. Recovery of exhaust gases heat of a boiler plant in a hot-air heating system [Utilizacija tepla uhodjashhih gazov kotel'noj ustanovki v sisteme vozdušnogo otoplenija]. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2013. No. 4. Pp. 53–55. (rus)

Information about the authors

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

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

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

Received 05.02.2020

Для цитирования:

Ильина Т.Н., Крюков И.В., Колесников М.С. Аспирационные системы в покрасочных цехах машиностроительных предприятий // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2020. № 9. С. 15–20. DOI: 10.34031/2071-7318-2020-5-9-15-20

For citation:

Il'ina T.N., Kryukov I.V., Kolesnikov M.S. Aspiration systems in dyeing shops of mechanical engineering company. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2020. No. 9. Pp. 15–20. DOI: 10.34031/2071-7318-2020-5-9-15-20

DOI: 10.34031/2071-7318-2020-5-9-21-29

^{1,*}Шаптала В.В., ¹Хукаленко Е.Е., ²Северин Н.Н., ²Гусев Ю.М.¹Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова²Белгородский юридический институт МВД России им. И.Д. Путилина

*E-mail: ShaptalaVadim@yandex.ru

УСТРОЙСТВА И ПРОЦЕССЫ ВЕНТИЛЯЦИИ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ ЭЛЕКТРОСВАРОЧНЫХ РАБОТ

Аннотация. Основным направлением нормализации параметров воздушной среды при выполнении электросварочных работ предлагается рассматривать устройство комплексной системы вентиляции, совмещающей местную вытяжную вентиляцию рабочих мест сварщиков и общеобменную вентиляцию помещений. В статье с применением метода компьютерного моделирования рассчитаны поля подвижности воздуха, его температуры и концентрации вредных примесей и выполнен сравнительный анализ основных типов стационарных устройств местной вытяжной вентиляции электросварочных рабочих мест: вытяжных зонтов, сварочных панелей, а также отсосов с передувом, а также определены условия эффективного использования подъемно-поворотных отсосов. Выявлены факторы влияющие на эффективность их работы и установлены сочетания влияющих факторов, обеспечивающих предельно допустимые концентрации вредных выделений в рабочих зонах сварщиков. Определены условия, при которых общеобменного эффекта местных отсосов достаточно для того, чтобы поддерживать в помещении концентрацию на уровне ПДК. Полученные в статье результаты могут применяться для разработки инженерных методов расчета и оптимизации вентиляционных устройств и систем, а также для анализа конструктивных и проектных решений по устройству вентиляции электросварочных производств.

Ключевые слова. Электродуговая сварка, местная вытяжная вентиляция, общеобменная вентиляция, эффективность, компьютерное моделирование.

Введение. Электродуговая сварка широко используется в различных отраслях народного хозяйства (машиностроение, производство строительных конструкций, строительные и ремонтно-восстановительные работы). Процесс электродуговой сварки сопровождается рядом вредных факторов (выделение вредных аэрозолей, газов, излучение), а также имеет высокую пожарную опасность. Согласно трудовому кодексу Российской Федерации (ТК РФ Статья 212. Обязанности работодателя по обеспечению безопасных условий и охраны труда) работодатели должны создавать и поддерживать нормальные условия труда, способствующие сохранению здоровья работников. Основным способом поддержания требуемых параметров микроклимата в рабочих зонах сварщиков является организация местной вытяжной вентиляции. Работа местных вытяжных устройств требует значительных энергозатрат. В связи с этим разработка энергосберегающих систем местной вытяжной вентиляции рабочих мест сварщиков является актуальной задачей [1–6, 9, 10].

Методы и материалы. Наиболее неблагоприятные условия труда наблюдаются при ручной сварке электродами. При электродуговой сварке имеет место интенсивное выделение ядовитого сварочного аэрозоля и множества токсичных газов. Состав и интенсивность вредных вы-

делений зависят от вида и расхода сварочных материалов (электродной проволоки, флюса), а также мощности электросварочной дуги [4].

Качество воздушной среды в помещениях, в которых ведутся электросварочные работы определяется тепло- и массообменными процессами, которые формируют поля подвижности воздуха, его температуры и концентрации вредных примесей.

Основным, а в ряде случаев и единственным способом нормализации среды в сварочных помещениях является вентиляция: местная вытяжная и общеобменная, которые применяются совместно.

Нормируемыми параметрами рабочей зоны являются температура, подвижность воздуха и концентрация загрязняющих примесей (ГОСТ 12.1.005-88. Система стандартов безопасности труда).

Пример. При расходе за шестичасовую смену 5 кг электродов марки МР-3 и параметрах электрической дуги $U = 30$ В и ток 600 А интенсивность выделения оксида марганца составляет 0.36 мг/с. При этом предельно допустимая концентрация (ПДК) оксида марганца равна 0.3 мг/м³. Таким образом для поддержания средней концентрации оксида марганца на предельно допустимом уровне в помещении, содержащем всего один электросварочный пост необходимая производительность общеобменной вентиляции

составляет $L = q/C_{\text{пдк}} = 0.36/0.3 = 1.2 \text{ м}^3/\text{с} = 4320 \text{ м}^3/\text{ч}$. При этом из-за неоднородного распределения концентрации вредных примесей общеобменная вентиляция даже при высоких кратностях воздухообмена не позволяет обеспечить предельно допустимые концентрации примесей в рабочих зонах сварщиков. Эта задача может быть решена только с помощью местных вытяжных устройств. Эффективность вентиляции рабочего места сварщика определяется выполнением двух взаимосвязанных задач: отклонением конвективной струи загрязненного воздуха от зоны дыхания сварщика и ее улавливание отсосом.

Вопросы расчета и организации вентиляции рабочих мест и помещений при выполнении электросварочных работ рассматривались в работах [2–4, 11–13].

При ручной электродуговой сварке могут использоваться следующие основные виды местных вытяжных устройств: подъемно-поворотные и стационарные местные отсосы (вытяжные зонты, сварочные панели, отсосы с передувом).

Основная часть. Местная вытяжная вентиляция является эффективной, но достаточно энергоемкой (энергия расходуется на работу побудителей тяги – вентиляторов), однако снижение производительности местных отсосов для уменьшения их энергопотребления приводит к выбиванию части вредных выделений в воздушную

среду помещения, что повышает ее фоновое загрязнение. Основным средством борьбы с фоновым загрязнением сварочных помещений является общеобменная вентиляция, которая может осуществляться с помощью механического или естественного побуждения (аэрации), а также частично в результате работы самих местных отсосов. Таким образом нормализация воздушной среды сварочного цеха может быть достигнута в результате работы комплексной системы вентиляции, состоящей из двух подсистем по примеру комплексных систем обеспыливания производственных помещений [5, 7]. Оптимальным будет такой режим работы комплексной системы вентиляции сварочного помещения, при котором энергозатраты на работу местной вытяжной вентиляции будут минимальными, но достаточными для поддержания ПДК вредных примесей в рабочих зонах, а общеобменный эффект, создаваемый местными вытяжками, дополненный естественным воздухообменом (аэрацией) помещения, будет достаточным для поддержания и фоновой концентрации вредных примесей на уровне ПДК.

Работа отсосов моделировалась в рамках полевой модели, включающей в себя уравнения движения воздуха (уравнения Навье-Стокса), уравнения тепло- и массопереноса для исследования распределений температуры и концентрации вредных примесей [3, 6, 8, 17–22].

$$\begin{aligned} \nabla \cdot U &= 0 \\ \frac{\partial U}{\partial t} + \nabla U \cdot U - \nabla \cdot \left((v_l - v_t)(\nabla U + \nabla U^T) - \frac{2}{3}(v_l - v_t)\nabla \cdot U \cdot I \right) &= \\ &= -\frac{\nabla p}{\rho_r} - (1 - \beta(T - T_r)) \cdot g \\ \frac{\partial T}{\partial t} + \nabla \cdot (UT) - \nabla \cdot \left(\left(\frac{v_l}{Pr_l} + \frac{v_t}{Pr_t} \right) \nabla T \right) &= \frac{g_T}{\rho c_p} \\ \frac{\partial C}{\partial t} + \nabla \cdot (UC) - \nabla \cdot \left(\left(\frac{v_l}{Sm_l} + \frac{v_t}{Sm_t} \right) \nabla C \right) &= g_C \end{aligned} \quad (1)$$

Уравнения (1) дополняются уравнениями $k-\varepsilon$ модели турбулентности, а также граничными условиями для вычисляемых величин. Для решения данной системы уравнений использовался гидродинамический пакет Ansys Fluent [18].

Интенсивность теплоступлений от сварочной дуги, расходуемых на нагрев конвективной струи загрязненного воздуха определялась по формуле [4]:

$$g_T = 0.1I \cdot U \text{ Вт/м}^3\text{с} \quad (2)$$

где I и $U = 30 \text{ В}$ – сила и напряжение сварочного тока.

Интенсивность выделения оксида марганца считалась постоянной $g_C = 0.36 \text{ мг/м}^3\text{с}$ и принималась по опытным данным [4].

В процессе моделирования изучались условия, при которых обеспечивалась предельно допустимая концентрация оксида марганца в рабочей зоне, а также условия выноса части загрязненного потока в помещение.

Наиболее универсальными являются подъемно-поворотные перемещаемые вытяжные устройства. Они могут быть использованы при любых видах сварки. Однако при фиксированном расположении подъемно-поворотного отсоса по мере удаления места сварки от воздухоприемной воронки эффективность отсоса снижается. В связи с этим возникает необходимость регулирования производительности с учетом необходимых размеров зоны эффективного улавливания.

Ограниченность зоны эффективного улавливания — удаление порядка 0.4 м., приводит к необходимости многократного перемещения воздухоприемной воронки при работе с протяженными конструкциями, что затрудняет работу сварщика и снижает ее производительность. Поэтому наряду с подъемно-поворотными отсосами широкое распространение получили стационарные отсосы различных конструкций. При использовании вытяжного зонта максимально используется

энергия восходящей конвективной струи над местом сварки. Однако сварочный факел в этом случае может проходить через зону дыхания сварщика. Добиться минимально необходимого отклонения сварочного фактора от зоны дыхания (0.3 м) можно путем смещения рабочего стола (рис. 1, а), относительно вытяжного зонта. Еще большего отклонения при умеренных расходах отсасываемого воздуха можно добиться используя сварочные панели (рис. 1 б).

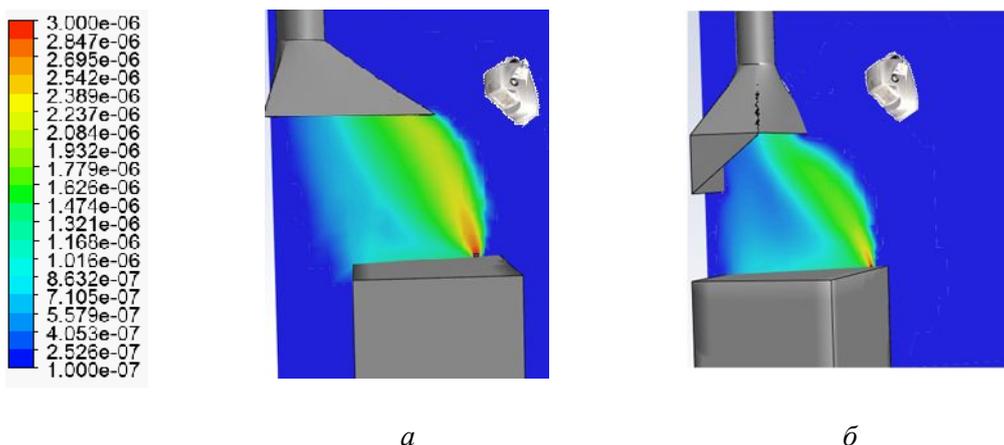


Рис. 1. Поля концентраций вредных выделений при расходе удаляемого воздуха $V = 0.53 \text{ м}^3/\text{с}$, мощность сварочной дуги $W = 18000 \text{ Вт}$, а — вытяжной зонт; б — сварочная панель.

Дальнейшее смещение стола при использовании вытяжного зонта или снижение высоты расположения сварочной панели приводит к значительному увеличению расхода отсасываемого воздуха, необходимого для обеспечения ПДК в рабочей зоне. Часто применяемым приемом повышения эффективности местных отсосов является использование передувочных устройств [2,

4, 14–16]. Дополнение вертикального отсоса с передувкой позволяет еще более расширить рабочую зону, однако не позволяет уменьшить необходимый расход отсасываемого воздуха, т.к. при его снижении происходит частичное выбивание загрязненной конвективной струи в помещение, это же явление происходит при увеличении интенсивности передувки (рис. 2).

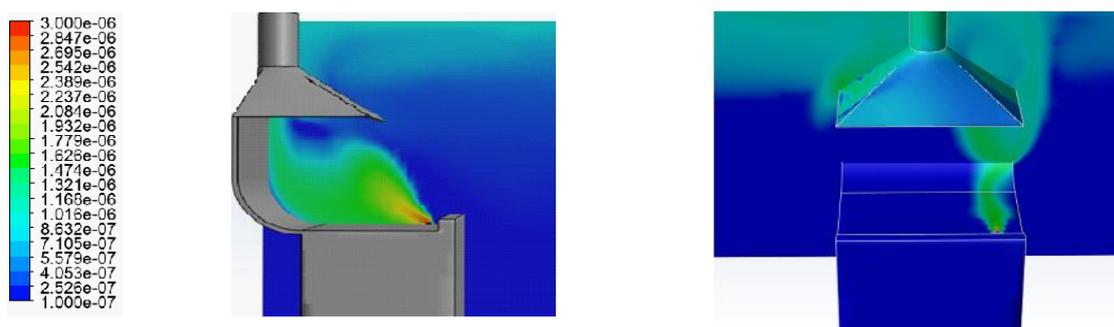


Рис. 2. Поле концентрации вредных примесей при использовании вытяжного зонта с передувкой вдоль поверхности стола

Таким образом, устойчивая работа системы вертикальный отсос – передувка возможна лишь при определенном соотношении расходов отсасываемого и подаваемого передувкой воздуха. Например, для вертикального отсоса с передувкой рис. (2) и приведенных выше условий оптимальное соотношение объемных расходов составляет: расход отсасываемого воздуха: 0.5

$\text{м}^3/\text{с}$, расход воздуха, подаваемого через передувку: $0.1 \text{ м}^3/\text{с}$. Если точки сварки расположены близко к плоскости стола, то наибольшую эффективность имеет схема организации местной вытяжной вентиляции с передувкой, приведенной на рис. 3.

Приведенные результаты расчетов получены для условий равномерного подтекания воздуха к отсосу.

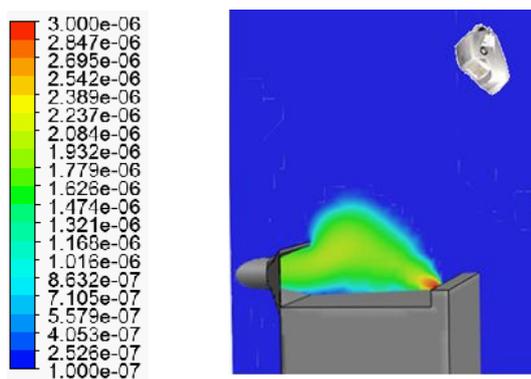


Рис. 3. Распределение концентрации вредных примесей. Производительность бокового отсоса с передувом $V = 0.3 \text{ м}^3/\text{с}$

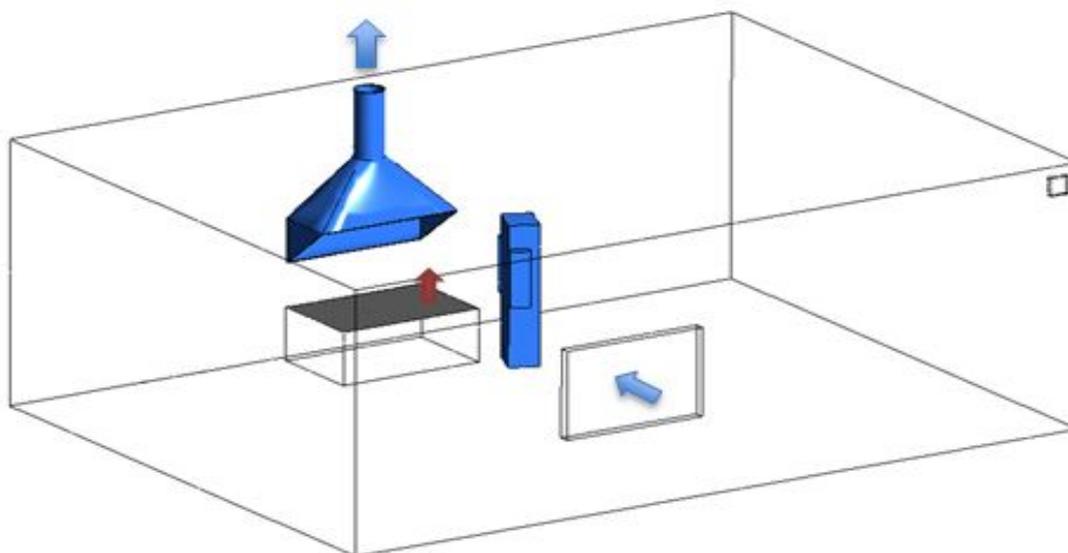


Рис. 4. Схема помещения сварочного цеха

При использовании сварочной панели вынос вредных веществ в помещение усиливается, однако создаваемого местной вытяжкой общеобменного эффекта достаточно для того, чтобы поддерживать в помещении концентрацию на уровне ПДК. Использование бокового отсоса с передувом позволяет расширить рабочую зону. Также установлено, что эффективность горизонтального отсоса менее подвержена влиянию изменения расположения точки сварки в плоскости стола.

Еще одним фактором, влияющим на эффективность отсоса, является производственная необходимость регулирования мощности электрической дуги в связи с изменением вида сварочных работ.

Из полученных результатов следует, что изменение силы сварочного тока меньше влияет на эффективность сварочной панели. Расчеты показали, что при сварке с силой тока дуги $I = 100 \text{ А}$ в центральной области стола для поддержания ПДК в рабочей зоне достаточно V до $0.2 \text{ м}^3/\text{с}$, а

Нерегулярность течений окружающего воздуха подтекающих к отсосам для компенсации удаляемого воздуха, нестабильность теплофизических процессов сварки, перемещения точки сварки в плоскости стола и другие неопределенные факторы приводят к нарушению условий полного захвата конвективной струи отсосом и рассеиванию части вредных выделений во внутрицеховое пространство (рис. 4, 5).

При выполнении сварочного шва или точечной сварки габаритной конструкции снижение интенсивности всасывающего спектра в периферийных точках стола также приводит к выбиванию вредных веществ в помещение (рис. 5).

при силе тока дуги $I = 600 \text{ А}$, до $0.4 \text{ м}^3/\text{с}$. Для последнего случая концентрация оксида $C_{\text{уд}} = g/V = 3.6 \cdot 10^{-7} / 0.4 = 0.9 \text{ мг}/\text{м}^3$. Для периферийных областей при токе $I=600 \text{ А}$ необходимый объем воздуха составляет $0.4 - 0.6 \text{ м}^3/\text{с}$, а концентрация в отсасываемом воздухе приближается к ПДК. Таким образом, сварочная панель при сварке в периферийной области работает в режиме общеобменной вытяжки, что не является энергосберегающим решением, так как местные вытяжные системы более энергоемки чем общеобменные.

При отклонении влияющих факторов от оптимальных значений условия полного улавливания нарушаются и часть вредных выделений попадает в помещение. При отсутствии общеобменной вентиляции оценить величину выноса вредных примесей в помещение можно по формуле

$$g_{\text{вын}} = C_{\text{ср. в пом.}} \cdot L_{\text{отс}} \quad (3)$$

где $C_{\text{ср. в пом.}}$ – среднее значение концентрации вредных примесей в помещении, $L_{\text{отс}}$ – общий расход воздуха, удаляемый всеми отсосами.

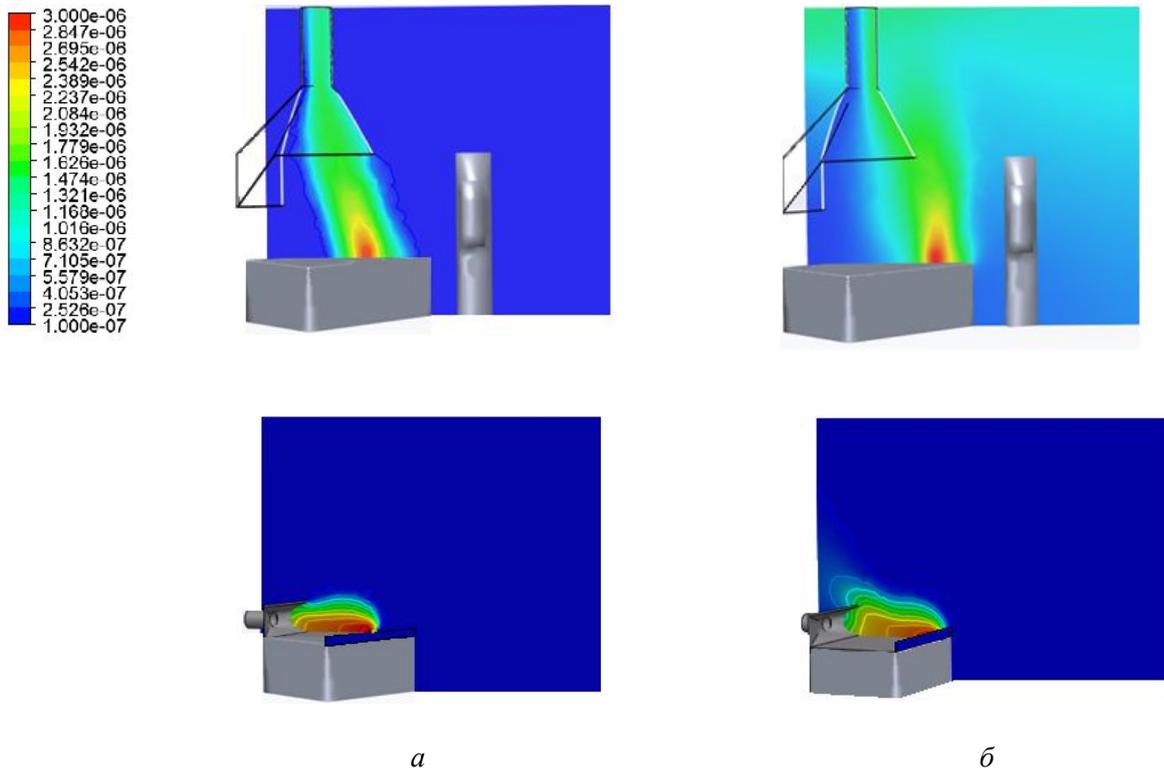


Рис. 5. Изменение распределения концентрации вредных выделений в рабочей зоне сварочного поста в зависимости от положения точки сварки. $I = 600$ А. $V = 0.4$ м³/с, а – центральная зона; б – периферийная зона

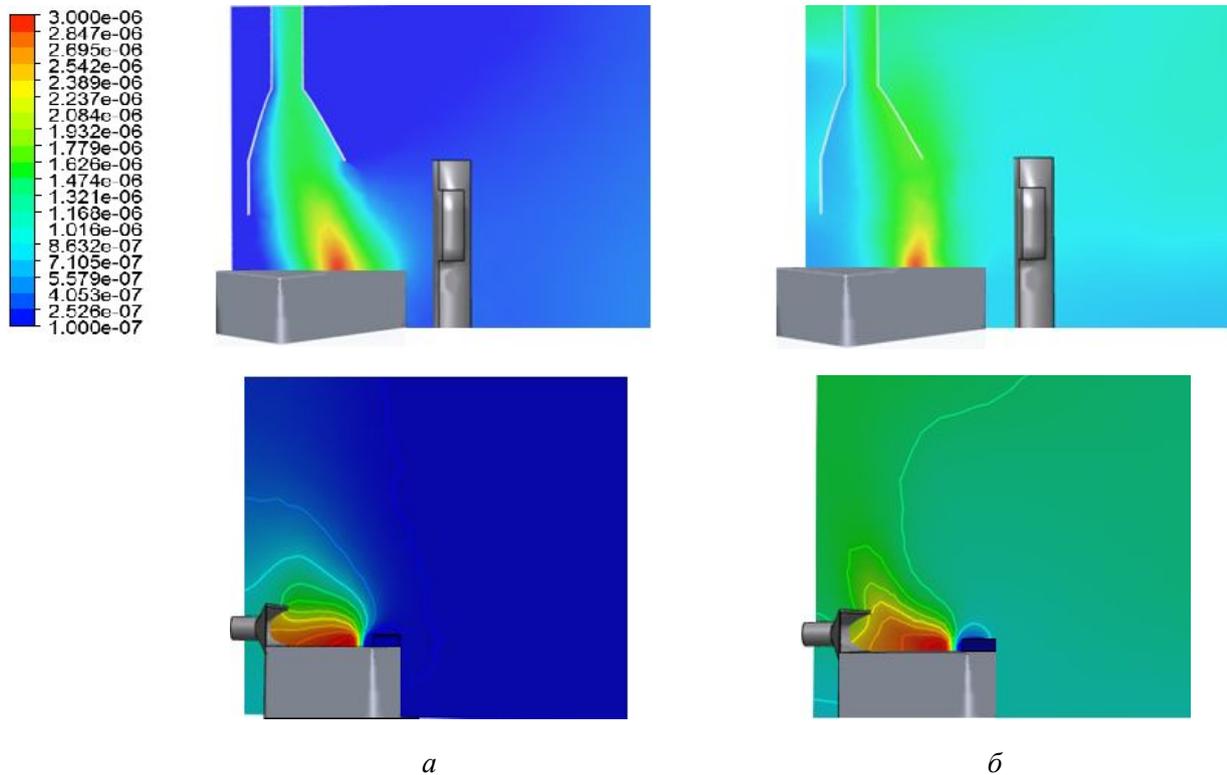


Рис. 6. Изменение распределения концентрации вредных выделений в рабочей зоне сварочного поста в зависимости от силы сварочного тока при сварке в центральной зоне сварочного стола.

Производительность панели $V = 0.25$ м³/с;
 производительность бокового отсоса $V = 0.1$ м³/с; производительность переддува
 $v = 0.05$ м³/с; а – $I = 100$ А, б – $I = 600$ А

Коэффициент аспирации отсоса можно вычислить по формуле:

$$k_{асп} = (g_{выд} \cdot g_{вын}) / g_{выд} \quad (4)$$

Числитель представляет собой количество вредных выделений, улавливаемых непосредственно от источника выделения. Остальная часть выделений $g_{вын}$, пройдя через помещение, возвращается в вытяжные устройства вместе с воздухом, компенсирующим их работу.

Величина $g_{вын}$ может быть минимизирована двумя способами: путем усовершенствования конструкций отсосов или увеличением производительности местных отсосов, что будет вести к снижению концентрации вредных примесей в удаляемом воздухе $C_{уд}$. Поэтому для количественной оценки энергетической эффективности

вытяжного устройства в работах [21, 22] наряду с производительностью местных отсосов и коэффициентом аспирации предлагается коэффициент эффективности:

$$k_{эфф} = \frac{C_{уд}}{C_{пдк}}, \quad (5)$$

а работу местного вытяжного устройства предлагается считать эффективной при $k_{эфф} > 1$, т.к. его уменьшение свидетельствует о приближении режима работы местных отсосов к режиму работы общеобменной вытяжки.

На графиках (рис. 7) показана зависимость коэффициента эффективности (5) отсосов от величины сварочного тока при условии сварки в центральной области стола.

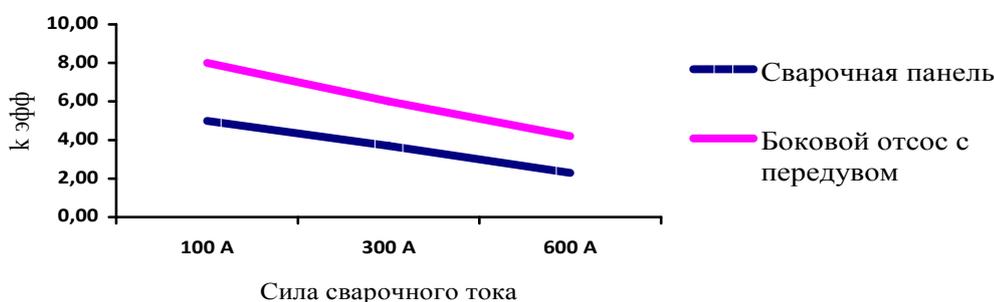


Рис. 7. График зависимости коэффициента эффективности отсоса от величины силы тока

Выводы. Разработка оптимальных технических решений по организации вентиляции электросварочного производства возможна лишь в рамках предлагаемого комплексного подхода, основанного на рациональном совмещении местной вытяжной вентиляции рабочих мест и общеобменной вентиляции помещений с применением методов математического и компьютерного моделирования.

Для основных типов стационарных отсосов установлена зависимость эффективности улавливания вредностей от следующих влияющих факторов: конструктивные особенности отсосов, расположение точки сварки в плоскости стола, сила сварочного тока. Найдены сочетания влияющих факторов, обеспечивающие предельно допустимые концентрации вредных примесей в рабочей зоне.

Полученные в статье результаты могут применяться для разработки инженерных методов расчета и оптимизации вентиляционных устройств и систем, а также для анализа конструктивных и проектных решений по устройству вентиляции электросварочных производств при их реконструкции и модернизации.

При тесном размещении сварочных постов возможно аэродинамическое взаимодействие

смежных отсосов. Особенности такого взаимодействия, а также его влияние на параметры микроклимата рабочих зон сварщиков планируется изучить в дальнейших исследованиях.

Источник финансирования. Исследование выполнено за счет гранта РФФИ (проект 18-79-10025).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Логачев И.Н., Логачев К.И., Аверкова О.А. Энергосбережение в аспирации. М.: Изд-во НИЦ "Регулярная и хаотическая динамика", 2013. 504 с.
2. Посохин В.Н. Расчет местных отсосов от тепло- и газовыделяющего оборудования. М.: Машиностроение, 1984. 160 с.
3. Месхи Б.Ч., Булыгин Ю.И., Легконогих А.Н., Гайдено А.Л. Математическое и компьютерное моделирование формирования параметров производственной среды в целях проектирования и оптимизации систем вентиляции помещений // Вестник ДГТУ. 2014. №2. С. 46-55.
4. Писаренко В.Л., Рогинский М.Л. Вентиляция рабочих мест в сварочном производстве. М.: Машиностроение, 1981. 120 с.

5. Минко В.А., Логачев И.Н., Логачев К.И., Шаптала В.Г. Обеспыливающая вентиляция. Белгород: Изд-во БГТУ, 2010. 565 с.
6. Logachev I., Logachev K., Averkova O. Local Exhaust Ventilation: Aerodynamic Processes and Calculations of Dust Emissions. Boca Raton, 2015. 431 p.
7. Шаптала В.Г., Горлов А.С., Северин Н.Н., Гусев Ю.М. Вопросы комплексного обеспыливания производственных помещений предприятий промышленности строительных материалов. Вестник БГТУ. 2019. № 1. С. 81–85.
8. Копин С.В. Компьютерное моделирование параметров приточно-вытяжной вентиляционной системы // Безопасность труда в промышленности. 2020. № 2. С. 7–11.
9. Логачев И.Н., Логачев К.И., Аверкова О.А., Крюков И.В. Методы снижения энергоемкости систем аспирации // Новые огнеупоры. 2014. №2. С. 51–56.
10. Пухкал В.А., Суханов К.О., Гримитлин А.М. Энергосбережение в системах промышленной вентиляции // Вестник гражданских инженеров. 2016. № 6. С. 156–162.
11. Гримитлин А.М., Знаменский Р.Б., Крупкин Г.Я., Луканина М.А. Исследование подавления и локализации конвективных потоков от тепловыделяющего технологического оборудования с использованием метода математического моделирования // Инженерные системы. АВОК – Северо-Запад. 2011. № 2. С. 36–40.
12. Гримитлин А.М., Позин Г.М. Вентиляция и отопление судостроительных производств // Инженерно-строительный журнал. 2013. №6. С. 7–11.
13. Grimitlin A.M. Ventilation of electric welding production. World Applied Sciences Journal. 2013. Vol. 23. No. 13. Pp. 50–54.
14. Уляшева В.М., Гримитлин А.М., Черников Н.А. Повышение эффективности способов очистки вентиляционных выбросов на предприятиях строительной индустрии // Вода и экология: проблемы и решения. 2018. № 4. С. 92–98.
15. Овсянников Ю.Г., Гольцов А.Б., Семенов А.С., Логачев К.И., Уваров В.А. Снижение энергопотребления вентиляционных систем через снижение энергопотребления вентиляционных систем через принудительную рециркуляцию // Огнеупоры и техническая керамика. 2017. Т. 57. № 5. С. 557–561.
16. Эльтерман В.М. Вентиляция химических производств. М.: Изд-во Химия, 1980. 288 с.
17. Лойцянский Л.Г. Механика жидкости и газа. М.: Наука. 1973. 898 с.
18. Патанкар С. Численные методы решения задач теплообмена и динамики жидкости. М.: Энергоатомиздат, 1984. 152 с.
19. Versteeg, H. K., Malasekera. An Introduction to CFD Finite volume method. London: Pearson Education Limited, 2007. 517 p.
20. Позин Г.М. Местная вытяжная вентиляция – самый эффективный способ организации воздухообмена в помещении // Журнал С.О.К. № 10. 2006. С. 106–111.
21. Zhixiang Cao, Yi Wang and Meng Wang. A Comparison of Concentrated Contaminant Removal in Enclosure by Using Mixing Ventilation and Vortex Ventilation. International Conference on Building Energy & Environment. 2018. Pp. 136–145.

Информация об авторах

Шаптала Вадим Владимирович, кандидат технических наук, доцент кафедры информационных технологий. E-mail: shaptalavadim@yandex.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Хукаленко Евгений Евгеньевич, аспирант. E-mail: jve2008@yandex.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Северин Николай Николаевич, доктор педагогических наук, профессор, нач. кафедры огневой подготовки. E-mail: belui@mvd.ru. Белгородский юридический институт им. И.Д. Путилина. Россия, 308012, Белгород, ул. Горького, д. 31.

Гусев Юрий Михайлович, аспирант, зам. нач. кафедры огневой подготовки. E-mail: belui@mvd.ru. Белгородский юридический институт им. И.Д. Путилина. Россия, 308012, Белгород, ул. Горького, д. 31.

Поступила 12.05.2020 г.

© Шаптала В.В., Хукаленко Е.Е., Северин Н.Н., Гусев Ю.М., 2020

^{1,*}Shaptala V.V., ¹Khukalenko E.E., ²Severin N.N., ²Gusev Yu.M.

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

²Belgorod Law Institute of the Ministry of Internal Affairs named after I.D. Putilina

*E-mail: ShaptalaVadim@yandex.ru

DEVICES AND VENTILATION PROCESS DURING EXECUTION ELECTRIC WELDING

Abstract. The main direction of normalizing the parameters of the air during electric welding is proposed to consider the installation of an integrated ventilation system that combines local exhaust ventilation of welder jobs and general ventilation of rooms. In the article using the computer simulation method, the fields of air mobility, its temperature and concentration of harmful impurities are calculated and a comparative analysis of the main types of stationary devices for local exhaust ventilation of electric welding jobs: exhaust umbrellas, welding panels, and suction blowers, as well as the conditions for effective use of rotary suction pumps. Factors affecting the efficiency of their work are identified and combinations of influencing factors that provide the maximum permissible concentration of harmful emissions in the welders' working areas are established. The conditions are determined under which the general exchange effect of local suction is sufficient to maintain indoor concentration at the MPC level. The results obtained can be used to develop engineering methods for calculating and optimizing ventilation devices and systems, as well as to analyze structural and design solutions for ventilation devices in electric welding plants.

Keywords: Arc welding, local exhaust ventilation, general ventilation, efficiency, computer simulation.

REFERENCES

1. Logachev I.N., Logachev K.I., Averkova O.A. Energy saving in aspiration [Energoberezhenie v aspiracii]. M: Research Center "Regular and chaotic dynamics". 2013. 504 p. (rus)
2. Posokhin V.N. Calculation of local exhaust from heat and gas equipment [Raschet mestnyh otosov ot teplo- i gazovydelayayushchego oborudovaniya]. M: Mechanical Engineering, 1984. 160 p. (rus)
3. Meskhi B.Ch., Bulygin Yu.I., Light-legged A.N., Gaidenko A.L. Mathematical and computer modeling of the formation of the parameters of the industrial environment in order to design and optimize the ventilation systems of the premises [Matematicheskoe i komp'yuternoe modelirovanie formirovaniya parametrov proizvodstvennoj sredy v celyah proektirovaniya i optimizacii sistem ventilyacii pomeshchenij]. Bulletin of DSTU. 2014. No. 2. Pp. 46–55.
4. Pisarenko V.L., Roginsky M.L. Ventilation of jobs in the welding industry [Ventilyaciya rabochih mest v svarochnom proizvodstve]. M: Mechanical Engineering. 1981. 120 p. (rus)
5. Minko V.A., Logachev I.N., Logachev K.I., Shaptala V.G. Dust ventilation [Obespylivayushchaya ventilyaciya]. Belgorod: izd-vo BSTU. 2010. 565 p. (rus)
6. Ivan Logachev, Konstantin Logachev, Olga Averkova. Local Exhaust Ventilation: Aerodynamic Processes and Calculations of Dust Emissions. Boca Raton: CRC Press. 2015. 431 p.
7. Shaptala V.G., Gorlov A.S., Severin N.N. Issues of complex dust removal of industrial premises of building materials industry enterprises [Voprosy kompleksnogo obespylivaniya proizvodstvennyh pomeshchenij predpriyatij promyshlennosti stroitel'nyh materialov]. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2019. No. 1. Pp. 81–85. (rus)
8. Kopin S.V. Computer simulation of the parameters of the supply and exhaust ventilation system Labor safety in industry [Komp'yuternoe modelirovanie parametrov pritochno-vytyazhnoj ventilyacionnoj sistemy]. 2020. No. 2. Pp. 7–11. (rus)
9. Logachev I.N., Logachev K.I., Averkova O.A., Kryukov I.V. Methods for reducing the energy intensity of aspiration systems [Metody snizheniya energoemkosti sistem aspiracii]. Novye ogneupory. 2014. No. 2. Pp. 51–56. (rus)
10. Pukhkal V.A., Sukhanov K.O., Grimmitlin A.M. Energy saving in industrial ventilation systems. Bulletin of civil engineers [Energoberezhenie v sistemah promyshlennoj ventilyacii]. 2016. No. 6. Pp. 156–162. (rus)
11. Grimmitlin A.M., Znamensky RB, Krupkin G.Ya., Lukanina M.A. The study of suppression and localization of convective flows from fuel technological equipment using the method of mathematical modeling [Issledovanie podavleniya i lokalizacii konvektivnyh potokov ot teplovydelayayushchego tekhnologicheskogo oborudovaniya s ispol'zovaniem metoda matematicheskogo modelirovaniya]. Engineering systems. ABOK - Northwest. 2011. No. 2. Pp. 36–40. (rus)
12. Grimmitlin A.M., Pozin G.M. Ventilation and heating of shipbuilding industries [Ventilyaciya i otoplenie sudostroitel'nyh proizvodstv]. Civil Engineering Journal. 2013. No. 6. Pp. 7–11. (rus)
13. Grimmitlin A.M. Ventilation of electric welding production. World Applied Sciences Journal. 2013. Vol. 23. No. 13. Pp. 50–54.
14. Ulyasheva V.M., Grimmitlin A.M., Chernikov N.A. Improving the efficiency of exhaust emission cleaning methods at the enterprises of the

construction industry [Povyshenie effektivnosti sposobov oчитки ventilyacionnyh vybrosov na predpriyatiyah stroitel'noj industrii]. Water and ecology: problems and solutions. 2018. No. 4. Pp. 92–98. (rus)

15. Ovsyannikov Yu.G., Goltsov A.B., Seminenko A.S., Logachev K.I., Uvarov V.A. Reducing the energy consumption of ventilation systems through reducing the energy consumption of ventilation systems through forced recirculation [Snizhenie energopotrebleniya ventilyacionnyh sistem cherez snizhenie energopotrebleniya ventilyacionnyh sistem cherez prinuditel'nyuyu recirkulyaciyu]. Refractories and technical ceramics. 2017. Vol. 57. No. 5. Pp. 557–561. (rus)

16. Elterman V.M. Ventilation of chemical industries [Ventilyaciya himicheskikh proizvodstv]. M: Chemistry, 1980. 288 p. (rus)

17. Loitsyansky L.G. Mechanics of fluid and gas [Mekhanika zhidkosti i gaza]. M: Science, 1973. 898 p. (rus)

18. Patankar S. Numerical methods for solving heat transfer problems and fluid dynamics [Chislennyye metody resheniya zadach teploobmena i dinamiki zhidkosti]. Moscow: Energoatomizdat, 1984. 152 p. (rus)

19. Versteeg H.K., Malasekera. An Introduction to CFD Finite volume method. London: Pearson Education Limited, 2007. 517 p.

20. Pozin G.M. Local exhaust ventilation is the most effective way of organizing indoor air exchange [Mestnaya vytyazhnaya ventilyaciya — samyj effektivnyj sposob organizacii vozduhoobmena v pomeshchenii]. Journal S.O.K. No. 10. 2006. Pp. 106–111. (rus)

21. Zhixiang Cao, Yi Wang and Meng Wang. A Comparison of Concentrated Contaminant Removal in Enclosure by Using Mixing Ventilation and Vortex Ventilation. International Conference on Building Energy & Environment. 2018. Pp. 136–145.

Information about the authors

Shaptala, Vadim V. PhD. E-mail: shaptalavadim@yandex.ru. Belgorod State Technological University. V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod 46, Kostyukova st.

Khukalenko, Evgeny E. Graduate student. E-mail: jve2008@yandex.ru. Belgorod State Technological University. V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod 46, Kostyukova st.

Severin, Nikolay N. DSc, Professor. E-mail: belui@mvd.ru. Belgorod Law Institute I.D. Putilina. Russia, 308012, Belgorod 31, Gorky st.

Gusev, Yuri M. Graduate student. E-mail: belui@mvd.ru. Belgorod Law Institute I.D. Putilina. Russia, 308012, Belgorod 31, Gorky st.

Received 12.05.2020

Для цитирования:

Шаптала В.В., Хукаленко Е.Е., Северин Н.Н., Гусев Ю.М. Устройства и процессы вентиляции при выполнении электросварочных работ // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2020. № 9. С. 21–29. DOI: 10.34031/2071-7318-2020-5-9-21-29

For citation:

Shaptala V.V., Khukalenko E.E., Severin N.N., Gusev Yu.M. Devices and ventilation process during execution electric welding. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2020. No. 9. Pp. 21–29. DOI: 10.34031/2071-7318-2020-5-9-21-29

DOI: 10.34031/2071-7318-2020-5-9-30-36

***Гражданкин А.А., Иванченко В.Т.**

Кубанский государственный технологический университет

*E-mail: grazhdankin.aa@mail.ru

УТОЧНЕНИЕ СОЛНЕЧНОГО КЛИМАТА Г. КРАСНОДАРА ДЛЯ ЭФФЕКТИВНОЙ РАБОТЫ СОЛНЕЧНЫХ ПАНЕЛЕЙ В ЖИЛЫХ ЗДАНИЯХ. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ЗА 2014–2020 ГОДЫ

Аннотация. Статья является продолжением статьи под названием «Уточнение солнечного климата г. Краснодара для эффективной работы солнечных батарей в жилых зданиях», опубликованной в Вестнике БГТУ им. В.Г. Шухова в 2017 году. В настоящее время подавляющее большинство стационарных метеостанций, расположены на достаточно большом расстоянии от зоны, в которой необходимо оценить потенциал возобновляемых энергоресурсов. В статье публикуются результаты натурных исследований солнечного климата г. Краснодара, проведенные с 2014 по 2020 годы. Приводится сравнение результатов исследования с нормативной документацией и климатическим справочником. Применение солнечных батарей является одним из важных факторов по уменьшению вредных выбросов в атмосферу. Для правильного подбора количества солнечных панелей необходимо как можно точнее знать количество солнечной энергии, которое будет попадать на эту панель. Исходя из этой информации можно рассчитать количество энергии, которую будет вырабатывать солнечная энергосистема здания, либо солнечная электростанция. Правильный подбор количества солнечных панелей влияет на качество жизни людей и позволяет полностью покрыть энергопотребление зданий и сооружений, использующих солнечную энергетику в качестве основного источника энергии.

Ключевые слова: инсоляция, система автономного жизнеобеспечения, солнечный климат, солнечная батарея, солнечная радиация.

Введение. Новые технологий в настоящее время направлены главным образом на понижение негативного воздействия на окружающую среду и переход с невозобновляемых источников энергии на возобновляемые. Наиболее сильное негативное воздействие на окружающую среду оказывает сжигание топлива для отопления зданий и производства электрической энергии. Использование солнечных батарей для получения электрической энергии один факторов, оказывающих большое влияние на снижение вредных выбросов в атмосферу и замедление развития «парникового эффекта».

Главный источник энергии на нашей планете – это Солнце. В современном мире солнечной энергии оказывается очень большое внимание, а также изучаются возможности её прямого использования. Ежесекундно солнце выделяет $370 \cdot 10^{12}$ ТДж тепловой энергии. Из всего объема этой энергии до Земли доходит только $1,2 \cdot 10^5$ ТВт в энергетическом эквиваленте, что при переводе на годовое поступление – $38 \cdot 10^{20}$ кВт.ч. Это больше в 108 раз, чем производится в мире для потребления [1]. «Солнечная постоянная» – это то количество солнечной энергии, которая проходит в форме излучения за единицу времени через поверхность площадью в 1 м^2 , перпендикулярно направлению прямой, проходящей через центр Солнца и Земли. Значение этой постоянной при входе в земную атмосферу – 1367 Вт/м^2 . Количество солнечной энергии, которая попадает

на верхнюю границу земной атмосферы в среднем – 341 Вт/м^2 , а на поверхность Земли попадает 184 Вт/м^2 [2]. Длина волн солнечного излучения находится в промежутке между 0,3 и 2,5 мкм. Данный диапазон называется коротковолновым и в него входит видимая часть спектра. [3]

Численное измерение солнечной радиации производят по значению её теплового воздействия на окружающую среду (калорий за единицу времени на единицу поверхности). Спектральный состав и интенсивность солнечной радиации изменяется при прохождении через земную атмосферу и зависит от расстояния, которое прошли солнечные лучи. На уровне моря уровень солнечной радиации составляет не более $1,5 \text{ кал/(см}^2 \cdot \text{мин)}$ и чем выше над ним происходят замеры - тем выше интенсивность потока.

Количество времени, на протяжении которого прямая солнечная радиация будет больше, либо равна $0,1 \text{ кВт/м}^2$ называется продолжительностью солнечного сияния. Оно измеряется на стационарных метеорологических станциях. Измерение остальных компонентов солнечной радиации производят на специализированные актинометрические станции.

В современном мире процент преобразования солнечной энергии в электрическую для большинства солнечных панелей составляет 13–18 %. В лабораторных же условиях смогли добиться КПД в 24 % для самых современных образцов [4].

Первичную оценку эффективности применения солнечной системы электроснабжения и отопления можно произвести по данным научно-прикладного справочника «Климат России» [5] и СП 131.13330.2018. Данные, полученные из этих источников, позволяют произвести ориентировочную оценку количества солнечной радиации, попадающей на интересующую нас местность. Исходя из этого можно произвести экономический и технический анализ рентабельности и эффективности применения солнечной системы.

В настоящее время оценку потенциала солнечных систем производят исходя из данных, которые передают стационарные метеостанции. Очень часто эти метеостанции находятся на удалении от места определения потенциала и не все

из них оборудованы датчиками измерения солнечной радиации. Так же измерения на данных метеостанциях производят несколько раз в сутки, что так же влияет на точность получаемой информации [6].

Методика проведения исследования. Первичную оценку количества солнечной радиации для города Краснодара, попадающей на горизонтальную поверхность, будем производить по данным, полученным из научно-прикладного справочника «Климат России», для метеостанции 34927 Круглик (таблица 1) и из СП 131.13330.2018 «Строительная климатология» (табл. 2).

Таблица 1

Средние значения суммарной солнечной радиации на горизонтальную поверхность (кВт·ч/м²) при безоблачном небе для метеостанции 34927 Круглик с 1965 г. по 2000 г.

Индекс ВМО	Название станции	Радиация	Месяц, кВт·ч/м ²												Год
			Январь	Февраль	Март	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь	Декабрь	
34927	Краснодар, Круглик	суммарная радиация на горизонтальную поверхность	62,50	91,11	147,22	189,44	234,16	239,72	231,67	202,78	156,94	115,28	60,83	53,61	1785,26

Таблица 2

Значение суммарной солнечной радиации (прямой и рассеянной) на горизонтальную поверхность при безоблачном небе (МДж/м² и кВт·ч/м²) для города Краснодара согласно СП 131.13330.2018 «Строительная климатология»

Единицы измерения	Месяц												Год
	Январь	Февраль	Март	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь	Декабрь	
МДж/м ²	227,29	342,27	582,25	735,10	880,71	913,98	898,75	770,88	607,04	450,72	251,29	187,80	6848,08
кВт·ч/м ²	63,14	95,08	161,74	204,19	244,64	253,88	249,65	214,13	168,62	125,20	69,80	52,17	1902,24

Для проведения исследования солнечного климата города Краснодара в условиях жилой застройки, при поддержке фирмы ООО «Солнечный центр» в октябре 2014 года в экспериментальном доме [7] на солнечную панель был смон-

тирован датчик измерения инсоляции и плотности теплового потока Sunny Sensorbox, который производит компания SMA Solar Technology AG. Данный датчик в автоматическом режиме проводит измерения с периодичностью замера 1 раз в

час, что составляет 24 замера в сутки. Полученные результаты измерения передаются на сервер компании SMA Solar Technology AG (рис. 1). Для определения количества солнечной энергии, которая попадает на поверхность солнечных батарей, а также условий работы этих батарей и здания в целом, был произведен анализ переданной информации о суммарной солнечной радиации (кВт·ч)/м², которая была получена с датчика Sunny Sensorbox. Для проведения сравнитель-

ного анализа данных, полученных из справочника для метеостанции, данных из СП 131.13330.2018 и реальных условий работы солнечных панелей в городской застройке при загрязнении атмосферы пылью и выхлопными газами (место установки датчика расположено в непосредственной близости одной из самых загруженных транспортных артерий г. Краснодара) используем данные, полученные во время исследований за 2014-2020 годы. Результаты исследования приведены в таблице 3.

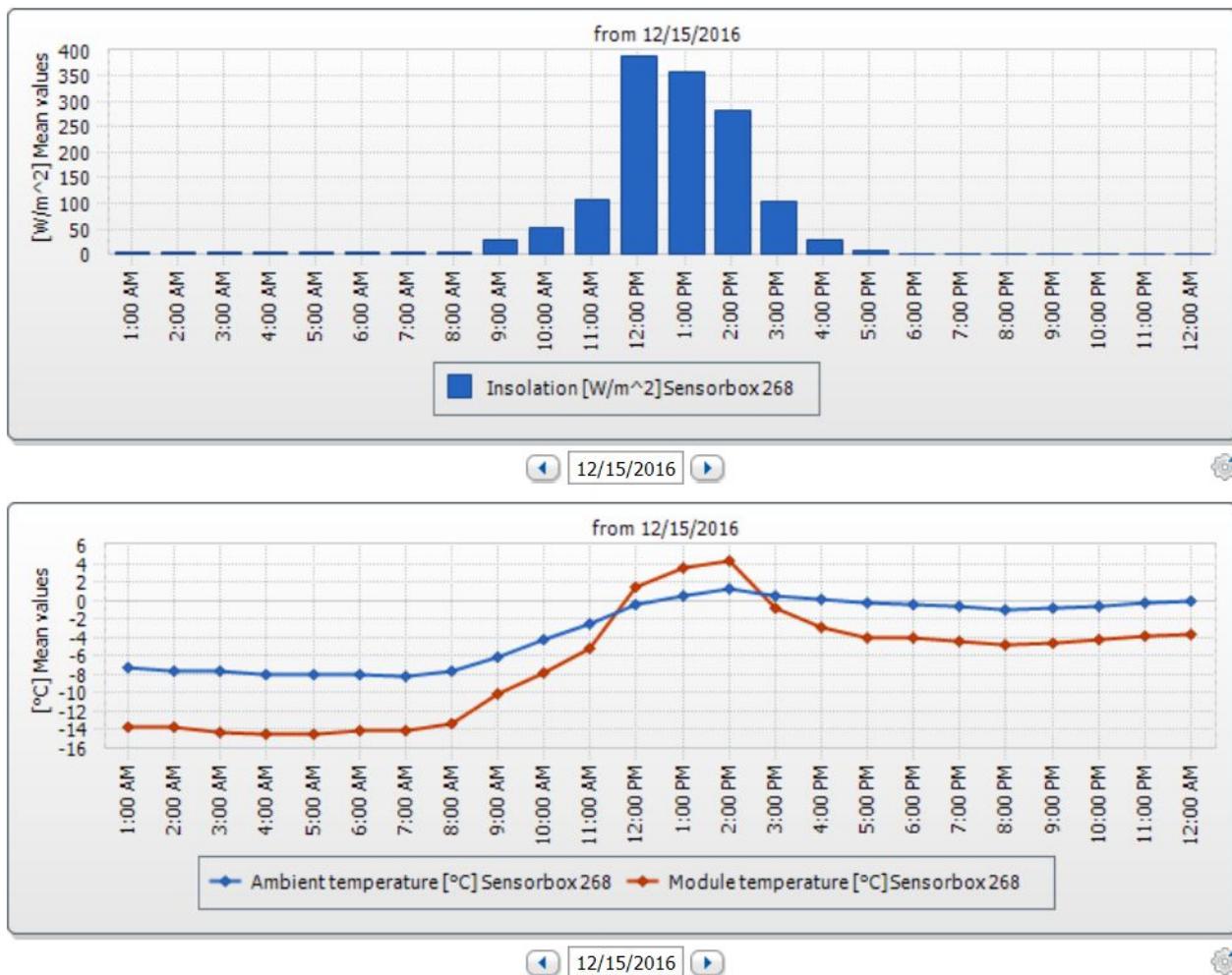


Рис. 1. Распределение плотности потока солнечной энергии, попадающей на солнечный модуль в течение дня. Данные получены от датчика инсоляции Sunny Sensorbox

Результаты исследования. Исходя из полученных результатов можно сделать следующий вывод (таблица 3 и рисунок 2), что количество солнечной радиации, которое попадает на солнечную панель, на 14,3 % ниже, чем указано в научно-прикладном справочнике «Климат России» и на 19,5 % ниже чем мы получаем расчётом согласно СП 131.13330.2018. Данные результаты объясняются тем, что датчик установлен параллельно поверхности солнечной батареи, т.е. под

углом 45 градусов к горизонтальной поверхности и повернут в направлении юга. В нормативных же документах приводится информация о количестве солнечной радиации, попадающей на горизонтальную поверхность. Так же нормативная документация не учитывает загрязнение атмосферы, городской смог и другие факторы, влияющие на поток солнечной радиации.

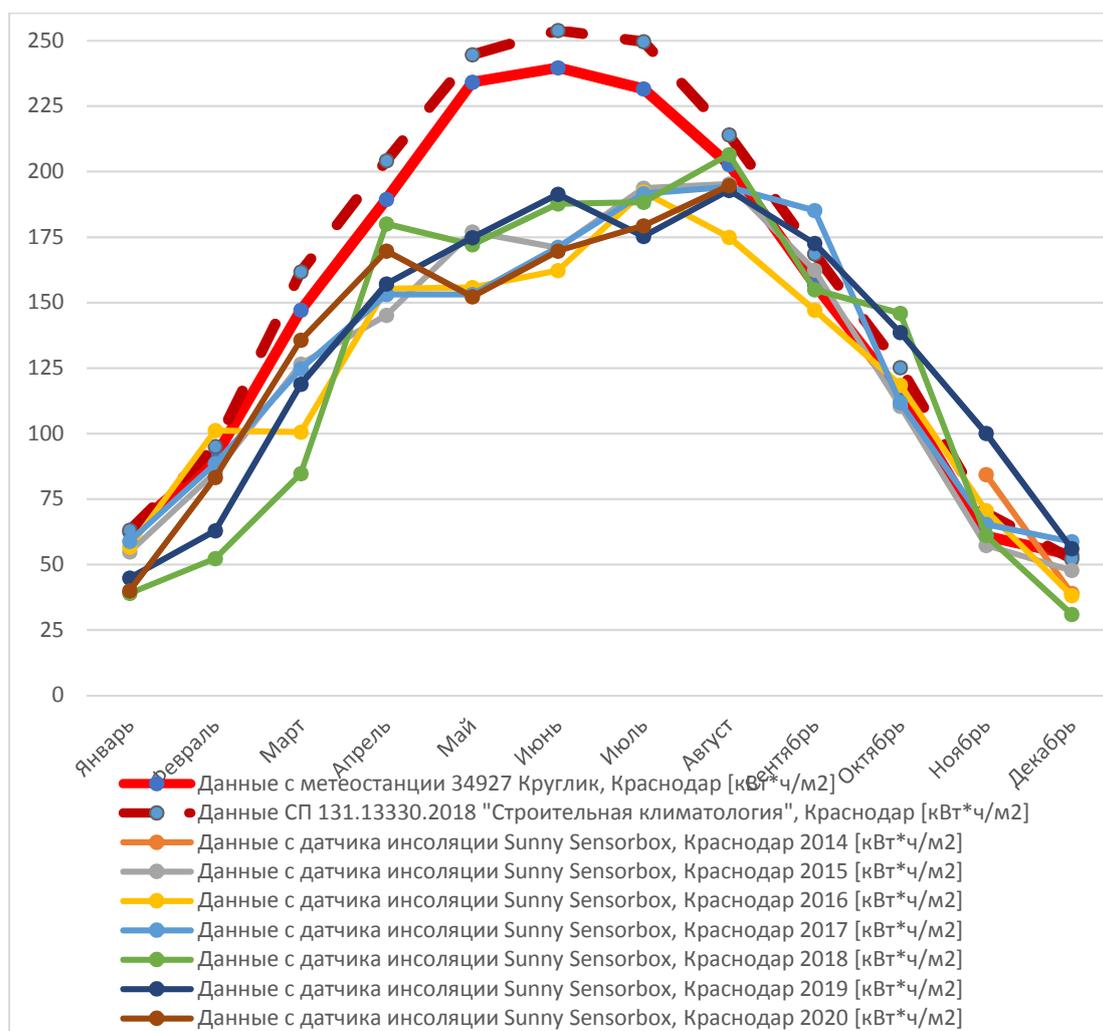


Рис. 2. Сравнительный анализ инсоляции в реальной городской застройке в г. Краснодар с данными из СП 131.13330.2018 и Научно-прикладного справочника «Климат России».

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Сафаров М.Г., Раупов Н.М., Рахимов З.С. Применение солнечных электростанций в южных регионах республики Таджикистан // Вестник Бохтарского государственного университета имени Носира Хусрава. Серия естественных наук. 2016. № 2-2(38). С. 66–69.

2. Trenberth K.E., Fasullo J.T., Kiehl J. Earth's global energy budget // Bulletin of the American Meteorological Society. 2009. Vol. March. Pp. 311–323.

3. Стадник В.В., Елистратов В.В. Возобновляемые энергетические ресурсы // Труды главной геофизической обсерватории им. А.И. Воейкова. 2014. № 574. С. 179–223.

4. Авагян С.К. Влияние расположения солнечного диска на эффективность работы солнечной батареи // Наука, техника и образование. 2020. № 3. С. 32–35.

5. Научно-прикладной справочник «Климат России» [Электронный ресурс]. URL.: <http://aisori.meteo.ru/ClspR/> (дата обращения: 12.07.2020)

6. Иванченко В.Т., Гражданкин А.А. Уточнение солнечного климата г.Краснодара для эффективной работы солнечных батарей в жилых зданиях // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2017. №7. С. 47–51.

7. Иванченко В.Т., Гражданкин А.А., Зайцев А.А. Пассивное энергосберегающее здание для Краснодарского края // Жилищное строительство. 2014. № 11. С. 10–11.

8. Савин В.К. Строительная физика. Энергоэкономика. М.: Лазурь, 2011. 418 с.

9. Гусев Н.М. Основы строительной физики. М.: Стройиздат, 1975. 230 с.

10. Богословский В.Н. Строительная теплофизика (теплофизические основы отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха): Учебник для вузов. М.: Книга по Требованию, 2013. 416 с.

11. Бекман У., Клейн С., Даффи Дж. Расчет систем солнечного теплоснабжения. М.: Энергоиздат, 1982. 78 с.

12. Бутузов В. А., Шетов В. Х. Возобновляемые источники энергии. Региональный опыт

Краснодарского края // Энергосбережение. 2008. № 6. С. 81–83.

13. Crook J. A. Climate change impacts on future photovoltaic and concentrated solar power energy output // Energy and environmental science. 2011. Vol. 4. P. 3101-3109.

14. Geyer M., Quaschnig V. Solar thermal power // Renewable Energy World. 2000. Vol. July-Aug. P. 184-191.

15. Hoogwijk M., Supersberger N., von Winterfeld U. and Samadi S. Role Potential of Renewable Energy and Energy Efficiency for Global Energy Supply // Climate Change. Federal Environment Agency. 2009. Vol. 18. Pp. 336.

Информация об авторах

Гражданкин Артем Андреевич, аспирант, старший преподаватель кафедры Архитектуры гражданских и промышленных зданий и сооружений. E-mail: grazhdankin.aa@mail.ru. Кубанский государственный технологический университет. Россия, 350072, Краснодарский край, г. Краснодар, ул. Московская, д. 2.

Иванченко Владимир Тихонович, кандидат технических наук, профессор, заведующий кафедрой архитектуры гражданских и промышленных зданий и сооружений. E-mail: vladimir.ivanchenko.1945@mail.ru. Кубанский государственный технологический университет. Россия, 350072, Краснодарский край, г. Краснодар, ул. Московская, д. 2.

Поступила 12.07.2020 г.

© Гражданкин А.А., Иванченко В.Т. 2020

***Grazhdankin A.A., Ivanchenko V.T.**
Kuban State Technological University
*E-mail: grazhdankin.aa@mail.ru

REFINING THE SOLAR CLIMATE OF KRASNODAR FOR THE EFFECTIVE WORK OF SOLAR PANELS IN RESIDENTIAL BUILDINGS. RESEARCH RESULTS FOR 2014-2020

Abstract. The article is a continuation of the article entitled "Reconciliation of the solar climate of Krasnodar for the effective operation of solar panels in residential buildings" published in the Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov in 2017. At present, the vast majority of stationary weather stations are located at a sufficiently large distance from the zone in which it is necessary to assess the potential of renewable energy resources. The article presents the results of field studies of the solar climate of Krasnodar conducted from 2014 to 2020. The results of the study are compared with normative documentation and a climate guide. The use of solar panels is an important factor to reduce harmful emissions into the atmosphere. For the correct selection of the number of solar panels, it is necessary to know the exact amount of solar energy that will fall on this panel. This information allows to calculate the amount of energy that will be generated by the building's solar energy system or solar power station. The correct selection of the number of solar panels affects the quality of life of people and allows to fully cover the energy consumption of buildings and structures using solar energy as the main source of energy.

Keywords: insolation, autonomous life support system, solar climate, solar battery, solar radiation.

REFERENCES

1. Safarov M.G., Raupov N.M., Rakhimov Z.S. The use of solar power plants in the southern regions of the Republic of Tajikistan [Primenenie solnechnykh elektrostancij v yuzhnyh regionah respubliky Tadjikistan]. Bulletin of the Bohtar State University named after Nosir Khusrava. A series of natural sciences. 2016. No. 2-2 (38). Pp. 66–69. (rus)

2. Trenberth K.E., Fasullo J.T., Kiehl J. Earth's global energy budget. Bulletin of the American Meteorological Society. 2009. Vol. March. Pp. 311–323.

3. Stadnik V.V., Elistratov V.V. Renewable energy resources [Vozobnovlyаемые энергетические

ресурсы]. Proceedings of the main geophysical observatory. A.I. Voeikova. 2014. No. 574. Pp. 179–223. (rus)

4. Avagyan S.K. The influence of the location of the solar disk on the efficiency of the solar battery [Vliyanie raspolozheniya solnechnogo diska na effektivnost' raboty solnechnoj batarei]. Science, technology and education. 2020. No. 3. Pp. 32–35. (rus)

5. Scientific-applied reference "Climate of Russia" [Nauchno-prikladnoj spravochnik «Klimat Rossii»]. URL.: <http://aisori.meteo.ru/ClspR/> (date of treatment: 12.07.2020) (rus)

6. Ivanchenko V.T., Grazhdankin A.A. Reconciliation of the solar climate of Krasnodar for effective work of solar batteries in residential buildings [Utochnenie solnechnogo klimata g.Krasnodara dlya effektivnoy raboty solnechnykh batarej v zhilykh zdaniyakh]. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2017. No. 7. Pp. 47–51. (rus)

7. Ivanchenko V.T., Grazhdankin A.A., Zaitsev A.A. Passive energy-saving building for the Krasnodar Territory [Passivnoe energosberegayushchee zdanie dlya Krasnodarskogo kraya]. Zhilishchnoe stroitel'stvo. 2014. No. 11. Pp. 10–11. (rus)

8. Savin V.K. Building physics. Energy Economics [Stroitel'naya fizika. Energoekonomika]. M.: Lazur, 2011. 418 p. (rus)

9. Gusev N.M. Fundamentals of building physics [Osnovy stroitel'noy fiziki]. M.: Stroyizdat, 1975. 230 p. (rus)

10. Theological V.N. Construction Thermophysics (Thermophysical Basics of Heating, Ventilation and Air Conditioning) [Stroitel'naya teplofizika

(teplofizicheskie osnovy otopleniya, ventilyacii i kondicionirovaniya vozduha)]: Textbook for universities. M.: Book on Demand, 2013. 416 p. (rus)

11. Beckman W., Klein S., Duffy J. Calculation of solar heat supply systems. M.: Energoizdat, 1982. 78 p.

12. Crook J.A. Climate change impacts on future photovoltaic and concentrated solar power energy output. Energy and environmental science. 2011. Vol. 4. Pp. 3101–3109.

13. Geyer M., Quaschnig V. Solar thermal power. Renewable Energy World. 2000. Vol. July-Aug. Pp. 184–191.

14. Hoogwijk M., Supersberger N., von Winterfeld U. and Samadi S. Role Potential of Renewable Energy and Energy Efficiency for Global Energy Supply. Climate Change. Federal Environment Agency. 2009. Vol. 18. Pp. 336.

Information about the authors

Grazhdankin, Artem A. Postgraduate student. Senior Lecturer. E-mail: grazhdankin.aa@mail.ru. Kuban State Technological University. Russia, 350072, Krasnodar, st. Moskovskaya, 2.

Ivanchenko, Vladimir T. PhD, Professor. Head of the Department of Architecture of Civil and Industrial Buildings and Structures. E-mail: vladimir.ivanchenko.1945@mail.ru. Kuban State Technological University. Russia, 350072, Krasnodar, st. Moskovskaya, 2

Received 12.07.2020

Для цитирования:

Гражданкин А.А., Иванченко В.Т. Уточнение солнечного климата г. Краснодара для эффективной работы солнечных панелей в жилых зданиях. Результаты исследования за 2014 – 2020 годы. // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2020. № 9. С. 30–36. DOI: 10.34031/2071-7318-2020-5-9-30-36

For citation:

Grazhdankin A.A., Ivanchenko V.T. Refining the solar climate of krasnodar for the effective work of solar panels in residential buildings. Research results for 2014-2020. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2020. No. 9. Pp. 30–36. DOI: 10.34031/2071-7318-2020-5-9-30-36

DOI: 10.34031/2071-7318-2020-5-9-37-45

¹Токарев А.Г., ²*Сидоренко Н.Р.¹Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет²Южный Федеральный Университет Академия архитектуры и искусств,

*E-mail: ya.sinaro@yandex.ru

САНАТОРИЙ «УДАРНИК» В ЖЕЛЕЗНОВОДСКЕ: О ВЛИЯНИИ ГРАДОСТРОИТЕЛЬНЫХ ФАКТОРОВ НА АРХИТЕКТУРУ

Аннотация. Обеспечение надлежащего отдыха трудящихся являлось одной из основных задач, возникшей перед правительством СССР уже на ранних сроках становления советской власти. В связи с этим была дана установка на улучшение состояния курортных областей страны. В городах, расположенных вдоль Черноморского побережья, а также входящих в группу Кавказских Минеральных Вод, развернулось крупномасштабное строительство новых домов отдыха, санаторных и лечебных комплексов. Проектирование в курортных районах усложнялось наличием таких важнейших особенностей этих территорий, как горный рельеф местности и особая структура исторической застройки. Удачным примером лечебного сооружения в курортном городе является разработанное И.А. Фоминым и М.И. Рославлевым в Железноводске здание санатория «Ударник», исследованию которого посвящена статья. В работе проведен анализ формирования градостроительной ситуации, определившей местоположение и форму участка. Проанализированы первоначальная и реализованная схемы планировочной организации территории санатория. Выявлено влияние исторического контекста местности на объемное решение сооружения. Установлена взаимосвязь между санаторием и другими значимыми объектами Железноводска. В градостроительных решениях «Ударника» авторам удалось учесть окружающую малоэтажную застройку и значительный перепад высот участка.

Ключевые слова: советский авангард, санаторное строительство, Фомин И.А., Железноводск, санаторий «Ударник».

Введение. Архитектура советского авангарда, формирование и развитие которой пришлось на 1920–1930-е гг., на протяжении долгого времени вызывает повышенный интерес как у отечественных, так и у зарубежных исследователей [1–5]. Зодчество авангарда, безусловно, оказало значительное влияние на современное проектирование, что подтверждается целым рядом научных статей [6–9], в том числе на санаторное строительство.

«В 1920-х гг. функционирование курортов и санаториев, курортно-санаторное лечение населения преследовало не только узкопрактические функции исцеления больных и ослабевших граждан СССР, но еще и задачи укрепления социальной базы большевистского режима» [10]. В декрете 1919 г. «О лечебных местностях общегосударственного значения» был закреплен выдвинутый В.И. Лениным тезис «Курорты - для трудящихся», что определило развернувшееся в последующие несколько десятилетий бурное санаторное строительство на курортных территориях СССР, особенности которого раскрываются в отдельных публикациях различных авторов (А.Ю. Дунаевского, А.В. Самойлова, С.Д. Багдарасян и др.). Курорты стали рассматриваться «в системе советского эксперимента конструирования «нового человека» [11]. В связи с этим архитектуре санаториев уделялось особое внимание; с каждым годом росли ассигнования, выделяемые властями на развитие курортно-санаторной сети,

предназначенной обеспечить нормальный отдых и полноценное лечение трудящихся страны. «Каждый новый успех советской архитектуры в этой области утверждал торжество социалистического гуманизма...» [12]. Задачи, с которыми сталкивались зодчие в процессе проектирования санаторных комплексов, наиболее ясно раскрываются на примерах строительства в городах, входящих в состав курортов Кавказских Минеральных Вод, где процесс усложнялся значительным влиянием двух важнейших факторов – исторического контекста и ландшафтных особенностей.

Объектом исследования в статье выступает расположенный в Железноводске санаторий «Ударник» (проект 1927 г.), композиционно-объемное решение которого является ярким образцом удачно вписанного в существующие ландшафтные и городские условия сооружения.

Цель работы заключается в выявлении градостроительных особенностей здания санатория и степени влияния на его формирование рельефа территории и окружающей застройки.

Задачи исследования: проведение анализа формирования городской системы Железноводска; определение ее влияния на конфигурацию и расположение территории исследуемого объекта и планировочную организацию участка; выявление взаимосвязи между санаторным комплексом, окружающей застройкой и выдающимися архитектурными сооружениями Железноводска.

Материалы и методы. В ходе исследования изучены научно-публицистические материалы соответствующей тематики. Проанализированы выявленные фотографические снимки санатория «Ударник» в Железноводске периода 1930 – 1940-х гг., а также градостроительные карты города конца XIX – начала XX вв. Проведены натурные обследования санаторного комплекса, а также окружающей его застройки.

Основная часть. Проектирование рекреационных объектов в курортных зонах СССР ставило перед архитекторами непростые задачи, связанные, прежде всего, с природно-климатическими и геологическими особенностями территорий, предназначенных для отдыха населения, среди которых наиболее привлекательными были города, расположенные на Черноморском побережье, и курорты Кавказских Минеральных Вод, формирование которых проходило в несколько этапов, отличающихся по характеру и особенностям рекреационной деятельности [13]. Колоритный горный рельеф этих мест предполагал проведение предварительных изыскательных работ, что, к сожалению, не всегда воплощалось в реальность. В отдельных случаях это приводило к размещению объектов в опасных для жизни людей зонах. Так, из-за недостаточного уровня обследования территории застройки санаторий Цустхара в г. Сочи оказался расположен на оползневой площадке [14].

Несмотря на трудности с точки зрения конструктивных решений, проектирование санаториев, как общественных сооружений, в архитектуре которых можно воплотить самые смелые и передовые идеи, было привлекательно для советских зодчих. Неслучайно свой вклад в санаторное строительство 1920–1930-х гг. внесли многие ведущие зодчие страны, среди которых можно отметить М.И. Мержанова (центральный санаторий РККА им. Ворошилова в Сочи [15]), А.А., Л.А. Весниных (санаторий «Горный воздух» в Сочи), Г.Б., М.Г. Бархиных (гинекологический санаторий в Саках, Крым), А.Е. Аркина (санаторий ВОК в Сочи-Мацестинском районе) и др.

Активное участие в создании санаторных комплексов принимал выдающийся советский архитектор И.А. Фомин, творчеству которого посвящен ряд работ отечественных исследователей [16–19]. В научных статьях о развитии архитектуры СССР 1920–1930-х гг. авторы неоднократно обращались к влиянию, которое оказал Фомин [20–22]. В 1929 г. по его совместным с М.И. Рославлевым проектам были реализованы сразу два санаторных комплекса на территории КМВ: санаторий «За Индустриализацию» в Кисловодске [23], в начале 1950-х гг. реконструированный в неоклассическом духе, и санаторий «Ударник» (в

настоящее время «Здоровье») в Железноводске, внесенный в список объектов культурного наследия регионального значения.

Санаторий «Ударник» расположен на участке, ограниченном улицами Курсовой (в настоящее время ул. Семашко) и Островского (в настоящее время ул. Калинина). Неправильная трапециевидная конфигурация территории проектирования является результатом исторического формирования пространственной структуры города. В начале XIX в. известным русским врачом Ф.П. Гаазом при содействии местного князя Измаил-Бея Атажукова на склоне горы Железной были обнаружены лечебные минеральные источники, что и положило начало основанию Железноводска в 1810 г.

Гора Железная стала основополагающим фактором для развития будущего городского поселения. Уже в 1812 г. у ее подножия начинают размещаться первые приезжие на лечение небольшие группы из различных уголков России, несмотря на отсутствие элементарных бытовых условий. Но только спустя почти 30 лет, в 1840 г., администрацией Кавказских курортов был составлен предварительный список будущих застройщиков протянувшейся вдоль основания горы Железной первой улицы [24]. В результате к началу XX в. помимо деревянных и турлучных сооружений в городе появились комфортабельные гостиницы, казенные здания, более двадцати выполняющих функции пансионатов доходных домов. Было решено расширять район первоначальной застройки поселения за счет дачных участков на западном склоне горы Железной.

Сложившуюся к 1920-ым гг. пространственную структуру Железноводска можно проследить по изображениям в путеводителях города (например, в путеводителе 1913 г. Григория Москвича [25]), а также по сохранившимся старинным картам города (рис. 1). Проложенная вдоль подножия горы первая улица города (Курсовая) определила направление еще одной главной городской улицы – Островской, переходящей в Шоссейную, ответвление которой (улица Вокзальная) в свою очередь организовало связь центральной части Железноводска с железной дорогой. Железнодорожное полотно протянулось параллельно основанию горы Железной на рубеже веков, являясь частью пути между Минеральными Водами и Кисловодском. Таким образом был сформирован вытянутый, ограниченный с одной стороны железнодорожным полотном, а с другой – основанием горы участок, определивший развитие данной части города с южной стороны горного подножия. Если говорить об освоении территорий вокруг горы Железной с ее северной стороны, то строительство в этих районах

не было столь привлекательным. Можно предположить, что это связано с особенностями горного климата, где «перекрытые» возвышенностями северные участки оказываются наименее комфорт-

ными для постоянного или временного проживания. Однако вокруг всей горы устроены терренкуры – горные тропы, предназначенных для дозированных пешеходных прогулок в качестве одного из методов курортно-санаторного лечения.



Рис. 1. Градостроительный план г. Железноводска, 1912 г. [26]

Переулки пересекали улицы Железноводска, пролегая перпендикулярно к окружности основания горы Железной. Такое решение сетки городских улиц образовало кварталы необычных трапециевидных форм, что в дальнейшем повлияло на планы размещаемых на таких участках крупных общественных зданий и объектов, одним из примеров которых является санаторий «Ударник».

«В одном из первоначальных вариантов проекта корпуса (его на полном основании можно называть комплексом) здания опоясывают участок со всех сторон, образуя замкнутый внутренний двор» (рис. 2) [27]. Наличие последнего, как отмечал в своей статье А.Ю. Дунаевский, было обязательным условием полноценного функционирования любого оздоровительного учреждения. Рациональная организация генерального плана лечебных комплексов имела большое значение. Например, у Зеленого Мыса в Батуми неверное планирование территории привело к недостаточному количеству места для размещения площадок для отдыха и занятия спортом, что не могло обеспечить полноценное функционирование заведения [14]. В одном из первоначальных вариантов «Ударника» внутренний

двор был организован по принципам типового парка эпохи классицизма: центральное место занимала круглая площадка, от которой радиально в разные стороны расходились пешеходные аллеи, симметрично относительно центральной оси, проходящей между боковыми частями комплекса. В целом такое решение соответствовало геометрическим особенностям конфигурации участка и учитывало функциональную специфику комплекса, но при этом не отражало ландшафтных особенностей и исторической самобытности городского пространства. В результате в итоговом варианте решения санатория авторы раскрыли внутренний двор в южном направлении, параллельно перенесли выходящий на Островскую улицу корпус санатория к центральному блоку, сформировав таким образом П-образный план сооружения (рис. 3). Такой перенос позволил сохранить для внутреннего двора условную ось симметрии. Это, в свою очередь, обеспечило создание парадного образа внутрисанаторного парка, так как возможность организовать симметричное пространство всегда придает последнему более торжественный, значимый облик.

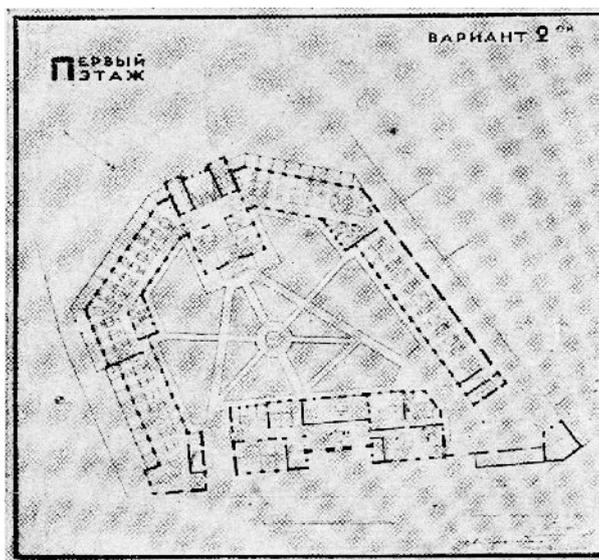


Рис. 2. План 1-го этажа санатория «Ударник». Нереализованный вариант [28]

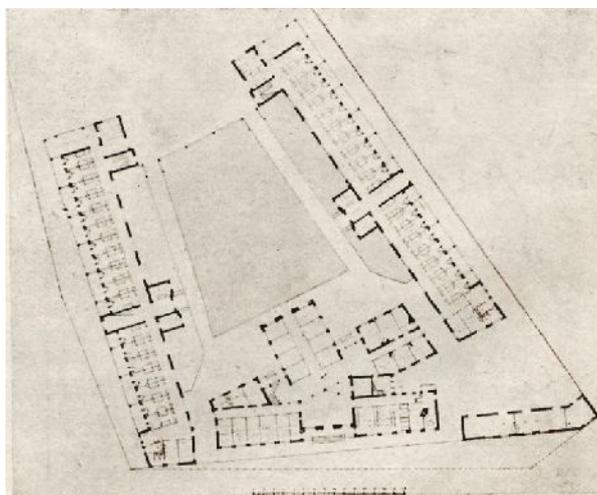


Рис. 3. План 1го этажа санатория «Ударник» [29]

Присоединение корпуса, параллельного Островской улице, к центральному объему здания образовало в северо-западной части участка, которая была наиболее неудобна для размещения каких-либо значительных построек из-за остроугольной границы в данном месте, второй небольшой двор для хозяйственных нужд. Его наличие также являлось необходимым условием для нормального функционирования лечебного комплекса. Новое решение позволило полностью визуальнo изолировать хозяйственную площадку от внутреннего парка санатория и разместить на почти треугольном участке все необходимые бытовые сооружения.

Выбранная планировочная схема и объемное решение санатория соответствовали существующей градостроительной ситуации во взаимосвязи с ландшафтными особенностями. Используя значительный перепад высот участка, авторы проекта каскадами по склону изменяют этажность боковых корпусов от двух до четырех, сохраняя

при этом высоту сооружения относительно главного фасада по улице Курсовой, рассчитанного на поддержание существующей линии застройки. Фасад соразмерен пространству камерной городской улицы, имея в высоту два этажа (рис. 4). В свою очередь незамкнутый внутренний двор, во-первых, обеспечил восприятие южного фасада центрального корпуса на далекую перспективу – его отлично видно от железнодорожного вокзала (рис. 5). Во-вторых, на Островскую улицу участки выходили дворами, формируя своеобразную «зеленую» стену из насаждений деревьев и кустарников. Открыв территорию санатория с южной стороны, авторы проекта сохранили историческую атмосферу места. Они не только не нарушили ее парадными строениями, а наоборот, поддержали разработанным парковым комплексом, который максимально был сближен с рельефным склоном. Парк представлял собой промежуточные смотровые площадки, расположенные в три яруса и оборудованные местами для отдыха.



Рис. 4. Фасад главного корпуса санатория «Ударник», 1930-е гг. [30]

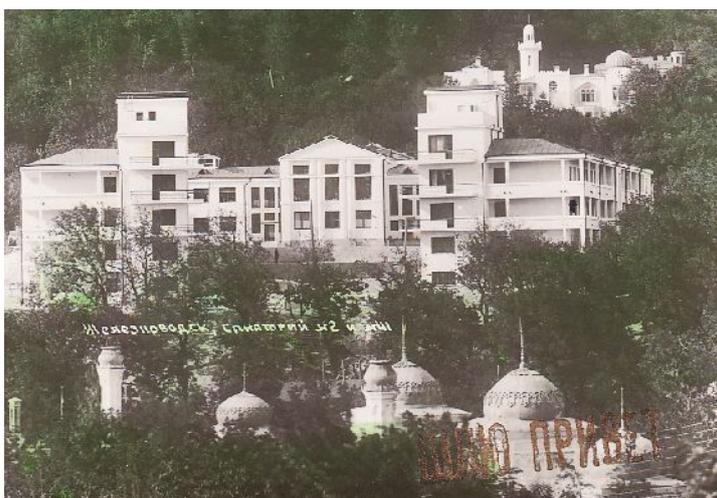


Рис. 5. Вид на санаторий «Ударник», открытка 1-ой половины 1930-х гг.

Органично архитектурно-градостроительное решение «Ударника» и с точки зрения взаимодействия с важнейшими постройками Железноводска. На условной планировочной оси симметрии санатория расположены два объекта культурного наследия федерального значения: ванны Островского (1893 г.), вокруг которых организована площадь с памятником Борцам за Советскую власть, и Дворец эмира Бухарского (1912 г.), расположенный на уступе склона горы Железной (рис. 6). Вид на площадь, где размещены ванны Островского, открывается с внутреннего двора санатория, а к Дворцу эмира Бухарского обращен его главный фасад по Курсовой улице. Изучение силуэта городской застройки показало, что здание санатория органично вписывается не только в рядовую застройку вдоль основных улиц города, но и полностью соответствует его высотному визуальному облику. Находясь у центрального входа в санаторий, посетитель видит, как над зеленью деревьев, покрывающих склоны горы Железной, возвышаются необычные башнеобразные и куполовидные завершения спроектированной для эмира Бухарского дачи. В свою очередь, с площадки Дворца открывается прекрасный вид на

весь комплекс санатория, позволяющий увидеть сверху органичный каскадный спуск боковых корпусов здания. С внутреннего двора санатория отдыхающий может рассмотреть архитектуру знаменитых Островских ванн с их необычным цветовым решением, разработанным зодчим П.Ю. Сюзором и инженером А.В. Конради. А с площади около Островской лечебницы во всей красе предстает перед наблюдателем величественный строгий силуэт санатория с каскадными переходами внутреннего парка, вторым планом за которым можно еще увидеть проглядывающие сквозь горную зелень башни Дворца эмира Бухарского (рис. 5).

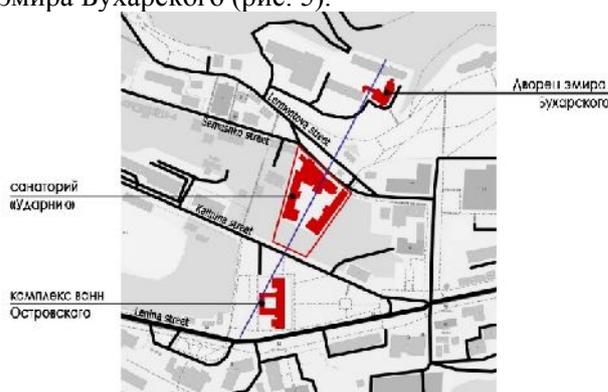


Рис. 6. Ситуационный план, автор Сидоренко Н.

«Развитое пространственное построение ансамбля в сочетании с замечательно органичным включением сооружения в окружающий пейзаж», – так определили основную особенность, характеризующую архитектурный замысел санатория «Ударник», М.А. Минкус и Н.А. Пекарева [16]. Действительно, градостроительное решение санатория продумано авторами до мельчайших деталей с учетом всех имеющихся ограничений и условий.

Выводы. Таким образом, результаты проведенного исследования здания санатория «Ударник» в Железноводске дают возможность сделать следующие выводы.

1. Объемно-композиционное решение санатория является удачным примером погружения вновь возводимого объекта в условия существующей градостроительной ситуации с точки зрения взаимодействия как с исторической застройкой, так и с природным ландшафтом местности.

2. Трапециевидная конфигурация плана соответствует участку, отражающему особенности исторического формирования структуры города.

3. Разная этажность корпусов санатория разработана под влиянием значительного уклона территории и высотности окружающей застройки.

4. Выполненный с соблюдением необходимых функциональных взаимосвязей генплан участка учитывает ландшафтные характеристики местности.

5. Идеи архитекторов, связанные с созданием гармоничного взаимодействия между новым сооружением и окружающей средой, полностью воплощены в ансамбле санатория «Ударник», являющегося одним из самых узнаваемых зданий Железноводска.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Хан-Магомедов С.О. Архитектура Советского Авангарда. Книга первая. Проблемы формообразования. Мастера и течения. М.: Стройиздат, 1996. Кн.1. 709 с.
2. Хан-Магомедов С.О. Архитектура Советского Авангарда. Книга вторая. Социальные проблемы. М.: Стройиздат, 2001. Кн.2. 712 с.
3. Хмельницкий Д.С. Архитектура Сталина: Психология и стиль. М.: «Прогресс-Традиция», 2007. 560 с.
4. Lissitzky El. Russia: An architecture for world revolution. London: Lund Humphries, 1970. 239 p.
5. Lodder C. Russian constructivism. London: Yale University, 1983. 328 p.
6. Быкова Г.Л., Гнатюк Е.А., Виноградова А.А. Взаимоотношение советского авангарда и

архитектуры [Электронный ресурс] // Социально-гуманитарное обозрение. 2018. Т. 3. №3. С. 116–119. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vzaimootnoshenie-sovetskogo-avangarda-i-sovremennoy-arhitektury> (дата обращения: 15 августа 2020).

7. Ермоленко Е.В. Формы и построения в архитектуре советского авангарда и их интерпретация в современной зарубежной практике // Academia. Архитектура и строительство. 2020. №1. С. 39–48.

8. Орельская О.В. Прообраз будущих сооружений в авангардных проектах 1920-1930-х годов // Academia. Архитектура и строительство. 2016. №2. С. 41–51.

9. Смирнов Л.Н., Ярковая Т.Н. Конструктивизм сегодня – новое звучание старого стиля // Академический вестник УралНИИпроект РААСН. 2013. №3. С. 39–43.

10. Багдарасян С.Д. Феномен крестьянского курорта в советской России 1920-х гг. // Вестник МГОУ. 2012. №1. С. 79–86.

11. Кузнецова Л.А. Дискуссии о форме и содержании советского курортного отдыха (1920-е–1930-е гг.) // Вестник Пермского университета. История. 2018. №4 (43). С. 98–106.

12. Самойлов А.В. Санатории и дома отдыха. М.: Академия Архитектуры СССР, 1948. 80 с.

13. Зольникова Ю.Ф. Формирование курортного региона Кавказские Минеральные Воды в советский период // Наука. Инновации. Технологии. 2019. №4. С. 105–114.

14. Дунаевский А. Санаторное строительство в СССР // Архитектура СССР. 1934. №5. С. 58–67.

15. Токарев А.Г. Санаторий им. К. Е. Ворошилова в Сочи – особенности формальной системы и пространственной организации // Вестник ТГАСУ. 2017. №1. С. 33–39.

16. Минкус М., Пекарева Н. И.А. Фомин. М.: Государственное издательство литературы по строительству и архитектуры, 1953. 311 с.

17. Самин Д.К. 100 великих архитекторов. Иван Фомин. М.: Вече, 2000. С. 217.

18. Стригалева А.А. Иван Александрович Фомин // Архитектура СССР. 1972. №2 (72). С. 16–24.

19. Хан-Магомедов С.О. Иван Фомин. М.: ГНИМА им. А. В. Щусева, фонд «Русский авангард», 2011. 336 с.

20. Волчок Ю.П. «Пролетарская классика» – универсальное понятие для осмысления и обобщения архитектуры периода 1930-1950-х годов. // Academia. Архитектура и строительство. 2009. №4. С. 27–30.

21. Еремина Е.Н. Трансформация классического ордера в архитектуре советского авангарда 1918–1931 гг. // Вестник Саратовского государственного технического университета. 2012. Т. 4. №1 (68). С. 196–201.

22. Сидоренко Н.Р., Токарев А.Г. Особенности реализации архитектурной концепции «Пролетарской классики» И. Фомина // Научно-практический журнал «Аспирант». 2018. №1. С. 50–55.

23. Проект санатория в городе Кисловодске // Ежегодник общества архитекторов-художников. 1930. №13. С. 77.

24. Хачиков В. Железноводск. Минеральные Воды: Кавказская здравница, 2008. 79 с.

25. Москвич Г. Иллюстрированный практический путеводитель по Кавказу. Спб.: Редакция «Путеводителей», 1913. 615 с.

26. Пересыпкина В. История Железноводска в старинных картах [Электронный ресурс] // Ферра Тау. 17.04.2011. URL: https://ferratau.3dn.ru/news/istorija_zheleznovodskaja_v_starinnykh_kartakh/2011-04-17-76 (дата обращения: 15 августа 2020).

27. Токарев А.Г. Архитектура Юга России эпохи авангарда. Ростов-на-Дону: ЮФУ, 2016. 416 с.

28. Санаторий на 200 человек для гор. Железноводска // Ежегодник общества архитекторов-художников. 1927. №12. С. 99.

29. Проект санатория в Железноводске // Ежегодник общества архитекторов-художников. 1930. №13. С. 78.

30. Санаторий «Ударник», 1937–1940. [Электронный ресурс] // PastVu. 5.07.2019. URL: <https://pastvu.com/p/947432> (дата обращения: 15 августа 2020).

Информация об авторах

Токарев Артур Георгиевич, кандидат архитектуры, доцент кафедры «Архитектура». E-mail: tokarev69@inbox.ru. Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет. Россия, 129337, Москва, Ярославское шоссе, д. 26.

Сидоренко Надежда Романовна, аспирант кафедры истории архитектуры, искусства и архитектурной реставрации. E-mail: ya.sinaro@yandex.ru. Южный Федеральный Университет, Академия архитектуры и искусств. Россия, 344082, Ростов-на-Дону, пр. Буденновский, д. 39.

Поступила 28.08.2020 г.

© Токарев А.Г., Сидоренко Н.Р., 2020

¹Tokarev A.G., ²*Sidorenko N.R.

¹Scientific research Moscow State University of Civil Engineering

²Southern Federal University Academy of architecture and arts

*E-mail: ya.sinaro@yandex.ru

“UDARNIK” SANATORIUM IN ZHELEZNOVODSK: ABOUT INFLUENCE OF URBAN-PLANNING FACTORS ON ARCHITECTURE

Abstract. The provision of recreation to the working population was one of the main tasks that the government of the USSR had to solve already during the first years of the Soviet regime. In this regard, they prescribed a line of improvement concerning the state of health resort areas of the country. Large-scale realization of new holiday homes, health resorts and medical complexes had started in the areas, which were located along the Black Sea coast, and in the towns of the Caucasian Mineral Waters. Design in resort areas was complicated by the presence of mountainous terrain and the special structure of historical buildings. A successful example of a medical facility in a resort city is the building of the “Udarnik” sanatorium, which was designed by Fomin I. A. and Roslavlev M. I. in Zheleznovodsk. The article is devoted to this building. The paper provides an analysis of the formation of the urban-planning situation that determined the location and shape of the design area. The initial and implemented schemes of planning organization of the health resort’s territory are analyzed. The influence of the historical context of the area on the volumetric solution of the structure is revealed. The relationship between the health resort and other significant objects of Zheleznovodsk is established. In the urban-planning decisions of «Udarnik», the authors managed to take into account the surrounding low-rise buildings and the significant height difference of the landscape.

Keywords: Soviet vanguard, construction of sanatorium, Fomin I.A., Zheleznovodsk, “Udarnik” sanatorium.

REFERENCES

1. Khan-Magomedov S.O. Architecture of the Soviet Avant-Garde. The first book. Problems of

forming. Masters and currents [Arkhitektura Sovetskogo Avangarda. Kniga pervaya. Problemy formoobrazovaniya. Mastera i tehneniya]. Moscow: Stroizdat. 1996. Vol. 1. 709 p. (rus)

2. Khan-Magomedov S.O. Architecture of the Soviet Avant-Garde. The second book. Social problem [Arkhitektura Sovetskogo Avangarda. Kniga pervaya. Sotsial'nye problemy]. Moscow: Stroizdat. 2001. Vol. 2. 712 p. (rus)
3. Khmel'nitskii D.S. Architecture of Stalin: Psychology and style [Arkhitektura Stalina: Psikhologiya i stil']. Moscow: «Progress-Traditsiya». 2007. 560 p. (rus)
4. Lissitzky El. Russia: An architecture for world revolution. London: Lund Humphries. 1970. 239 p.
5. Lodder C. Russian constructivism. London: Yale University. 1983. 328 p.
6. Bykova G.L., Gnatyuk E.A., Vinogradova A.A. The Relationship between the Soviet avant-garde and architecture [Vzaimootnoshenie sovetetskogo avangarda i arkhitektury]. Sotsial'no-gumanitarnoe obozrenie. 2018. Vol. 3. No. 3. Pp. 116–119. Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/vzaimootnoshenie-sovetetskogo-avangarda-i-sovremennoy-arkhitektury> (accessed 15 August 2020). (rus)
7. Ermolenko E.V. Forms and constructions in the architecture of the Soviet avant-garde and their interpretation in modern foreign practice [Formy i postroeniya v arkhitekture sovetetskogo avangarda i ikh interpretatsiya v sovremennoi zarubezhnoi praktike]. Academia. Arkhitektura i stroitel'stvo. 2020. No. 1. Pp. 39–48. (rus)
8. Orel'skaya O.V. Prototype of future structures in the avant-garde projects of the 1920s and 1930s [Proobraz budushchikh sooruzhenii v avangardnykh proektakh 1920-1930-kh godov]. Academia. Arkhitektura i stroitel'stvo. 2016. No. 2. Pp. 41–51. (rus)
9. Smirnov L.N., Yarkovaya T.N. Constructivism today – a new sound of the old style [Konstruktivizm segodnya – novoe zvuchanie starogo stilya]. Akademicheskii vestnik UralNIiproekt RAASN. 2013. No. 3. Pp. 39–43. (rus)
10. Bagdarasyan S.D. The phenomenon of a peasant resort in Soviet Russia during the 1920s. [Fenomen krest'yanskogo kurorta v sovetskoi Rossii 1920-kh gg.]. Vestnik MGOU. 2012. No. 1. Pp. 79–86. (rus)
11. Kuznetsova L.A. Discussions about the form and content of the Soviet holiday resort (1920s-1930s) [Diskussii o forme i sodержanii sovetetskogo kurortnogo otdykha (1920-e–1930-e gg.)]. Vestnik Permskogo universiteta. Istoriya. 2018. No. 4 (43). Pp. 98–106. (rus)
12. Samoilov A.V. Health resorts and rest houses [Sanatorii i doma otdykha]. Moscow: Academy of Architecture of the USSR. 1948. 80 p. (rus)
13. Zol'nikova Yu.F. Formation of the resort region Caucasian Mineral Waters in the Soviet period [Formirovanie kurortnogo regiona Kavkazskie Mineral'nye Vody v sovetskii period]. Nauka. Innovatsii. Tekhnologii. 2019. No. 4. Pp. 105–114. (rus)
14. Dunaevskii A. Health resort's construction in the USSR [Sanatornoe stroitel'stvo v SSSR]. Arkhitektura SSSR. 1934. No. 5. Pp. 58–67. (rus)
15. Tokarev A.G. Sanatorium named after Voroshilov in Sochi – features of the formal system and spatial organization [Sanatorii im. K. E. Voroshilova v Sochi – osobennosti formal'noi sistemy i prostanstvennoi organizatsii]. Vestnik TGASU. 2017. No. 1. Pp. 33–39. (rus)
16. Minkus M., Pekareva N. I.A. Fomin [I.A. Fomin]. Moscow: Gosudarstvennoe izdatel'stvo literatury po stroitel'stvu i arkhitektury. 1953. 311 p. (rus)
17. Samin D.K. 100 great architects. Ivan Fomin [100 velikikh arkhitektorov. Ivan Fomin]. Moscow: Veche. 2000. P. 217. (rus)
18. Strigalev A.A. Ivan Aleksandrovich Fomin [Ivan Aleksandrovich Fomin]. Arkhitektura SSSR. 1972. No. 2 (72). Pp. 16–24. (rus)
19. Khan-Magomedov S.O. Ivan Fomin [Ivan Fomin]. Moscow: GNIMA im. A. V. Shchuseva, fond «Russian vanguard». 2011. 336 p. (rus)
20. Volchok Yu.P. "Proletarian classics" – a universal concept for understanding and generalizing the architecture of the period of the 1930s and 1950s [«Proletarskaya klassika» – universal'noe ponyatie dlya osmysleniya i obobshcheniya arkhitektury perioda 1930-1950-kh godov]. Academia. Arkhitektura i stroitel'stvo. 2009. No. 4. Pp. 27–30. (rus)
21. Eremina E.N. The transformation of the classical order in the architecture of the Soviet avant-garde 1918–1931 [Transformatsiya klassicheskogo ordena v arkhitekture sovetetskogo avangarda 1918–1931 gg.]. Vestnik Saratovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. 2012. Vol. 4. No. 1 (68). Pp. 196–201. (rus)
22. Sidorenko N.R., Tokarev A.G. Features of implementation of the architectural concept of "Proletarian classics" by I. Fomin [Osobennosti realizatsii arkhitekturnoi kontseptsii «Proletarskoi klassiki» I. Fomina]. Nauchno-prakticheskii zhurnal «Aspirant». 2018. No. 1. Pp. 50–55. (rus)
23. Design of health resort in Kislovodsk town [Proekt sanatoriya v gorode Kislovodske]. Ezhegodnik obshchestva arkhitektorov-khudozhnikov. 1930. No. 13. P. 77. (rus)
24. Khachikov V. Zheleznovodsk [Zheleznovodsk]. Mineral'nye Vody: Kavkazskaya zdravnitsa. 2008. 79 p. (rus)
25. Moskvich G. Illustrated practical guide to the Caucasus [Illyustrirovannyi prakticheskii putevoditel' po Kavkazu]. Saint Petersburg: Redaktsiya «Putevoditelei». 1913. 615 p. (rus)

26. Peresyapkina V. History of Zheleznovodsk in old maps [Istoriya Zheleznovodska v starinnykh kartakh]. Ferra Tau. 17.04.2011. Available at: https://ferratau.3dn.ru/news/istorija_zheleznovodska_v_starinnykh_kartakh/2011-04-17-76 (accessed 15 August 2020). (rus)

27. Tokarev A.G. Architecture of the South of Russia during the avant-garde era [Arkhitektura Yuga Rossii epokhi avangarda]. Rostov-on-Don: SFU. 2016. 416 p. (rus)

28. Health resort for 200 persons in Zheleznovodsk [Sanatorii na 200 chelovek dlya gor.

Zheleznovodska]. Ezhegodnik obshchestva arkhitektorov-khudozhnikov. 1927. No. 12. P. 99. (rus)

29. Design of health resort in Zheleznovodsk [Proekt sanatorii v Zheleznovodske]. Ezhegodnik obshchestva arkhitektorov-khudozhnikov. 1930. No. 13. P. 78. (rus)

30. Health resort «Udarnik», 1937–1940 [Sanatorii «Udarnik», 1937–1940]. PastVu. 5.07.2019. Available at: <https://pastvu.com/p/947432> (accessed 15 August 2020). (rus)

Information about the authors

Tokarev, Artur G. PhD, Assistant professor. E-mail: tokarev69@inbox.ru. Scientific research Moscow State University of Civil Engineering, Russia, 129337, Moscow, Yaroslavskoe road, 26.

Sidorenko, Nadezhda R. Postgraduate student. E-mail: ya.sinaro@yandex.ru. Southern Federal University Academy of architecture and arts, Russia, 344082, Rostov-on-Don, Budenovskiy st. 39.

Received 28.08.2020

Для цитирования:

Токарев А.Г., Сидоренко Н.Р. Санаторий «Ударник» в Железноводске: о влиянии градостроительных факторов на архитектуру // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2020. № 9. С. 36–45. DOI: 10.34031/2071-7318-2020-5-9-37-45

For citation:

Tokarev A.G., Sidorenko N.R. “Udarnik” sanatorium in zheleznovodsk: about influence of urban-planning factors on architecture. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2020. No. 9. Pp. 36–45. DOI: 10.34031/2071-7318-2020-5-9-37-45

DOI: 10.34031/2071-7318-2020-5-9-46-57

Бредихина А.В.

Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет

E-mail: elle0072008@yandex.ru

ИСТОРИЧЕСКИЕ ГОСТИНЫЕ ДВОРЫ И ТОРГОВЫЕ РЯДЫ. ВОЗМОЖНОСТИ ИХ РЕНОВАЦИИ

Аннотация. Рассмотрены торговые ряды и гостиные дворы, как наиболее старые и распространенные торговые здания в России. Исследованы основные периоды развития этих зданий, установлены наиболее вероятные объемно-планировочные прототипы (эмпории, караван-сарай и другие). Предложена типология торговых зданий ячеистого типа. Сравнение объектов проведено по следующим направлениям: характеру планировки, объемно-пространственным решениям, стилистическим направлениям. Рассмотрен отечественный и зарубежный опыт приспособления. Приведены примеры наиболее интересных и разнообразных решений по современному использованию ячеистых торговых зданий. Предложены основные направления реновации торговых зданий такие как функциональные, планировочные, объемно-пространственные.

Сделаны выводы о широких возможностях современного использования подобных зданий. Подобраны наиболее подходящие функции, среди которых торговая, функция общественного питания, офисная и др. Смешанная функция выделена как наиболее предпочтительная. В качестве метода оценки предлагаемых объемно-планировочных решений предложено опираться на данные ландшафтно-визуального анализа. Подобраны оптимальные решения для торговых зданий разных конфигураций: линейных (функциональное и планировочное направление), полузамкнутых (освоение внутреннего пространства, благоустройство, возможность организации сезонных торговых и ярмарочных пространств) и замкнутых (то же, что и для полузамкнутых, плюс возможно решение по перекрытию (полному или частичному) внутреннего пространства). Доказана историко-культурная ценность гостиных дворов и торговых рядов и необходимость их сохранения.

Ключевые слова: архитектура, торговля, реновация, торговые ряды, гостиные дворы, объекты культурного наследия.

Введение. Торговые ряды и гостиные дворы являются одними из наиболее старых торговых зданий, широко распространены в России. Важной проблемой является поиск способов их реновации. Цель работы – подбор наиболее оптимальных способов современного использования этих зданий. Торговые ряды и гостиные дворы состоят из отдельных небольших ячеек, которые объединяются различными способами и могут иметь линейный, замкнутый или полузамкнутый вид. В соответствии с градостроительными планами городов, они располагались преимущественно в центре. Не смотря на схожую планировочную систему, принципиальное отличие торговых рядов и гостиных дворов состоит в характере их функционального использования. Сегодня актуальность этих зданий заключается не только в их исторической ценности. Центральное местоположение делает их перспективными для современного использования объектами.

Исторические торговые ряды России. Гостиные дворы, по данным различных исследователей, появились в России в XVI-XVII вв. [11], в некоторых источниках упоминаются с XII в. [12, 20]. Особенность их состояла в том, что предназначались они для оптовой торговли приезжих

купцов. Такой гостинный двор включал в себя помимо торговых лавок помещения для проживания, склады, в некоторых случаях даже моленные помещения. Последнее особенно характерно для гостиных дворов (торговых подворий) Астрахани.

Архитектурный тип зданий, послуживший прототипом гостиных дворов в России известен со времен Древнего Востока. Так называемый «месопотамский дом» состоял из помещений с глухими внешними стенами, формируемыми вокруг прямоугольного двора. Во двор они открывались рядами аркад и колоннад [11]. По своей структуре гостиные дворы очень напоминают караван-сарай (см. рис. 1), постоялые дворы, дворцы для торговых караванов. Эти здания состояли из жилых ячеек и складских помещений, формируемых вокруг открытого двора. Традиционно в центре его располагался источник воды. В Древней Греции так же существовали похожие по смыслу комплексы, которые назывались эмпории. Они представляли собой открытую площадь за городскими стенами, по периметру которой располагались складские и жилые здания, а также конторы для совершения сделок [11].

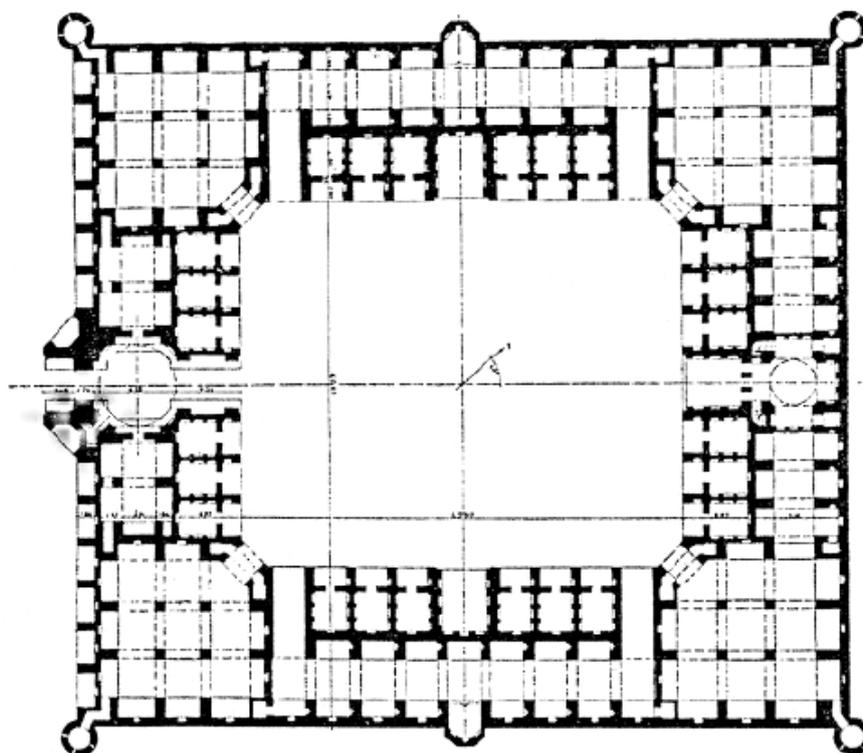


Рис. 1. План караван-сарая Мадеришах в Иране. XVII в.

Ранние гостиные дворы представляли собой укрепленные замкнутые крепости и строились, как правило, вне стен кремля [11, 20]. Это было обусловлено несколькими факторами. Во-первых, позволяло контролировать торговый процесс, пресекая запрещенную розничную торговлю среди иноземных купцов и защищая интересы местного купечества. Во-вторых, такая традиция укрепилась с тех времен, когда иноземные

торговцы промышляли пиратством и разбоем [14]. Помимо прочего, подобная пространственная организация позволяла уберечь и товары самих купцов. Среди сохранившихся гостиных дворов подобного типа можно назвать Тобольский и, не смотря на сильную перестройку и утрату части корпусов, Архангельский (см. рис. 2).

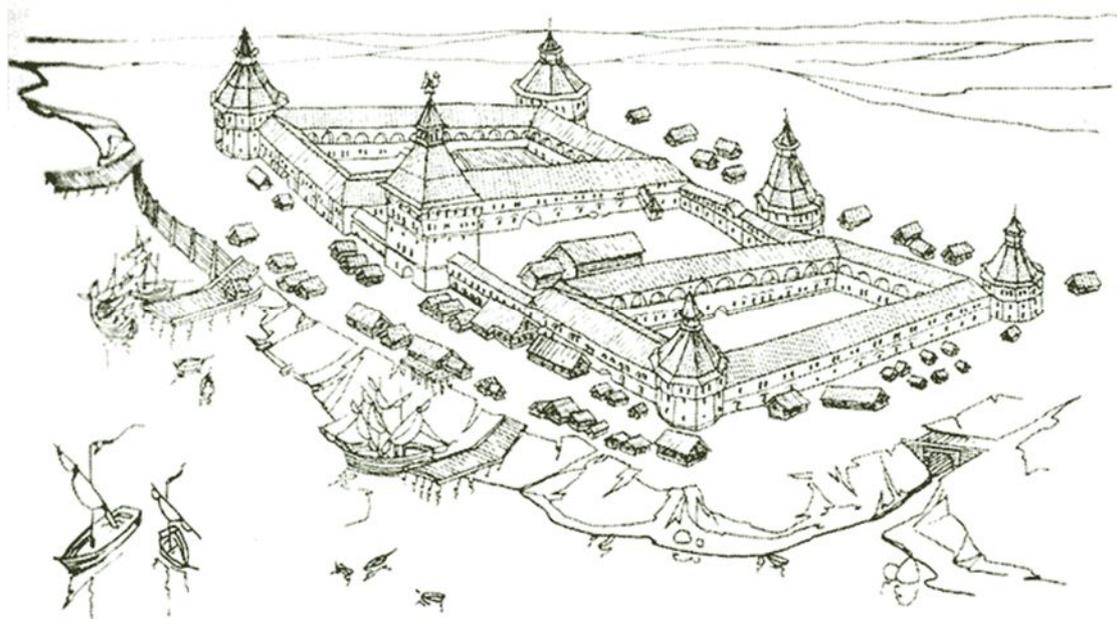


Рис. 2. Архангельск. Гостиный двор XVII в. Реконструкция Н. Н. Туфановой.

Новый виток развития гостиные дворы получили в конце XVIII –нач. XIX в. [12]. Такие зда-

ния строятся преимущественно в крупных городах. Этот тип сформировался во время отмены

внутренних таможенных пошлин и освобождения торговой деятельности от сословных ограничений. Это привычные нам здания с лавками, выходящими на улицу, объединенные проходной галереей, аркадой или колоннадой. В них уже так же ведется розничная торговля как местными, так и приезжими купцами, а жилые помещения упразднены. Сохранена характерная замкнутая структура в плане, однако встречаются исключения (Гостинный двор в Пушкине, Гостинный двор в Красноярске). Не все ячеистые торговые здания с замкнутой структурой назывались гостинными дворами, например, в Петербурге существует ряд зданий, которые несмотря на свою форму называются рынками и торговые рядами. К ним относятся Никольские ряды, Ямской рынок, Круглый рынок и другие [16, 19]. Следовательно, можно сказать, что гостинным двором, до сер. XIX в., называлось главное торговое здания города.

Помимо одиночных торговых зданий, встречались ансамбли. Так, комплекс Большого Гостинного двора в Санкт-Петербурге состоит из двух замкнутых колец корпусов и здания Комитета Управления. Оба кольца построены в разных архитектурных стилях. Если внешнее кольцо является примером раннего классицизма [3, 5, 6, 17], то внутреннее выстроено в формах эклектики. Другой крупный ансамбль – комплекс зданий гостинного двора в Калуге, состоит из 14 корпусов, выполненных в русской готике (псевдоготике).

Гостинные дворы так же делились по национальному и географическому принципу, в зависимости от того какие купцы там торговали. В Архангельске и Пскове существовали Немецкие гостинные дворы, в Новгороде – Шведский, в Астрахани – Индийский, Персидский и Армянский и др.

Торговые ряды, до середины XIX в. являлись основным типом торгового здания в России. Как и гостинные дворы, они состояли из одной постройки или же объединялись в комплекс.

В противовес гостинным дворам, в торговых рядах велась исключительно розничная торговля и до 1785 г. местным купцам запрещалось держать мелочные лавки в своих домах [2]. Отличительной особенностью торговых рядов было то, что в каждом ряду (или как их иногда называли «линии») торговали одним видом товара, по которому ряд и получал название. Такие торговые ряды были широко распространены по всей России как в крупных, так и в малых городах. Пожары, которым были подвержены деревянные лавки, заставили купцов сделать выбор в пользу каменных зданий, которые и сохранились до нашего времени [1, 4, 18]. Ячейки торговых рядов в России отличали небольшие

размеры. Иностранцы путешественники замечали: «Лавки эти маленькие и иногда плохого качества; сравнивать же их с амстердамскими совсем нельзя, ибо пришлось бы признавать, что из одной амстердамской лавки можно выкроить десять и более московских» [13].

Классификация торговых рядов и гостинных дворов. Ячейки торговых рядов могли блокироваться различными способами, но пожалуй одним из самых популярных было их линейное расположение. При замкнутой планировочной системе или ансамблевой застройке, во внутреннем дворе часто устраивалась часовня. Подобный прием уходит корнями в тот период, когда торговля устраивалась на площади перед церковью или вблизи ее [16, 19]. Таким образом, торговцы и покупатели как бы находились под божественным покровительством, где их не должны были ни обмануть, ни ограбить [15]. Однако, такие часовни практически не сохранились.

Примером крупного ансамбля торговых рядов является Апраксин двор в Санкт-Петербурге, занимающий целый квартал и состоящий из более чем 50 корпусов. Здесь так же имелась деревянная часовня, взамен которой предполагалось построить каменную по проекту Л. М. Харламова, данных о реализации проекта не сохранилось. На сегодняшний день утрачена.

Поскольку торговые ряды активно строились вплоть до середины XIX в., пока их не вытеснили другие, более современные типы зданий, они имеют довольно длительную историю, за которую успели сменить несколько стилевых направлений [8, 9].

Таким образом классификацию этих зданий можно вести по двум направлениям: стилевым и объемно-планировочным.

По стилевым характеристикам ячеистые здания делятся следующим образом:

- деревянная архитектура: XII-XVII в. (не сохранились);
- русский стиль, крепостная архитектура (XVII-кон. XVIII): Гостинный двор в Тобольске;
- классицизм (кон. XVIII-XIX в.): Торговые ряды в Костроме, Большой Гостинный двор в Санкт-Петербурге, Никольские ряды в Санкт-Петербурге, Торговые ряды в Суздале;
- эклектика (кон. XIX в.): Гостинный двор в Ейске, Гостинный двор в Казани, Гостинный двор в Уфе, Гостинный двор в Калуге, торговые ряды в г. Клин, торговые ряды в Туле.

По объемно-планировочным характеристикам ячеистые торговые здания можно подразделить на: торговые ряды, которые

могли быть в плане линейными, полузамкнутыми и замкнутыми, и гостиные дворы, которые могли быть в плане полузамкнутыми и замкнутыми.

Классификацию по объемно-планировочным характеристикам можно представить в виде следующей схемы (см. схема 1).

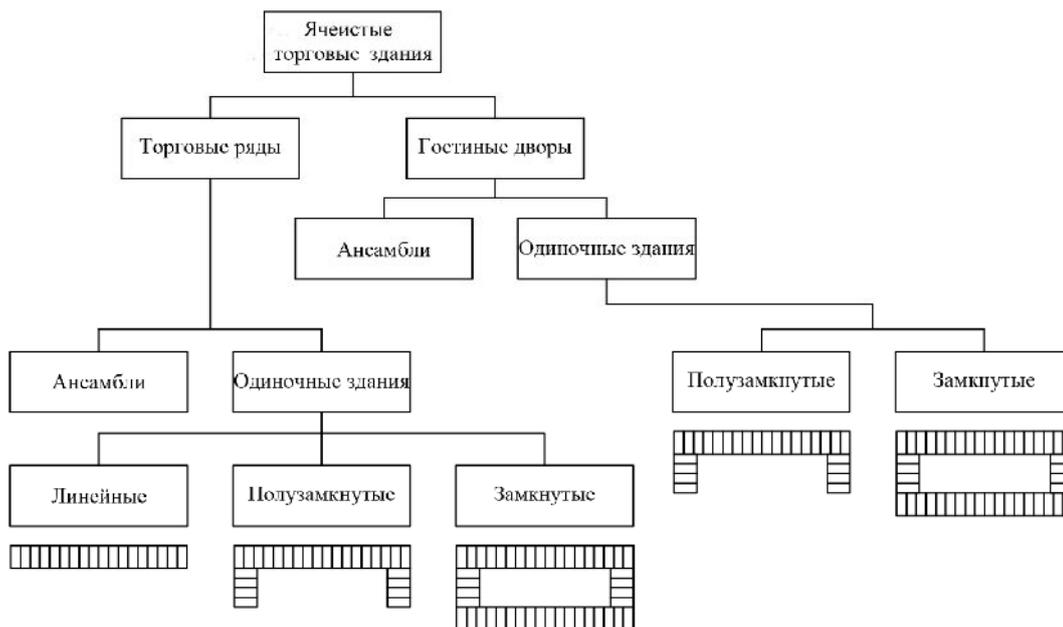


Схема 1. Классификация ячеистых торговых зданий по объемно-планировочным характеристикам.

Торговые ряды за рубежом и примеры их реновации.

Торговые ряды и гостиные дворы за границей отличались от привычных нам в России. Во-первых, сами лавки были больше, а, во-вторых, во многих ситуациях фасадная застройка, при которой на улицу выходил короткий торцевой фасад, предполагала развитие здания вглубь квартала.

В Стокгольме до 1904 г. существовали торговые ряды, имеющие планировочную структуру сходную с русскими. Протяженные, линейной конфигурации, они располагались в самом центре Стокгольма, на площади Адольфа Густава, однако после сноса не восстанавливались.

Примечательны торговые ряды в городе Осло (Basarene Kirkeristen), построенные вокруг Кафедрального собора Осло. Они закрывают квартал с трех сторон формируя внутри полузамкнутое пространство. Сейчас в них расположены различные магазины и кафе, которые в теплое время занимают, в частности, и территорию внутреннего двора.

В Венеции существует два дворца, выполнявших роль торговых подворий для приезжих купцов: Фондако-деи-Тедески (Немецкий двор), Фондако-деи-Турке (Турецкий двор). Как и гостиные дворы в России, эти здания имеют замкнутую планировочную структуру с внутренним двором (см. рис. 3, 4).

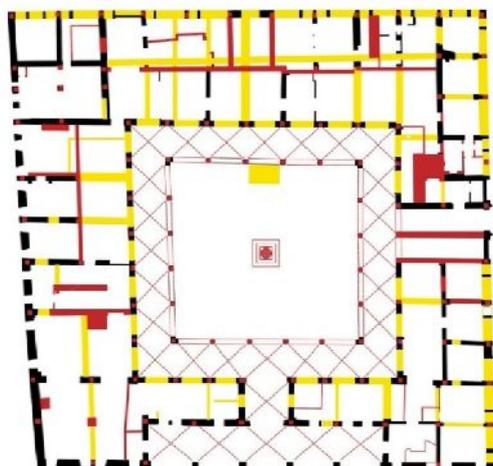


Рис. 3, 4. План и разрез Фондако-деи-Тедески (Немецкий двор). Желтым цветом выделены демонируемые части, красным – дополнения при реновации. Чертежи ОМА, 2016 г. [21]

При приспособлении для современного использования к дворцам были применены два разных подхода: с внесением современных конструктивных элементов (купол перекрытия) и без них.

Турецкий двор используется в качестве музея естественной истории, его внутреннее пространство осталось открытым. Последняя крупная реставрация этого дворца проходила во второй половине XIX в.

В Фондако-деи-Тедески в 2016 г. была проведена реконструкция под руководством Рема Колхаса и его архитектурного бюро ОМА [21]. Здание приспособлено под торговый центр, внутренний двор перекрыт, на крыше действует смотровая площадка. При этом стоит отметить, что несмотря на активный современный подход к реконструкции этого здания, работы проведены достаточно аккуратно, стеклянный купол не нарушает сложившихся панорам города, по возможности не затронут исторический каркас здания, в центре атриума сохранен старинный венецианский колодец.

В польском Кракове и бельгийском Ипре существуют внушительных размеров здания суконных рядов (Палаты суконщиков). Они так же состояли из блокированных лавок с выходом на первом этаже. В ходе многочисленных перестроек, здание суконных рядов в Кракове получило протяженный зал, перекрытый арочными сводами. Оба эти здания пошли разными путями приспособления. В Сукеннице в Ипре расположен музей, посвященный событиям Первой мировой войны. Здание же в Кракове получило смешанную функцию: торговые лавки и ресторан на первом этаже и «Галерея польского искусства XIX века» на верхнем.

Основные способы реновации блокированных торговых зданий.

Рассматривая примеры современного существования различных торговых рядов в России и за рубежом, мы видим, что существует достаточно много возможных путей их реновации [10]. При выборе наиболее подходящего, в каждом конкретном случае следует учитывать некоторые их особенности, которые могут ограничить спектр возможных решений.

Самый первый шаг – это решение о функциональном наполнении здания. Уже на этом этапе решается степень инвестиционной привлекательности объекта и то, насколько активно он будет взаимодействовать с окружающей средой. При принятии решения следует учитывать многие факторы, наиболее важными из которых, пожалуй, являются функциональная зона города и градостроительная ситуация вокруг. Самым пра-

вильным может показаться сохранение изначальной торговой функции, однако, это не всегда так. Анализируя современные решения по приспособлению, видно, что удачным решением часто является применение смешанного вида функций, либо использование сопутствующих, как например устройство небольших кафе, бистро или кофеен.

При подборе планировочных решений, для торговых рядов часто стоит вопрос о возвращении ячеистой планировки. К плюсам такого решения можно отнести сохранение аутентичного вида здания, охват большого количества возможных арендаторов, по факту, высокую конкуренцию, при которой покупатель будет иметь широкий спектр выбора товаров лучшего качества, что несомненно привлечет туда людей. При такой планировке помимо торговой допустима так же офисная функция объекта. К минусам этого подхода можно отнести относительно малую площадь, которую можно сдать в аренду, а также разрушение привычного для местных жителей способа взаимодействия со зданием.

Сохранение галерейной планировки можно рассмотреть, как «сохранение исторических наслоений». Такое решение позволяет размещать в здании магазины любой площади, а также предлагает интересный сценарий движения посетителя, когда он плавно переходит из одной торговой точки в другую, не воспринимая при этом четких границ. Именно такой вариант сохранился в большинстве торговых рядов и гостиных дворов, включая гостиные дворы в Кронштадте, Большой Гостиный двор в Петербурге и др. Еще одним плюсом является возможность в холодное время года не передвигаться по открытой улице. Минусом же может стать организация постоянного потока посетителей, проходящих через галерею, что может помешать комфортному ознакомлению с товаром в отдельном магазине.

Вариант совмещения обеих планировок позволил бы расширить спектр предложений как для арендующих магазинов, так и для покупателей. Использование перегородок, которые легко демонтировать, позволило бы регулировать размер сдаваемых площадей в зависимости от потребностей магазина. Грамотное зонирование здания дало бы возможность регулировать поток посетителей.

Самым сложным этапом является решение об объемно-пространственной композиции [7]. Это актуально в первую очередь для замкнутых и полузамкнутых объектов. Здесь можно выделить несколько подходов:

– использование внутреннего пространства в хозяйственных целях (внутренняя парковка, погрузочно-разгрузочная зона, склад);

- организация дополнительной торговой площади (с установкой небольших некапитальных строений);
- общественное озелененное пространство (небольшой парк).

Логичным является использование внутридворового пространства в хозяйственных целях. Таким образом сейчас используется внутренний двор Ямского рынка (Санкт-Петербург).

Решение об организации дополнительного торгового пространства может быть чревато превращением внутреннего двора в «базар». Чтобы этого не допустить, торговые места должны быть

оборудованы в едином стиле, который будет сочетаться с образом основного здания. Так же необходимо регулировать плотность установки новых лавок/киосков, оптимально их суммарная площадь не должна быть более 40 % от общей площади внутреннего пространства для замкнутых объектов, и не более 50 % для полузамкнутых объектов [7]. Хорошим примером установки новых объектов в пространстве внутреннего двора является Гостиный двор в Кронштадте, в Пушкине же, торговое здание стало иллюстрацией превращения внутреннего пространства в тот самый «базар».

Основные направления реновации можно привести в виде схем 2, 3 и 4.

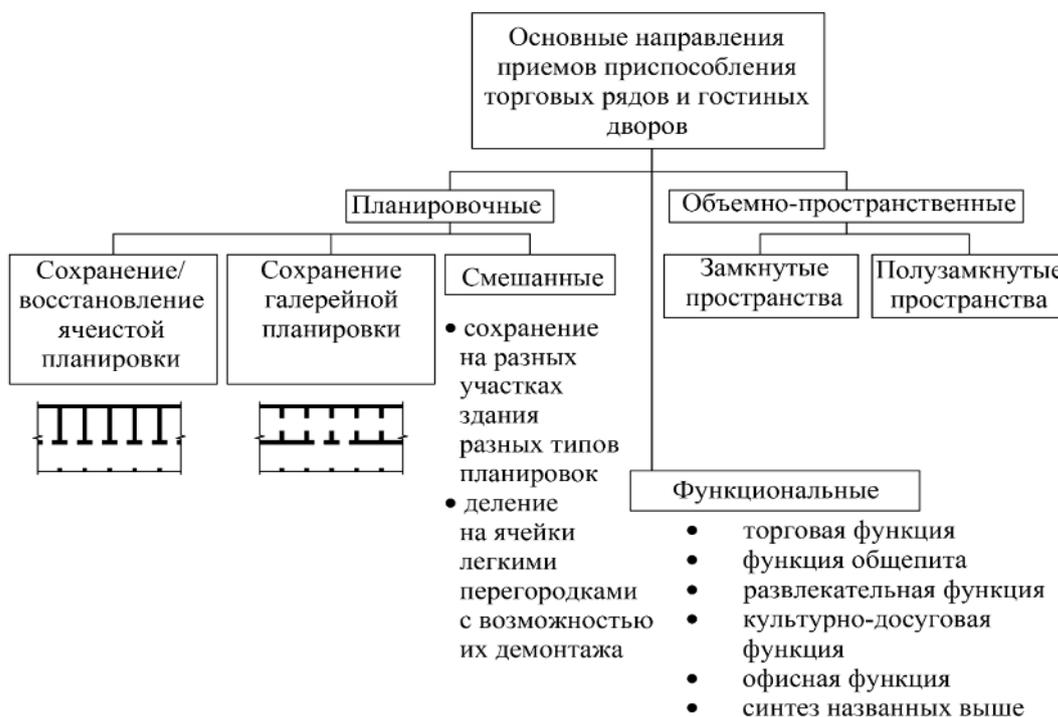


Схема 2. Основные направления приемов приспособления торговых рядов и гостиных дворов



Схема 3. Приемы организации полузамкнутых пространств

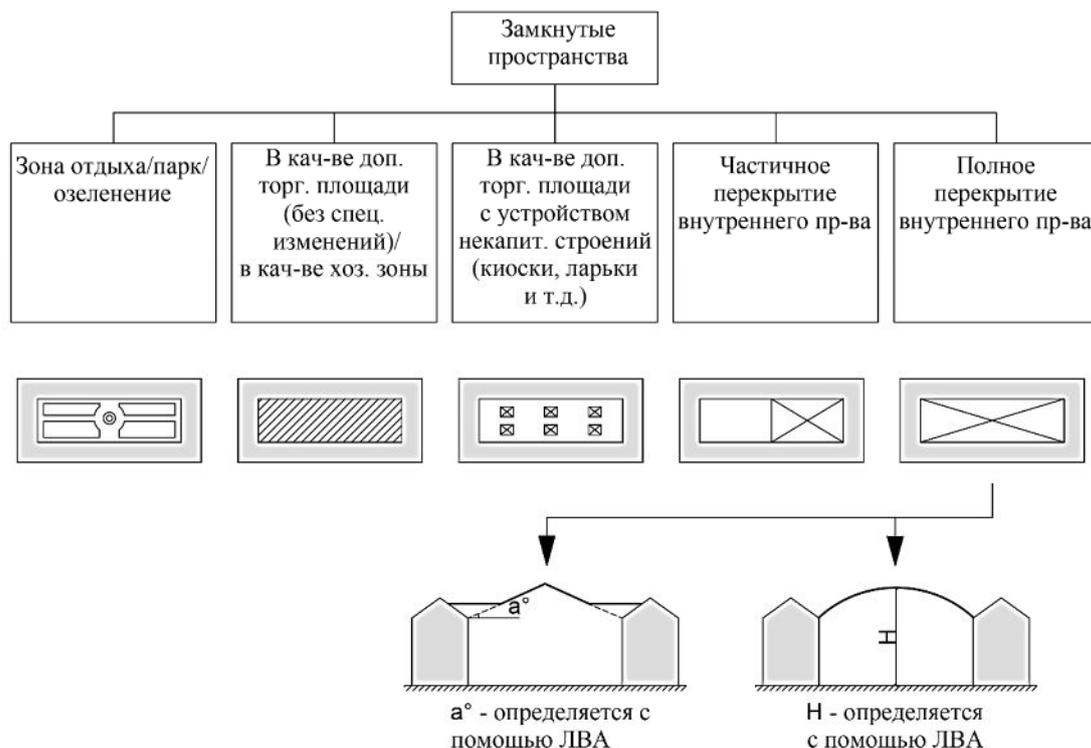


Схема 4. Приемы организации замкнутых пространств

Хорошим решением является озеленение внутреннего пространства [7]. Это даст городу новую рекреационную зону, что особенно актуально для крупных городов, не повлечет за собой спорных решений, по отношению к зданию, бу-

дет способствовать популяризации объекта. Такой способ выбрала Студия 44 для реновации Большого Гостиного двора в Санкт-Петербурге (рис. 5) и он же использовался при восстановлении Никольских рядов (Санкт-Петербург).



Рис. 5. План первого этажа и благоустройство внутреннего двора. Студия 44, 2016 г.

Сейчас достаточно популярна тенденция перекрытия внутренних пространств светопрозрачными конструкциями. Такое решение может превратить здание в современный торговый центр с большим светлым атриумом, расширить возможности приспособления, организовать дополнительную торговую/ рекреационную/ выставочную площадь. Это очень современное решение,

которое активно используется в России и за рубежом. Однако такое решение имеет и существенные минусы. Во-первых, устанавливаемые перекрытия будут давать дополнительную нагрузку на несущие и ограждающие конструкции здания. Во-вторых, применение такого решение может существенно исказить внешний вид объекта, который не только утратит «дух места»,

но также исказит характерные панорамы города. Пример полного перекрытия внутреннего двора был реализован в Старом Гостином дворе в Москве, однако, такое решение подверглось резкой критике среди горожан и специалистов в об-

ласти архитектуры. Более удачным выглядит подобная реализация в Гостином дворе в Уфе. Вариант частичного перекрытия внутреннего пространства Большого Гостиного двора в Петербурге рассматривался в раннем проекте Студии 44 (рис. 6).



Рис. 6. Большой Гостиный двор, разрез. Студия 44, 2005 г.

Чтобы этого избежать, необходимо провести предварительный ландшафтно-визуальный анализ окружающей территории объекта и оценить возможное влияние данного решения. С помощью этого анализа так же определяется максимально допустимая высота проектируемого перекрытия.

Выводы. Как мы видим, торговые ряды и гостиные дворы имеют достаточно высокий потенциал возможного использования и широкий выбор применяемых при их приспособлении решений. Все это, как и специфика размещения, позволяет им удовлетворять современным требованиям и быть перспективными для использования объектами.

В процессе реновации для гостиных дворов и торговых рядов предпочтительно использование смешанного вида функций с преобладанием торговой. Наиболее часто дополняемой функцией является общественное питание (кафе, рестораны быстрого питания, кофейни и т.д.).

Решения по реновации следует применять индивидуально, руководствуясь степенью сохранности, планируемым характером использования и сохранению историко-культурной значимости. При реализации объемно-пространственных решений необходимо опираться на данные ландшафтно-визуального анализа.

Для разных объемно-пространственных структур оптимальны следующие решения: для линейных объемов зданий – преимущественно сохранение исторической планировки с приспособлением под современные санитарно-гигиенические требования (функциональное и планировочное направление); полузамкнутых в плане зданий – освоение внутреннего пространства, озеленение, благоустройство, возможность организации сезонных торговых и ярмарочных пространств; замкнутых в плане зданий – то же, что и для полузамкнутых, плюс возможно решение

по перекрытию (полному или частичному) внутреннего пространства.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Богданов И.А. Большой Гостиный двор в Петербурге // Серия: Три века Петербурга / СПб.: Искусство, 2001. 245 с.
2. Беспятовых Ю. Н. Петербург Анны Иоанновны в иностранных описаниях. СПб., 1997. 355 с.
3. Возняк Е.Р. Обломы и профили фасадов зданий Санкт-Петербурга XVIII в // Вестник МГСУ. 2015. № 12. С. 13–24.
4. Возняк Е.Р. Обломы и карнизы елизаветинского барокко (1742–1762) в Санкт-Петербурге // Вестник гражданских инженеров. 2012. № 4 (33). С. 13–21.
5. Возняк Е.Р. Принципы оформления классического фасада архитектурными формами // Современные проблемы науки и образования. 2014. № 6. С. 18–25.
6. Возняк Е.Р. Методика исследования детализации фасадов исторических зданий на основе теории архитектурных форм // Современные проблемы науки и образования. 2017. № 1. С. 22–26.
7. Возняк Е.Р., Махова Т.Д. Методы организации (использование комплексного подхода) современного общественного пространства на примере реконструкции территории острова Новая Голландия в Санкт-Петербурге // Успехи современной науки. 2017. Т. 5. № 2. С. 125–129.
8. Возняк Е.Р. и др. Классификация деталей фасадов исторических зданий, построенных на основе теории архитектурных форм // Векторы развития современной науки. Материалы IV Международной научно-практической конференции. Уфа, 29–30 января 2017 г. Уфа: Изд-во Автономная некоммерческая организация "Исследовательский центр информационно-правовых технологий", 2017. С. 3–6.

9. Возняк Е.Р. и др. Актуальность теории исторических архитектурных форм в современных условиях строительства и реставрации // Сборник статей. Самарский государственный технический университет. Самара, 2019. Самара: Изд-во Самарский государственный технический университет. С. 190–196.

10. Возняк Е.Р. и др. Проблема заброшенных строений и объектов // Современные проблемы истории и теории архитектуры. Материалы IV Всероссийской научно-практической конференции. Санкт-Петербург, 14 ноября 2018 г. Санкт-Петербург: Изд-во Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет. С. 40–45.

11. Гусарова Е.В. Астраханские находки: История, архитектура, градостроительство Астрахани XVI–XVIII вв. по документам из собраний Петербурга. СПб.: Нестор-История, 2009. 491 с.

12. Камочкин Г.А. Торговые пространства в русской архитектурной традиции // Ярославский педагогический вестник. 2015. Т. 1. № 1. С. 122–127.

13. Кулишер И.М. История русской торговли и промышленности / Сост. А.В. Куряев. Челябинск: Социум, 2003. 557 с.

14. Кулишер И.М. История экономического быта Западной Европы: в 2 т. 9–е изд. Т. 1. Челябинск: Социум, 2004. С. 82–83.

15. Ноздрин Л. История возникновения и размещения торговых предприятий в России

[Электронный ресурс]. URL: http://ruskline.ru/analitika/2009/08/26/istoriya_voznikoveniya_i_razmeweniya_torgovyh_predpriyatij_v_rossii/ (дата обращения: 19.12.19).

16. Семенцов С.В. Градостроительно-композиционные качества застройки Санкт-Петербурга в XVIII – начале XXI вв. // Промышленное и гражданское строительство. 2007. № 9. С. 37–38.

17. Семенцов С.В., Возняк Е.Р. Композиционная структура фасадов зданий Санкт-Петербурга XVIII в. и ее отражение в архитектурно-градостроительной среде Санкт-Петербурга // Вестник гражданских инженеров. 2017. № 4 (46). С. 55–60.

18. Семенцов С.В. Этапы формирования пространственной среды Санкт-Петербурга // Вестник гражданских инженеров. 2006. № 2 (7). С. 15–20.

19. Семенцов С.В. Город архитектурной гармонии // Наука в России. 2003. № 3. С. 121–126.

20. Шаскольский И.П. Устройство шведских гостиных дворов в городах России после Столбовского мира 1617 г. // Скандинавский сборник. Таллин, 1965. Вып. 10. С. 83–107.

21. Il Fondaco dei Tedeschi : [официальный сайт] / ОМА. 2016. [Электронный ресурс]. URL: <https://oma.eu/projects/il-fondaco-dei-teseschi> (дата обращения: 19.12.19).

Информация об авторах

Бредихина Анастасия Викторовна, аспирант кафедры архитектурного и градостроительного наследия. E-mail: elle0072008@yandex.ru. Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет. Россия, 190005, г. Санкт-Петербург, 2-я Красноармейская ул., д.4

Поступила 18.02.2020 г.

© Бредихина А.В., 2020

Bredikhina A.V.

St. Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering

E-mail: elle0072008@yandex.ru

THE HISTORICAL BAZAARS AND SHOPPING ARCADES. POSSIBILITIES OF THEIR RENOVATION

Abstract. *Shopping arcades and bazaars are considered as the oldest and most common commercial buildings in Russia. The main periods of development of these buildings are investigated, and the most probable space-planning prototypes (Emporia, caravanserais, and others) are established. A typology of cellular commercial buildings is proposed. The objects are compared in the following areas: the nature of the layout, spatial solutions, stylistic directions. Domestic and foreign experience of adaptation is considered. Examples of the most interesting and diverse solutions for the modern use of cellular commercial buildings are given. The main directions of renovation of commercial buildings are proposed, such as functional, planning, spatial.*

Conclusions are drawn about the wide possibilities of modern use of such buildings. The most suitable functions are selected, including retail, catering, office, etc. The mixed function is highlighted as the most preferred. As a method for evaluating the proposed spatial planning solutions, it is proposed to rely on data from landscape and visual analysis. The optimal solution is selected for commercial buildings of different

configurations: linear (functional and planning direction), semi-closed (development of internal space, landscaping, the possibility of organizing seasonal shopping and fair spaces) and closed (the same as for semi-closed, plus a solution for overlapping (full or partial) internal space). The historical and cultural value of bazaars and shopping arcades, the need to preserve them are proved.

Keywords: architecture, trade, renovation, shopping arcade bazaar, cultural heritage sites.

REFERENCES

1. Bogdanov I.A. The Great Gostiny Dvor in St. Petersburg [Bol'shoy Gostinyy dvor v Peterburge]. Series: Three Centuries of Petersburg. St. Petersburg.: Art, 2001. 245 p. (rus)
2. Bespyatykh Yu.N. Petersburg Anna Ioannovna in foreign descriptions [Peterburg Anny Ioannovny v inostrannykh opisaniyakh]. St. Petersburg, 1997. 355 p. (rus)
3. Wozniak Ye.R. Moulds and profiles of the building facades of St. Petersburg of the 18th century [Oblomy i profili fasadov zdaniy Sankt-Peterburga XVIII v.]. Vestnik MGSU. 2015. No.12. Pp. 13–24. (rus)
4. Wozniak E.R. Moulds and cornices in elizabeth's baroque era (1742-1762) in Saint-Petersburg [Oblomy i karnizy yelizavetinskogo barokko (1742–1762) v Sankt-Peterburge]. Bulletin of civil engineers. 2012. No. 4 (33). Pp. 13-21. (rus)
5. Wozniak E. R. Principles of decoration of classical facade with architectural forms [Printsipy oformleniya klassicheskogo fasada arkhitekturnymi formami]. Modern problems of science and education. 2014. No.6. Pp. 18–25. (rus)
6. Wozniak E.R. Research methodology the detail of the facades of historic buildings based on the theory of architectural forms [Metodika issledovaniya detalizatsii fasadov istoricheskikh zdaniy na osnove teorii arkhitekturnykh form]. Modern problems of science and education. 2017. No.1. Pp. 22-26. (rus)
7. Wozniak E.R., Makhova T.D. Organization methods (using an integrated approach) of modern public space as an example of the reconstruction of the territory of the New Holland Island in St. Petersburg [Metody organizatsii (ispol'zovaniye kompleksnogo podkhoda) sovremennogo obshchestvennogo prostranstva na primere rekonstruktsii territorii ostrova Novaya Gollandiya v Sankt-Peterburge]. Successes of modern science. 2017. Vol. 5. No. 2. Pp. 125–129. (rus)
8. Wozniak E.R. et al. Classification of details of facades of historical buildings built on the basis of the theory of architectural forms [Klassifikatsiya detaley fasadov istoricheskikh zdaniy, postroyennykh na osnove teorii arkhitekturnykh form]. Vektory razvitiya sovremennoj nauki. Materialy IV Mezhdunarodnoj nauchno–prakticheskoy konferencii. Ufa, 29–30 yanva-rya 2017 g. Ufa: Izd–vo Avtonomnaya nekom-mercheskaya organizatsiya "Issledovatel'skij centr informacionno–pravovykh tekhnologiy", 2017. Pp. 3–6. (rus)
9. Wozniak E.R. et al. The relevance of the theory of historical architectural forms in modern conditions of construction and restoration [Aktual'nost' teorii istoricheskikh arkhitekturnykh form v sovremennykh usloviyakh stroitel'stva i restavratsii]. Collection of articles. Samara State Technical University. Samara, 2019. Samara: Publishing House Samara State Technical University. Pp. 190–196. (rus)
10. Wozniak E.R. et al. The Problem of Abandoned Buildings and Objects [Problema zabrosennykh stroyeniy i ob"yektov]. Sovremennyye problemy istorii i teorii arkhitektury. Materialy IV Vserossiyskoj nauchno-prakticheskoy konferencii. St. Petersburg, November 14, 2018 St. Petersburg: Publishing House St. Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering. Pp. 40–45. (rus)
11. Gusarova E.V. Astrakhan finds: History, architecture, urban planning of Astrakhan of the XVI–XVIII centuries, according to documents from the collections of St. Petersburg [Astrakhanskiye nakhodki: Istoriya, arkhitektura, gradostroitel'stvo Astrakhani XVI–XVIII vv. po dokumentam iz sobraniy Peterburga]. St. Petersburg: Nestor – Istoriya, 2009. 491 p. (rus)
12. Kamochkin G.A. Trading spaces in the Russian architectural tradition [Torgovyye prostranstva v russkoy arkhitekturnoy traditsii]. Yaroslavl Pedagogical Bulletin. 2015. Vol. 1. No. 1. Pp. 122–127. (rus)
13. Kulisher I.M. History of Russian trade and industry [Istoriya russkoy trgovli i promyshlennosti]. Comp. A.V. Kuryaev. Chelyabinsk: Socium, 2003. 55 p. (rus)
14. Kulisher I.M. The history of the economic life of Western Europe: in 2 vol. [Istoriya ekonomicheskogo byta Zapadnoy Yevropy: v 2 t.] 9th ed. Vol. 1. Chelyabinsk: Socium, 2004. Pp. 82–83. (rus)
15. Nozdrina, L. History of the emergence and location of trading enterprises in Russia [Istoriya vozniknoveniya i razmeshcheniya torgovykh predpriyatij v Rossii] [Electronic resource]. URL: http://ruskline.ru/analitika/2009/08/26/istoriya_vozniknoveniya_i_razmeweniya_torgovykh_predpriyatij_v_rossii/ (accessed: 12.19.19). (rus)
16. Sementsov S.V. Urban planning and compositional qualities of the development of St. Petersburg in the XVIII – early XXI centuries [Gradostroitel'no–kompozitsionnyye kachestva

zastroyki Sankt–Peterburga v XVIII – nachale XXI vv.]. Industrial and civil construction. 2007. No.9. Pp. 37–38. (rus)

17.Sementsov S.V., Voznyak E.R. Compositional structure of facades of buildings of St. Petersburg of the XVIII century. and its reflection in the architectural and urban planning environment of St. Petersburg [Kompozitsionnaya struktura fasadov zdaniy Sankt–Peterburga XVIII v. i yeye otrazheniye v arkhitekturno–gradostroitel'noy srede Sankt–Peterburga]. Bulletin of civil engineers. 2017. No. 4 (46). Pp. 55–60. (rus)

18.Sementsov S.V. Stages of the formation of the spatial environment of St. Petersburg [Etapy

formirovaniya prostranstvennoy sredy Sankt–Peterburga]. Bulletin of civil engineers. 2006. No. 2 (7). Pp. 15–20. (rus)

19.Sementsov S.V. City of architectural harmony [Gorod arkhitekturnoy garmonii]. Science in Russia. 2003. No.3. Pp. 121–126. (rus)

20.Shaskolsky I.P. Arrangement of Swedish guest houses in Russian cities after the Stolbovsky Peace of 1617 [Ustroystvo shvedskikh gostinykh dvorov v gorodakh Rossii posle Stolbovskogo mira 1617 g.]. Scandinavian collection. Tallinn, 1965. Issue. 10. Pp. 83–107. (rus)

21.II Fondaco dei Tedeschi: [official site]. OMA. 2016. [Electronic resource]. URL: <https://oma.eu/projects/il-fondaco-dei-teseschi> (accessed: 12.19.19).

Information about the authors

Bredikhina, Anastasia V. Postgraduate student. E-mail: elle0072008@yandex.ru. St. Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering. Russia, 190005, St. Petersburg, 2nd Krasnoarmeyskaya St., 4

Received 18.02.2020

Для цитирования:

Бредихина А.В. Исторические гостиные дворы и торговые ряды. Возможности их реновации // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2020. № 9. С. 46–56. DOI: 10.34031/2071-7318-2020-5-9-46-56

For citation:

Bredikhina A.V. The historical bazaars and shopping arcades. Possibilities of their renovation. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2020. No. 9. Pp. 46–56. DOI: 10.34031/2071-7318-2020-5-9-46-56

DOI: 10.34031/2071-7318-2020-5-9-57-66

Аль-Джабери А.А.Х.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

*Email: ahmeda.hanash@uokufa.edu.iq

ПРОСТРАНСТВЕННАЯ КЛАССИФИКАЦИЯ ТРАНСПОРТНЫХ СЕТЕЙ И ЕЕ СВЯЗЬ С ТИПОЛОГИЕЙ ТРАНЗИТНО-ОРИЕНТИРОВАННОГО РАЗВИТИЯ ДЛЯ ГОРОДОВ НАДЖАФ И КУФА ПРОВИНЦИИ НАДЖАФ

Аннотация. Транспорт является связующим звеном между территориями с различными видами землепользования в городской местности. В то же время улучшенная доступность, связанная с транспортной сетью, может привести к увеличению разделения и изменению характера землепользования. В статье проанализирована улично-дорожная сеть городов Наджаф и Куфа, провинция Наджаф, Ирак, с целью выявления пространственной классификации дорог и улиц. По итогам анализа выявлены три основных типа дорог и улиц относительно их особенностей строения и характеристик: региональные, городские и районные. Обозначена зависимость типологии и расположения транзитно-ориентированных зон от классификации улично-дорожной сети. В процессе анализа изучаемой территории выявлены наиболее оптимальные точки для применения практики транзитно-ориентированного развития (ТОР), указаны территории наиболее выгодные для расположения транзитно-ориентированных зон регионального, городского и районного значения, а также даны основные характеристики этих зон. Для того, чтобы получить цели, эта статья будет включать сбор данных и создание базы данных для землепользования с использованием среды географических информационных систем (ГИС). Результатом пространственного анализа являются пять региональные узлы, шесть городских узлов и семь районных узлов.

Ключевые слова: градостроительное планирование, транзитно-ориентированное развитие, улично-дорожная сеть, типология.

Введение. Классификация дорог является одним из важных инструментов, используемых для проектирования дорожной сети и планирования землепользования. Это средство различения каждой транспортной связи с точки зрения ее функции для установления соответствующих целей использования конкретной улицы или магистрали и реализации соответствующих критериев проектирования [1]. Системы классификации дорог являются основой для определения функции и, в свою очередь, критериев проектирования улично-дорожных сетей в разных городах мира [2]. Традиционные системы классификации были основаны на функциях мобильности и доступа к дорогам для автомобильного движения [3]. Целью данного исследования является установление взаимосвязей и зависимостей между типами используемых дорог и типами застройки, ориентированной на общесуветный транспорт.

Основная часть.

Провинция Наджаф является одной из провинций Среднего Евфрата в Республике Ирак и примерно в 160 км от столицы Ирака Багдада, а административно город Наджаф является административным центром провинции. Город Наджаф приобрел религиозное значение для мусульман (шиитов) в результате размещения храма Имама Али бин Аби Талиба. Затем он приобрел религиозное и коммерческое значение для

туристов, которые приезжают с целью поиска благословения и посещения храма [4]. Море Наджаф и кладбище на западной стороне оказали негативное влияние на рост городов и направили рост города Наджаф в сторону города Куфа, примерно в 10 км на восток, а также на существование мечети в Куфе, это способствовало тому, что два города росли в одну сторону [5]. Для того, чтобы получить цели, эта статья будет включать сбор данных и создание базы данных для землепользования с использованием среды географических информационных систем (ГИС). При анализе урбанизированной структуры, образованной городской тканью городов Наджаф и Куфа, были выявлены три основных типа дорог и улиц, влияющих на развитие поселений: региональные, городские и районные (рис. 1).

Региональные магистральные улицы и дороги (Скоростные дороги) (Regional highway roads). Эти дороги спроектированы в соответствии со спецификациями высокой пропускной способности и эффективности, они используются для передвижения между городами, а также для связи между городскими районами, не связанными между собой пространственно. Это изолированные от городской застройки дороги, которые в большинстве своем не проходят по центру города, являются соединениями с внешними международными магистралями. Региональных магистральные дороги Наджафа и Куфы огибают

основное пятно городской застройки и соединяются радиально вокруг центра, где они служат для организации и движения движения внутри и за пределами города. Эти дороги имеют высокую пропускную способность и высокий порог допустимой скорости, так как транспортные средства не могут двигаться на таких магистралях со скоростью менее 40 км/ч. Данный тип дорог имеет ограждения практически на всем своем протяжении для ограничения проникновения на небезопасные участки животных и людей. Такого рода магистрали не предусматривают наличие дорожных знаков и светофоров, используемых в городской черте. Количество полос движения варьируется от 4 до 8, средняя скорость движения составляет 60 – 80 км/ч для дорог шириной 50 – 70 м и 80 – 120 км/ч для дорог шириной 70 – 100 м. Интенсивность движения составляет от 1000 до 1400 автомобилей в час [6]. К региональным магистральным дорогам городов Наджафа и Куфы относятся следующие направления:

- дорога, связывающая провинцию Наджаф с провинцией Кербела и Багдадом и северными провинциями, – является одной из важных дорог для данной территории. Она начинается из центра города Наджаф и простирается в северном направлении к городу Кербела на протяжении 80 км. Магистраль имеет 2 полосы в каждом направлении, ширина полотна 8 м для каждого направления, также, магистраль имеет разделительную полосу шириной 8 м. Данное направление является социально и экономически значимым, так как соединяет множество различных городских и районных поселений, а также имеет и культурную значимость, така как способствует притоку посетителей святыней Имама Али в Наджафе, Хусейна и его брата Аббаса в Кербеле, которые имеют высокий религиозный статус среди мусульман-шииты в Ираке и исламском мире.

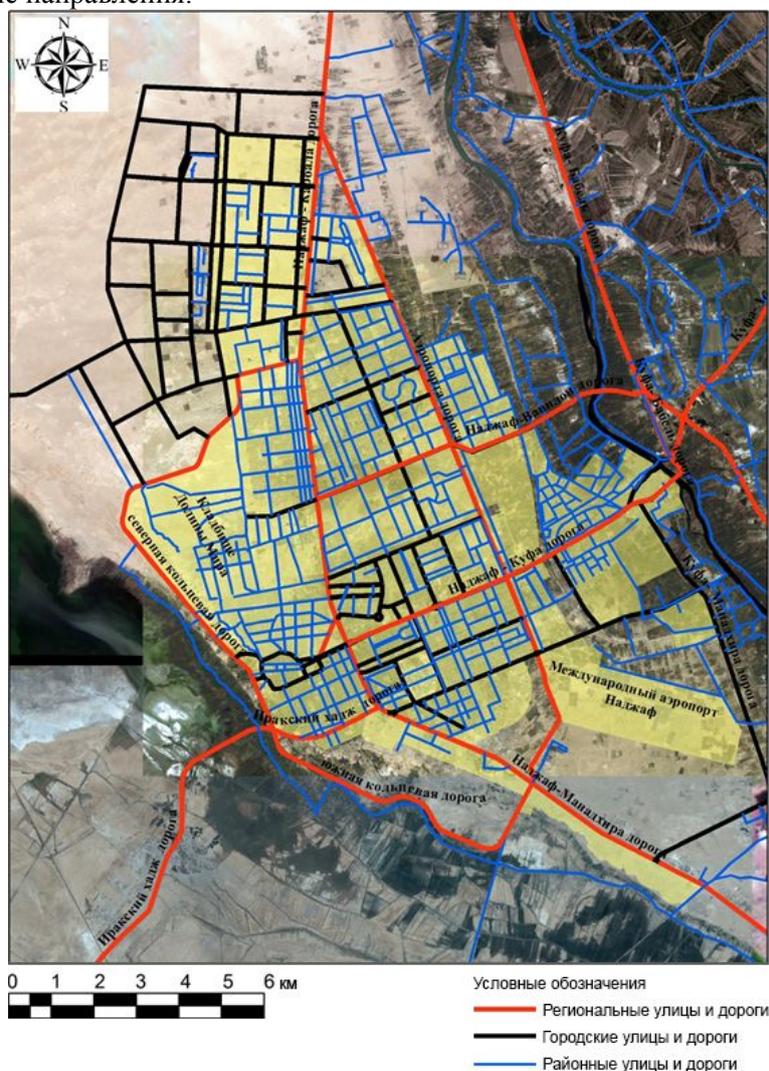


Рис. 1. Классификация сети дорог и улиц для городов Наджаф и Куфа в провинции Наджаф, Ирак, по пространственным характеристикам

- северная кольцевая дорога, начинающаяся с севера после северного въезда в город по дороге Наджаф-Кербела и проходит через северные районы и кладбище Вади-эль-Салам, пересекает границу старого центра Наджафа, затем продолжается в направлении южных районов и заканчивается внешней дорогой Наджаф-Кадсия на пересечении южной кольцевой дороги, проходящей через район Манатары. Это очень важная улица для священного города Наджаф во время религиозных торжеств и праздников, поскольку все дороги, ведущие к центру города, закрыты. Эта дорога помогает уменьшить интенсивность давления прибывающих плотным потоком транспортных средств паломников в дни сезонных посещений храма Имама Али. Транспортные средства, прибывающие из северных провинций, которые направляются через северную кольцевую дорогу, а южные провинции - через южную кольцевую дорогу. Грузовые автомобили являются одним из наиболее распространенных типов автомобилей, которые используют эту дорогу в обычные дни из-за ее связи с заводами и строительными карьерами в районе Мазлум, расположенными на берегу Наджафского моря. Магистраль, также как и Наджаф-Кербела, имеет 4 полосы в общей сложности, ширина полотна 8 м для каждого направления, также, магистраль имеет разделительную полосу шириной 8 м.

- следующая важная магистраль начинается со съезда со скоростной автомагистрали Наджаф-Манатра, затем поворачивает налево к Международному аэропорту Наджаф. Эта автомагистраль, так как большое количество транспортных средств, выезжающих с внешней дороги движется с юга, ведет к городу Наджаф. Это четырехполосная дорога с шириной дорожного полотна в каждом направлении 7,5 м, и разделительной полосой 4 м. Данная магистраль является основной для транспортировки в южные районы так как является единственной главной дорогой, вежущей в южный Ирак.

- дорога начинается от центра города Наджаф в направлении города Куфа, разделяет оба города на две части и продолжается до выезда из города Куфа и продолжается на север. в направлении провинции Бабил, а оттуда в провинцию Багдад и северные провинции. Ранее эта дорога была главной транспортной артерией, соединяющей Наджаф с северными провинциями. Сейчас она более активно служит для коммуникации Наджафа и Куфы, для коммуникации Наджафа и подрайона Аббасия из-за новой дороги, которая была построена после строительства моста Имама Али на реке Евфрат. Эта дорога, как и описанные ранее, имеет двустороннее

движение, 4 полосы, каждая шириной 4 м и разделитель шириной 8 м. Этот путь имеет большое значение для развития застройки городов по направлению друг к другу в результате их роста в связи с религиозной деятельностью, которая является наиболее важной причиной появления этих двух городов.

- дорога, соединяющая провинции Хилла и Багдад, и эта транзитная магистраль не пересекает центры городов Куфа и Наджаф. Она начинается через мост Имама Али на реке Евфрат и продолжается до пересечения дороги от аэропорта. Она продолжается до пересечения с дорогой, ведущей на Кербелу. Он имеет те же технические характеристики, что и дорога, соединяющая Наджаф и Куфу.

- еще одна важная магистраль начинается от Международного аэропорта Наджаф до пересечения с дорогой Наджаф-Куфа через мост Университета Куфы и продолжается до пересечения дороги Багдад-Наджаф в районе моста Дворец Культуры, а затем продолжается вдоль севера поворачивая к дороге Наджаф-Кербела в направлении провинции Кербела через Хайдарийский подрайон. Она также имеет такие же технические характеристики что и дорога, соединяющая Наджаф и Куфу.

Главные городские улицы и дороги (Urban main arterial roads). Основные распределительные дороги и улицы называются главными распределительными дорогами и имеют ширину 40 – 60 м, где автомобильное движение изолировано от движения людей по тротуарам разделительными полосами. Данный тип дорог обслуживает различные городские территории, например, центр города или большие жилые районы (соседства). Их функция заключается в распределении и сборе трафика в районах города без пересечения магистральных дорог в тех местах, где это возможно. Эти улицы имеют пропускную способность 800 – 1200 транспортных средств в час, позволяют перемещаться на большие расстояния из-за своей протяженности и предусматривают скорость движения транспортных средств 60 – 80 км/ч [6]. Городские дороги разветвляются от пересечений главных улиц в узлах, расположенных на региональных улицах, и это отличает их от региональных магистралей, которые пересекаются друг с другом в соответствии с предложенной классификацией для узлов транзитно-ориентированного развития.

Районные улицы и дороги (District roads). Основная функция этих дорог – связь в пределах района и с главными улицами общегородского значения, имеют только одноуровневые пересечения. Районные улицы имеют большое значение

для города, поскольку служат основными транспортными путями в направлении центра города, а также выполняют множество функций – предоставляют доступ к жилым, развлекательным, промышленным, коммерческим объектам. Кроме того, такой тип улиц часто служит границей между функциональными зонами в городе и называется распределительным (collector streets), поскольку они собирают трафик с местных улиц и служат связью с главными улицами города. Они позволяют перемещаться на небольшие расстояния и совершать короткие городские поездки, имеют пропускную способность от 600 до 900 транспортных средств в час и позволяют двигаться со средней скоростью от 40 км/час [6].

Типология транзитно-ориентированных зон – это способ группировки различных территорий, спроектированных согласно концепции транзитно-ориентированного развития, которые имеют общие характеристики. Характеристики, определяющие типы территорий, могут различаться в зависимости от того, какие результаты ожидаются от применения концепции: транзитно-ориентированные зоны, расположенные на одной территории не будут одинаковыми по своей типологии [7, 8]. Транзитно-ориентированная зона может принимать различные формы и варьироваться от коммерческих и жилых центров, которые составляют сердце центрального делового района города, до компактных, но менее плотных жилых кварталов с некоторыми удобствами или без них. По определению, все типологии ТОР включают в себя услуги общественного транспорта [9]. Они также включают большую плотность, как и сочетание жилья и коммерческих единиц вместе с развитым пешеходной средой. Данная типология является полезным инструментом, поскольку повышает понимание характеристик, которые устанавливают измеримые показатели производительности, и обеспечивают основу для повышения эффективности использования территории. Широкая варьированность показателей позволяет определять места, требующие различных стратегий и подходов для стимулирования роста транзитно-ориентированных районов [10].

В этом исследовании, с целью соответствия предложенной классификации дорожной сети с пространственными характеристиками и типологией транзитно-ориентированного развития застройки, анализ ограничивается тремя уровнями: региональные, городские и районные узлы застройки, ориентированной на общественный транспорт.

Уровень региональных узлов транзитно-ориентированного развития.

В данном типе узла располагаются региональные центры обслуживания, центр экономической активности и регионального сообщества. Такая высокоплотная и насыщенная функциями территория создаст тесную взаимосвязь между сообществом и регионом, между местами приложения труда и жилой застройкой, между людьми и обществом. Транзитно-ориентированная зона регионального значения определяется наличием смешанного функционального использования с преобладанием тех функций, которые наиболее необходимы в конкретном случае, с доминированием застроенной территории, обслуживаемой различными видами транспорта. Региональные узлы больше по размеру, чем городские и районные узлы, и, как правило, содержат больше, один транспортный узел. Кроме того, для такой зоны характерны большая площадь покрытия, более высокая плотность, общественные открытые пространства, минимальная площадь парковки. и т. д. Это приводит к высокому уровню развития города в региональных узлах (рис. 2) [11].

В транспортной структуре городов Наджафа и Куфы определено пять наиболее оптимальных территорий на пересечении региональных дорог в городе друг с другом, в которых генерируется взаимодействие между различными функциями в радиусе 1600 метров. Территории представляют собой пересечение путей в и из областного центра из различных городских и районных поселений (рис. 3.).

Уровень городских узлов транзитно-ориентированного развития.

Транзитно-ориентированный узел городского значения функционирует в качестве локального центра или субцентра экономической и общественной деятельности и обслуживается одним или несколькими типами общественного транспорта. Плотность проживания в транзитно-ориентированных зонах такого типа, как правило, ниже, чем плотность проживания в узлах регионального значения, но сочетание многожесткости функций в них более сбалансировано между жилой и коммерческой застройкой. Более плотная застройка в узлах городского значения, как правило, сосредоточена в нескольких минутах ходьбы от транспортного узла. Размер квартала, радиус доступности и плотность застройки являются сравнительно умеренными. Парковка, как правило, расположена рядом с транзитными станциями. Застройка такой зоны включает в себя общественно-деловую зону с торговыми и офисными зданиями, а также жилую застройку высокой плотности (рис. 4).

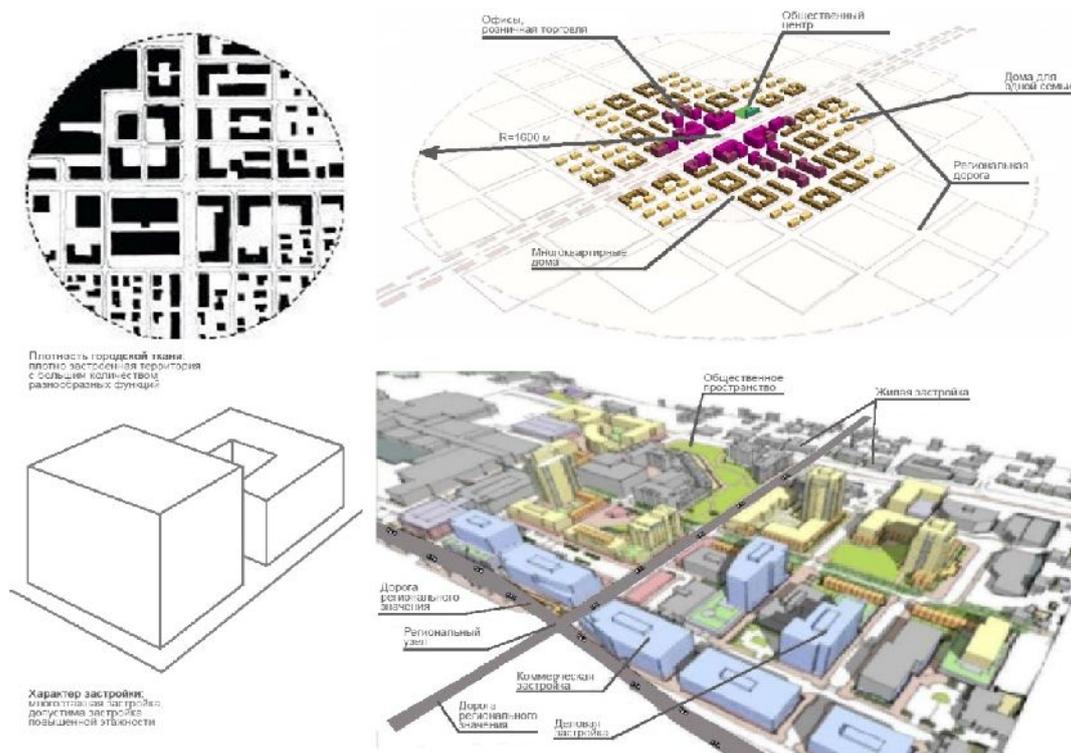


Рис. 2. Характеристики пространственной структуры для регионального узла.

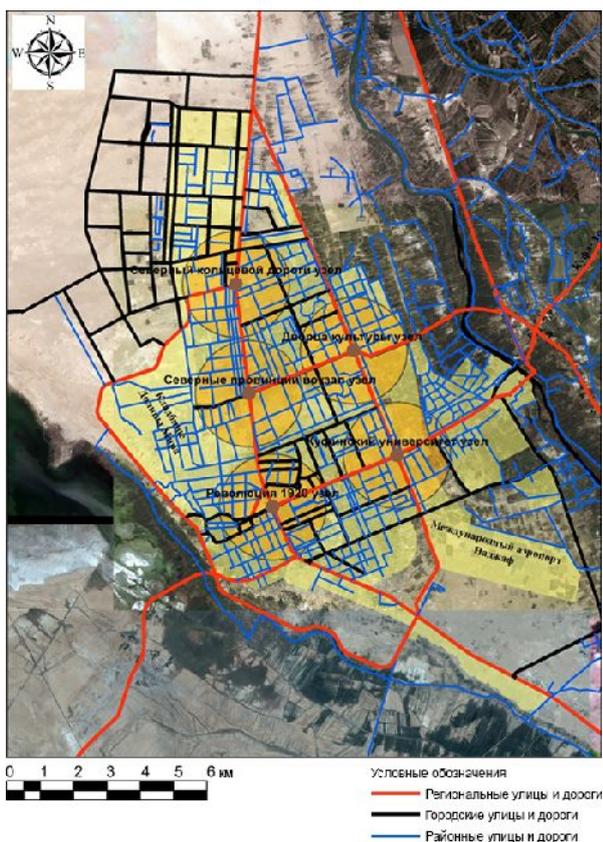


Рис. 3. Расположение транзитно-ориентированных узлов регионального значения в структуре городов Наджаф и Куфа

В структуре Наджафа и Куфы определено 6 территорий, наиболее подходящих для организации транзитно-ориентированного развития узлов

городского типа, которые находятся на пересечении региональных дорог в городах Наджаф и Куфа с основными городскими артериальными дорогами. Взаимодействие между различными функциями находится в пределах радиуса доступности, равного 800 м. Данные территории являются точками пересечения путей в и из городского центра из различных городских и районных поселений (рис. 5).

Уровень районных узлов транзитно-ориентированного развития.

Зона районного значения, ориентированная на общественный транспорт, является центром района, обслуживает местное население и способствует повышению качества жизни людей с низким и средним уровнем дохода. Такая зона оборудована общественными удобствами и зелеными открытыми пространствами, поэтому он обеспечивает легкий доступ с помощью различных способов передвижения. Жилой тип застройки в таком узле является преобладающим. Сфера обслуживания органичена в районных узлах местными услугами. Плотность жилой застройки в таких центрах, как правило, ниже, чем в узле городского значения, и самая высокая плотность в пределах нескольких минут ходьбы от транспортного узла. Центры соседств находятся в старых городских районах и новых пригородных застройках. В них обычно много открытых пространств, а парковка в основном на открытых участках (рис. 6).

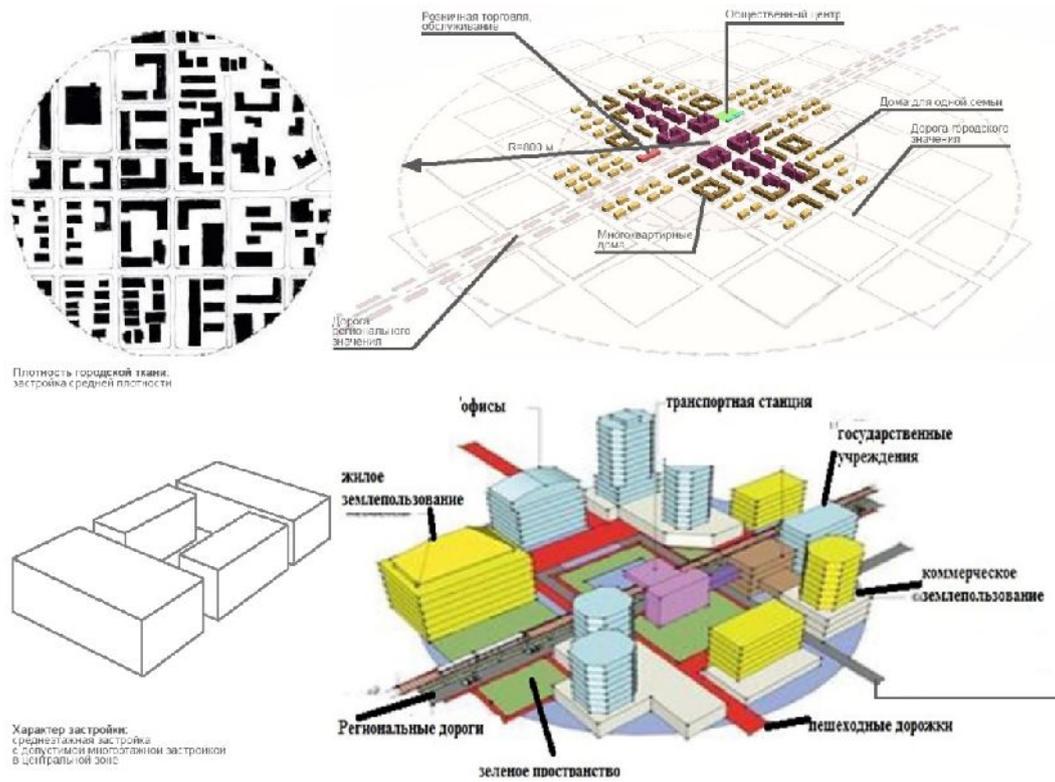


Рис. 4. Характеристики пространственной структуры для городского узла

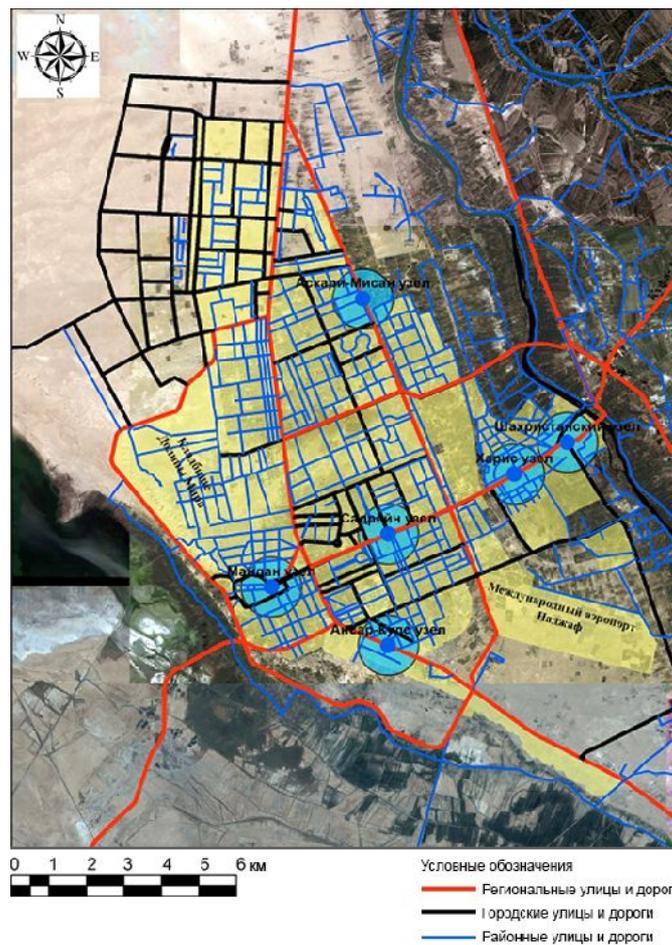


Рис. 5. Расположение транзитно-ориентированных узлов городского значения в структуре городов Наджаф и Куфа

Наиболее оптимальным местом для развития узлов районного значения в застройке, ориентированной на массовый общественный транспорт, является пересечение основных магистральных городских дорог друг с другом или с распределительными дорогами. В ходе анализа структуры Наджафа и Куфы было определено семь территорий, подходящих для организации районных узлов. Эти территории находятся на пересечении

районных дорог в городах Наджаф и Куфа с основными городскими артериальными дорогами. Радиус доступности таких зон равен 400 м. Транспортно-ориентированные зоны районного значения являются пересечением путей в и из центра города в определенный район города (рис. 7).

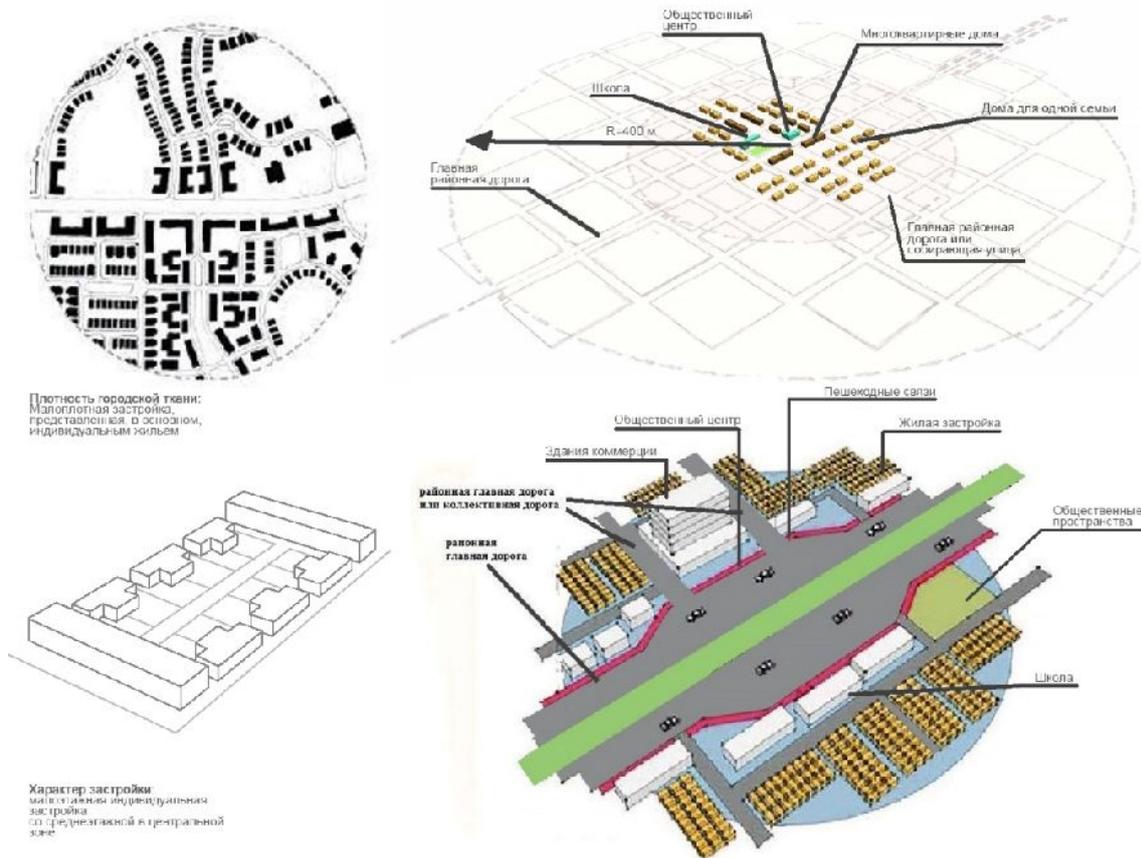


Рис. 6. Характеристики пространственной структуры для районного узла



Рис. 7. Расположение транзитно-ориентированных узлов районного значения в структуре городов Наджаф и Куфа

Вывод.

Наиболее оптимальным подходом для решения транспортных проблем и вопросов планирования для городов Наджаф и Куфа является использование идеи транзитно-ориентированного развития. Анализ транспортной инфраструктуры данных населенных пунктов показал, что наиболее выгодной с точки зрения пространственной структуры будет организация транзитно-ориентированных узлов трех уровней: регионального, городского и районного значения. Региональные центры, находящиеся на пересечениях региональных маршрутов, удовлетворяют потребности экономической и культурной деятельности, так как обслуживаются разнообразным сочетанием различных видов общественного транспорта и обеспечивают высокую пропускную способность. Городские центры, находящиеся на пересечении региональных маршрутов с городскими,

обеспечат насыщенность функциональным наполнением в пределах городской черты, исключая внеобходимость в перемещении горожан на дальние расстояния. Районные центры обеспечивают набор необходимых активностей для горожан в пределах пешеходной доступности.

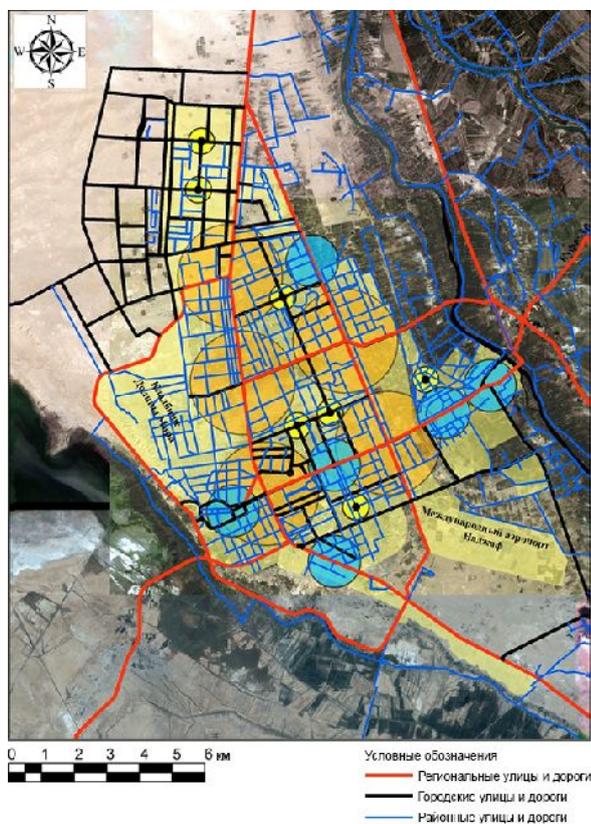


Рис. 8. Сводная схема расположения зон регионального, городского и районного значения в структуре городов Наджаф и Куфа

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Eppell V., McClurg B. A., Bunker J. M. A four level road hierarchy for network planning and management // In Jaeger, Vicki (Eds.), 20th ARRB conference, Melbourne, Australia. 2001. Pp. 1–15.
2. Аль-Джабери А. А. Х., Перькова М. В. Транзитно-ориентированное развитие как инструмент интеграции планирования,

землепользования и транспортных систем // Международная научно-техническая конференция молодых ученых БГТУ им. Шухова. 2018 г. С. 1–7.

3. Gerry F. Urban Roadway Classification: Before the Design Begins – Texas: Urban Street Symposium Conferences Proceedings, 1999. Pp. B-6/1-B-6/8.

4. Akram O. K., Ismail S., Franco D. J. The significant of tourism heritage of Najaf city in Iraq // International Journal of Engineering Technology, Management and Applied Sciences. 2016. Vol. 4, № 4. Pp. 14–19.

5. Al-Jaberi A., Al-Khafaji A., Ivankina N., Al-Sawafi M. The idea of pedestrian pockets as a key for successful transit-oriented development for Najaf city-Republic of Iraq // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. T. 698. IOP Publishing, 2019. e033029.

6. Pignataro L.J., Cantilli E.J., Falcocchio J.C., Crowley K., McShane W., Roess R., Lee B. Traffic engineering: theory and practice. 1973. 532 p.

7. Performance-Based Transit-Oriented Development Typology Guidebook // The Center for Transit-Oriented Development (CTOD), 2010. 90 p.

8. Аль-Джабери А. А. Х., Перькова М. В. Концепции нового урбанизма: транссекторное развитие, или разрезное планирование // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2019. Т. 21. С. 133–143.

9. Перькова М.В., Иванькина Н.А. Совершенствование транспортной инфраструктуры первого пояса Белгородской агломерации по методологии Нового урбанизма. Белгород: Изд-во БГТУ, 2018. 109 с.

10. Аль-Джабери А., Перькова М., Иванькина Н., Аль-Савафи М. Типология транзитно-ориентированного развития // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2019. № 5. С. 120–130.

11. A framework for Transit Oriented Development in Florida / Florida department of transportation and Department of community affairs, 2011. 70 p.

Информация об авторах

Аль-Джабери Ахмед Абдулсалам Ханаш, аспирант кафедры архитектуры и градостроительства. E-mail: ahmeda.hanash@uokufa.edu.iq. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова д. 46.

Поступила 07.05.2020 г.

© Аль-Джабери А.А.Х., 2020

Al-jaberi A.A.H.

Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhova

E-mail: ahmeda.hanash@uokufa.edu.iq

**SPATIAL CLASSIFICATION OF TRANSPORT NETWORKS
AND ITS CONNECTION WITH THE TYPOLOGY OF TRANSIT-ORIENTED
DEVELOPMENT FOR THE CITIES OF NAJAF AND KUFA
OF THE PROVINCE OF NAJAF**

Abstract. Transport is a link between territories with different types of land use in urban areas. At the same time, the improved accessibility associated with the transport network can lead to increased segregation and a change in land use. The article analyzes the road network of the Najaf and Kufa cities, Najaf province, Iraq, in order to identify the spatial classification of roads and streets. Based on the analysis, three main types of roads and streets are identified with respect to their structural features and characteristics: regional, city and district. The dependence of the typology and location of transit-oriented zones on the classification of the road network is indicated. In the process of analyzing the study area, the most optimal points for the practice of transit-oriented development (TOD) are identified, the territories most favorable for the location of transit-oriented zones of regional, city and district significance are introduced, the main characteristics of these zones are given. In order to reach goals, this article includes the collection of data and the creation of a database for land use applying a geographic information systems (GIS) environment. The result of the spatial analysis are five regional nodes, six urban nodes and seven district nodes

Keywords: urban planning, transit-oriented development, street-road network, typology.

REFERENCES

1. Eppell V., McClurg B.A., Bunker J.M.A. four level road hierarchy for network planning and management. In Jaeger, Vicki (Eds.), 20th ARRB conference, Melbourne, Australia. 2001. Pp. 1–15.
2. Al-Jaberi A.A.H., Perkova M.V. Transit-oriented development as a tool for integrating between land use Planning and transport systems [Tranzitno-orientirovannoe razvitie kak instrument integracii planirovaniya, zemlepol'zovaniya i transportnyh sistem]. International Scientific and Technical Conference of Young Scientists BSTU named after Shukhov. 2018. Pp. 1-7.(rus)
3. Gerry F. Urban Roadway Classification: Before the Design Begins ex Texas: Urban Street Symposium Conferences Procesdings, 1999. Pp. B-6/1-B-6.
4. Akram O.K., Ismail S., Franco D.J. The significant of tourism heritage of Najaf city in Iraq. International Journal of Engineering Technology, Management and Applied Sciences. 2016. Vol. 4, No. 4. Pp. 14-19.
5. Al-Jaberi A., Al-Khafaji A., Ivankina N., Al-Savafi M. The idea of pedestrian pockets as a key for successful transit-oriented development for Najaf city-Republic of Iraq. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. T. 698. IOP Publishing, 2019. e033029.
6. Pignataro L. J., Cantilli E. J., Falcocchio J. C., Crowley K., McShane W., Roess R., Lee B. Traffic engineering: theory and practice. 1973. 532 p
7. Performance-Based Transit-Oriented Development Typology Guidebook. The Center for Transit-Oriented Development (CTOD). 2010.
8. Al-Jaberi A.A.H., Perkova M.V. Concepts of a new urbanism: transect development, or transect planning [Konceptii novogo urbanizma: transsektornoe razvitie, ili razreznoe planirovanie]. Bulletin of Tomsk State University of Architecture and Civil Engineering. 2019. Vol. 21. Pp.133–143. (rus)
9. Improving the transport infrastructure of the first belt of the Belgorod agglomeration according to the methodology of New Urbanism [Sovershenstvovanie transportnoj infrastruktury pervogo poyasa Belgorodskoj aglomeracii po metodologii Novogo urbanizma]. Belgorod: Publishing house of BSTU named after V.G. Shukhov, 2018. 109 p. (rus)
10. Al-Jaberi A., Perkova M., Ivankina N., Al-Savafi M. Typology of transit-oriented development. [Tipologiya tranzitno-orientirovannogo razvitiya]. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2019. No.5. Pp.120–130. (rus)
11. A framework for Transit Oriented Development in Florida / Florida department of transportation and Department of community affairs. 2011. 70 p.

Information about the authors

Al-jaberi Ahmed Abdulsalam Hanash, Postgraduate student. E-mail: ahmeda.hanash@uokufa.edu.iq. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, Koctyukova, 46.

Received 07.05.2020

Для цитирования:

Аль-Джабери А.А.Х. Пространственная классификация транспортных сетей и ее связь с типологией транзитно-ориентированного развития для городов Наджаф и Куфа провинции Наджаф // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2020. № 9. С. 57–66. DOI: 10.34031/2071-7318-2020-5-9-57-66

For citation:

Al-jaberi A.A.H. Spatial classification of transport networks and its connection with the typology of transit-oriented development for the cities of najaf and Kufa of the province of Najaf. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2020. No. 9. Pp. 57–66. DOI: 10.34031/2071-7318-2020-5-9-57-66

ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ

DOI: 10.34031/2071-7318-2020-5-9-67-80

*1,*Жабрев Л.А., 2Чуппина С.В., 1Шамиурин А.И., 3Лебедева Е.А., 1Панченко О.В.*¹Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого²ООО «Группа НМП» – управляющая организация АО «Нева Металл Посуда»³ООО «Завод ВДМ «Пигмент»

*E-mail: leozhabrev@spbstu.ru

ОЦЕНКА СКЛОННОСТИ ПОКРЫТИЙ К ОБРАЗОВАНИЮ ПОР И НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИХ ВКЛЮЧЕНИЙ В СВАРНОМ ШВЕ

Аннотация. Задача сварки стальных элементов, окрашенных различными покрытиями, встречается в целом ряде отраслей промышленности на этапах заводской сборки и монтажа крупногабаритных конструкций, а также в ходе ремонтно-восстановительных работ. Пористость сварного металла является наиболее распространенным дефектом при электродуговой сварке без удаления покрытия, а склонность к порообразованию является нормируемым параметром при аттестации межоперационных грунтовок (EN ISO 17652-2:2003). Проведенные исследования охватывают широко распространённые полиакрилатные, алкидные, эпоксидные, поливинилбутиральные грунтовки в расширенном диапазоне рабочих толщин. Методика оценки также использована для цинкнаполненных и органосиликатных защитных покрытий. На основе исследования состава неметаллических включений в наплавленном металле методом энергодисперсионной рентгеновской спектроскопии и с помощью растрового электронного микроскопа описаны особенности поведения продуктов деструкции покрытий и их производных в ходе протекающих физико-химических превращений в процессе сварки. Проведено обобщение технологических особенностей сварки по покрытиям: стабильности параметров режима, стойкости к разбрызгиванию металла и активности выгорания покрытий в областях, прилегающих к валику.

Ключевые слова: пористость, неметаллические включения, высокотемпературная деструкция, органосиликатные покрытия, межоперационные грунтовки, цинкнаполненные покрытия

Введение. На протяжении нескольких веков сталь остается наиболее распространенным и востребованным конструкционным материалом, а коррозия металла является глобальной проблемой для всех отраслей промышленности. На практике решение данного вопроса широко реализуется с помощью антикоррозионной защиты разнообразными покрытиями (Пк). В ряде отраслей промышленности (судо- и мостостроении, атомной и теплоэнергетике, производстве железобетонных изделий и т.д.) технология защиты стальных деталей и конструкций соседствует с необходимостью проведения сборочных, монтажных, ремонтно-восстановительных работ, выполняемых электродуговой сваркой [1–3]. С одной стороны, использование неснимаемых перед сваркой Пк (в англоязычной литературе – «weldable», т.е. способных к сварке) значительно ускоряет и упрощает процесс подготовки элементов конструкции под сборку и сварку. С другой – продукты разрушения Пк снижают стабильность горения электрической дуги, способствуют увеличению разбрызгивания металла и пористости шва, а летучие продукты разложения способны нанести вред здоровью сварщика [4, 5]. При несоблюдении технологии сварки избыточная пористость сварного шва приводит к снижению прочностных и пластических характеристик, что

вызывает ослабление конструкции, особенно при наличии растягивающих напряжений [6].

По функциональным задачам и продолжительности срока службы исследуемые материалы можно разделить на межоперационные грунтовки и защитные Пк. Первые обычно наносятся слоем от 10 до 30 мкм и используются для антикоррозионной защиты заготовок в процессе транспортировки, складирования и сборки в течение срока от трех до девяти месяцев [7]. Они могут использоваться в качестве грунтовоочного слоя в комплексной защите металла или быть удалены перед окончательной окраской одним из следующих методов: механическим, абразивно-водоструйным [8–10], химическим [11] или лазером [12]. При удалении грунтовки любым из методов требуются дополнительные финансовые и временные затраты, но даже в этом случае использование межоперационных грунтовок экономически выгоднее, чем удаление ржавчины. Аттестация грунтовок для проведения сварки и резки (газопламенной, плазменной, лазерной) без их полной очистки регламентируется международными и национальными нормативными документами (например, в судостроении – требованиями Российского морского регистра судоходства).

Среди наиболее востребованных межоперационных грунтовок следует выделить полиакрилатные, алкидные, эпоксидные и поливинилбутиральные. В различных источниках [4, 13–18] приведены сведения о возможности проведения сварочных работ с использованием Пк на основе вышперечисленных полимеров и целого ряда наполнителей: оксида железа, фосфата цинка, цинка в различных модификациях и др.

Защитные Пк наносят слоем значительно большей толщины, и они, как правило, выполняют сразу ряд функций: адгезионную к подложке, барьерную антикоррозионную, покрывную, декоративную или функциональную. Срок их службы в зависимости от условий эксплуатации может достигать пяти и более лет. Одними из наиболее востребованных Пк, которые используются, например, для защиты крупногабаритных мостовых конструкций, являются обладающие высокими барьерными свойствами цинкнаполненные Пк. Рабочие толщины Пк составляют 40–120 мкм, а при необходимости их можно дополнительно перекрыть другими материалами.

Поведение органосиликатных покрытий (ОСПк) на основе полиорганосилоксанов и гидросиликатов в ходе сварки вызывает значительный интерес ввиду их высокой теплостойкости (длительно 300–600 °С, кратковременно до 1200 °С), значительно превышающей температуру их формирования и температуру начала деструкции кремнийорганического пленкообразователя [19, 20]. В зависимости от условий эксплуатации и марки ОСПк рекомендовано наносить слоем 100–200 мкм, однако, в ряде случаев в заводских условиях наносят слой толщиной 50–80 мкм, а финишная окраска производится после монтажа конструкции. Данные о возможности проведения электросварки без предварительного удаления ОСПк неоднократно в своих работах приводил крупный специалист в области органосиликатных материалов – Н.П. Харитонов. Ограничений на проведение электродуговой сварки покрытыми электродами не накладывалось и считалось, что при температуре плавления металла (стали) ОСПк плавятся и переходят в шлак, не образуя включений в шве [21].

Электродуговая сварка вызывает в зоне сварного шва преимущественно пиролиз Пк на основе углеводородных и кремнийорганических связующих и последующее испарение продуктов деструкции, основными из которых являются водород, пары воды, углекислый газ, реже азот и газообразные соединения на основе оксидов различных металлов [22]. Поры образуются в результате значительного снижения растворимости газов (в первую очередь водорода, азота и монооксида углерода), распределяемых в сварочной

ванне во время ее затвердевания. Другие газы, в том числе прочие летучие продукты разрушения Пк (например, метан, бензол, формальдегид, циклосилоксаны в случае ОСПк и др.), не играют значительной роли в порообразовании [22, 23]. Жидкий металл сварочной ванны разогревается в среднем до 1600–1800 °С, а в расплавленных электрической дугой каплях электродного металла и в передней части ванны достигаются температуры около 2300 °С. При данных температурах перегретый металл, взаимодействуя с активированными дугой газами, может абсорбировать их в количествах, значительно превышающих обычную растворимость в твердом металле. При последующем охлаждении жидкого металла растворимость газов снижается, и достигается переизбыток газами сварочной ванны во всем ее объеме.

Традиционно для выполнения качественного шва требуется, чтобы нежелательные продукты деструкции из защитного Пк в достаточной мере удалялись из зоны сварки с помощью одного или нескольких из следующих процессов [1]:

- 1) выгорание Пк на переднем крае сварочной ванны;
- 2) дегазация летучих продуктов разрушения Пк из жидкой сварочной ванны;
- 3) рафинирование металла шва за счет выведения продуктов разрушения Пк в шлак.

При невозможности полного удаления оставшиеся продукты разрушения Пк должны быть связаны в устойчивые соединения элементами-раскислителями из основного и присадочного металла.

Многообразие природы полимер-органической основы и химического состава наполнителей и пигментов дополнительно осложняет междисциплинарный характер поднимаемого вопроса, а оценка соотношения преимуществ и недостатков технологии применительно к каждой марке Пк индивидуальна. Более того, технологические параметры нанесения и сушки Пк [15], метод и режим дуговой сварки, конфигурация сварного соединения [24] и подготовка сварочных материалов [25] оказывают существенное влияние на возможность использования неснимаемого Пк в конкретной технологической цепочке.

Обобщая вышеизложенное, авторы стремятся единым методом исследования для всех заявленных материалов оценить склонность Пк к порообразованию при электродуговой сварке в защитном газе, а также установить природу неметаллических включений в металле шва и описать технологические особенности сварки по Пк.

Таблица 1

Состав покрытий, используемых в работе

Покрытие	Природа покрытия и назначение	Рекоменд. толщина, мкм	Растворитель	Полимерное связующее	Наполнители и пигменты	Соотношение Полимер / Наполнители+Пигменты)
АК-070	хлороформная полиакрилатная грунтовка для улучшения адгезии поверхности к финишному покрытию	10–30	ксилол, бутанол, ацетон	карбамидо-формальдегидная смола; сополимер метакриловой кислоты и бутилового эфира метакриловой кислоты	SiCrO_4	78/22
ВЛ-023	механолепная грунтовка на основе поливинил-бутирала	15–18	спиртовой раствор орто-формальной кислоты	поливинилбутираль; смола формальдегидная	$\text{Mg}_2[\text{Si}_2\text{O}_5]_2(\text{OH})_2$; $\text{Zn}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$; $\text{ZnCrO}_4 \cdot 4\text{Zn}(\text{OH})_2$; Cr_2O_3 ;	47/53
ГФ-021 Экспресс	алкидная глифталевая грунтовка для улучшения адгезии поверхности к финишному покрытию	15–40	ксилол	лак ПФ-060; фенолалькидная смола	$\text{Mg}_2[\text{Si}_2\text{O}_5]_2(\text{OH})_2$; $\text{Zn}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$; CaCO_3 TiO_2 ; сажа	28/72
ЭпоксидКонт-0263 С	эпоксидная механолепная грунтовка	20–30	ксилол, бутанол, ацетон	эпоксидная смола на основе бисфенола А; смола фенолоформальдегидная	$\text{Mg}_2[\text{Si}_2\text{O}_5]_2(\text{OH})_2$; Fe_2O_3 ; $\text{Zn}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$; $\text{ZnCrO}_4 \cdot 4\text{Zn}(\text{OH})_2$;	34/66
ЭпоксидКонт Цинк	антикоррозионная цинксолежашая система на основе эпоксидных смол с отвердителем эфирного типа	40–120	ксилол	дициклопильный эфир бисфенола А	$\text{Mg}_2[\text{Si}_2\text{O}_5]_2(\text{OH})_2$; Zn пыль; Zn хлопья; SiCrO_4 ; BaSO_4	19/81
ОС-51-03 зеленое	антикоррозионное, радиационностойкое, дезактивируемое ОСПк	150–200 (50–80)		Немодифицированный полидиметилфенилсилоксан	$\text{Mg}_2[\text{Si}_2\text{O}_5]_2(\text{OH})_2$; $\text{KAl}_2(\text{AlSi}_3\text{O}_{10})(\text{OH})_2$; TiO_2 ; Cr_2O_3	55/45
ОС-51-03 серое					$\text{Mg}_2[\text{Si}_2\text{O}_5]_2(\text{OH})_2$; $\text{KAl}_2(\text{AlSi}_3\text{O}_{10})(\text{OH})_2$; TiO_2 ; Cr_2O_3	55/45
ОС-56-22 серое	антиоблакающее ОСПк	150–200 (50–80)	толуол	немодифицированный полидиметилфенилсилоксан; линейный	$\text{Mg}_2[\text{Si}_2\text{O}_5]_2(\text{OH})_2$; $\text{KAl}_2(\text{AlSi}_3\text{O}_{10})(\text{OH})_2$; TiO_2 ; ZnO ; BaSO_4 ; сажа	60/40
ОС-82-01 зеленое	термостойкое ОСПк	100–160 (50–80)		диметилсилоксан- α , ω -диол модифицированный полидиметилфенилсилоксан*	$\text{KAl}_2(\text{AlSi}_3\text{O}_{10})(\text{OH})_2$; Cr_2O_3	30/70

*Полимер лака модифицирован органическим полиэфиром № 315, который синтезируют из касторового масла, диэтиленгликоля, малеинового и фталевого ангидридов

Используемые покрытия и методы исследования. Составы, основное назначение и диапазон рекомендуемых толщин Пк, используемых в рамках исследования, представлены в таблице 1.

Пористость сварного шва, выполненного по Пк, определялась в соответствии с методикой EN ISO 17652-2:2003: Welding – Test for shop primers in relation to welding and allied processes – Part 2: Welding properties of shop primers. Методика заключается в создании нахлесточного сварного соединения, наиболее склонного к образованию пористости. Заготовки сварного соединения представляли собой пару стальных листов марки 20 размерами 12×50×200 и 20×80×200 мм, на лицевую сторону более толстого из листов валиком было нанесено Пк. АК-070, ВЛ-023, ГФ-021 Экспресс, ЭпоксиКоут-0263С, ЭпоксиКоут Цинк были нанесены в соответствии с НТД на данные материалы. Покрытия ОС-51-03 и ОС-56-22 отверждались при помощи введения 0,5 масс. % отвердителя АГМ-9 при комнатной температуре, а ОС-82-01 – способом горячего отверждения [20, 21]. Толщину сухого слоя Пк определяли (здесь и далее) при помощи толщиномера «Константа К6».

Сборка листов осуществлялась в специальных тисках, позволяющих производить сварку в нижнем положении («в лодочку», см. рис. 1). Сварка выполнялась (здесь и далее) с помощью роботизированного комплекса, включающего манипулятор Yaskawa Motoman MH24 и источник питания EWM AlphaQ 552, в среде углекислого газа с использованием сварочной проволоки Св08Г2С диаметром (d) 1,2 мм. Параметры сварки: сварочный ток (I) – 250±10 А; напряжение дуги (U) – 30±1 В; скорость сварки (V_{св}) – 30 см/мин; скорость подачи проволоки (V_п) – 9,0 м/мин. Угол наклона горелки к плоскости горизонта составлял 60° в направлении хода сварки, что также способствовало дополнительному увеличению пористости [6].

После завершения сварки концевые участки соединения: 60 мм от начала и 40 мм от конца образца, были отрезаны, оценка склонности Пк к порообразованию производилась на участке 100 мм. Полученные образцы были разрушены на стенде для механических испытаний Zwick/Roell Z100. Оценка пористости осуществлялась путем обработки фотографий излома при десятикратном увеличении; поры, наибольшая ось которых не превышала 0,5 мм, не учитывались в оценке.

Исследование состава продуктов разрушения Пк (и производных их взаимодействия с металлом), находящихся в сварном шве в виде неметаллических включений, проводилось на шлифах поперечных сечений наплавленных швов с помощью растрового электронного микроскопа

Tescan Mira3N и метода энергодисперсионной рентгеновской спектроскопии (EDS) в соответствии с ISO 22309:2011 на детекторе Oxford Instruments X-max 80 EDX. Шлифы были вырезаны на расстоянии 80 мм от конца шва, выполненного по окрашенной стороне стального листа (марка Ст3сп) размерами 10×200×300 мм. Шов наплавлялся по центру листа вдоль стороны 300 мм на следующем режиме: сварочная проволока Св08Г2С, d – 1,2 мм; I – 220±10 А; U – 22 В; V_{св} – 30 см/мин; V_п – 6,5 м/мин; горелка располагалась перпендикулярно к подложке. В ходе данного эксперимента также оценивались технологические особенности сварки: стабильность процесса, склонность к разбрызгиванию, масса наплавленного металла, геометрические параметры наплавленного валика и ширина зоны выгорания Пк.

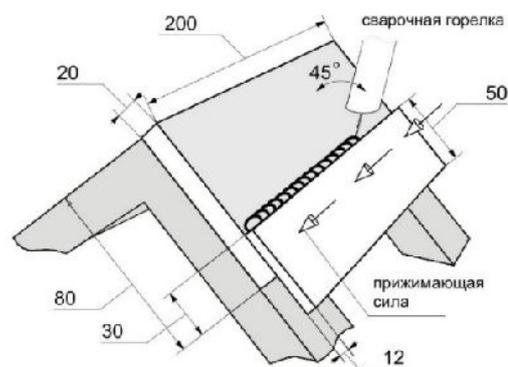


Рис. 1. Схема сборки и сварки образца для определения склонности покрытия к порообразованию

Результаты эксперимента и обсуждение.

Склонность к порообразованию. В таблице 2 для различных толщин Пк (δ) приведены значения общей площади пор (S_{пор}) и относительной пористости шва (Φ), равной отношению общей площади пор к площади излома шва. В соответствии с критерием методики по полученным результатам дано заключение о возможности использования исследуемых Пк в качестве не снимаемых перед сваркой:

- 1) при общей площади пор в изломе шва менее 150 мм² Пк может использоваться как неснимаемое без ограничений;
- 2) при общей площади пор в изломе шва 150–250 мм² Пк может использоваться в особых случаях для нетяжело нагруженных конструкций;
- 3) запрещается использование Пк при общей площади пор в изломе шва более 250 мм².

На рисунках 2 и 3 представлены графические зависимости относительной пористости в изломе шва от толщины сухого слоя грунтовок и защитных Пк.

Таблица 2

Влияние толщины сухого слоя покрытия на склонность к порообразованию

Покрытие	δ , мкм	$S_{пор}$, мм ²	Φ , %	Покрытие	δ , мкм	$S_{пор}$, мм ²	Φ , %
АК-070	10	5±2	0,3	ОС-51-03 зеленое	25	60±13	9,5
	20	85±18	11,0		36	103±21	12,2
	25	167±39	23,2		50	107±29	16,4
	40	264±48	32,7		75	82±17	14,3
ВЛ-023	15	122±15	17,8		100	233±65	26,7
	18	145±34	20,0		110	186±40	27,5
	20	214±42	24,4	150	169±47	23,8	
	25	233±107	28,5	200	574±150	66,1	
ГФ-021 Экспресс	22	256±51	33,0	ОС-51-03 серое	20	92±11	13,2
	35	275±30	33,5		50	137±19	19,7
	55	277±95	34,8		100	246±61	33,3
ЭпоксиКоут-0263С	17	66±8	6,4	150	442±122	52,7	
	20	75±18	12,8	ОС-56-22 серое	25	139±30	18,8
	28	178±89	23,1		50	195±41	24,3
35	170±12	22,8	100		299±75	41,8	
ЭпоксиКоут Цинк	25	22±5	3,4	150	340±97	52,8	
	40	40±18	6,4	ОС-82-01 зеленое	35	27±4	4,0
	60	19±2	3,3		65	160±42	22,4
	100	30±7	4,2		150	357±170	55,4
	120	44±5	6,5		250	571±145	62,5

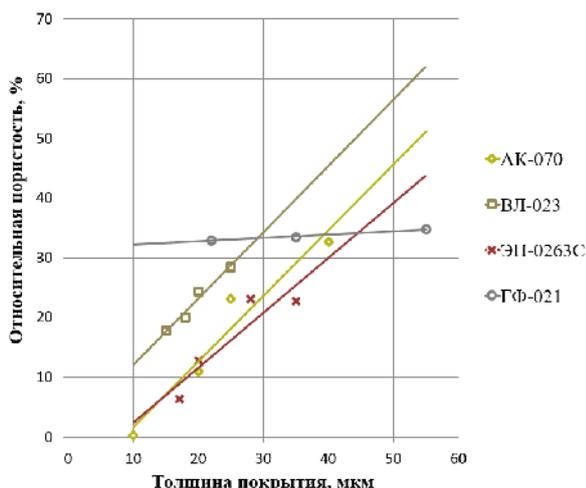


Рис. 2. Зависимость относительной площади пор в изломе сварного шва от толщины сухого слоя грунтовок

Для всех исследуемых Пк наблюдается рост пористости при увеличении толщины сухого слоя. Для грунтовок АК-070, ВЛ-023, ЭпоксиКоут-0263С на участке рабочих толщин наблюдается схожая линейная зависимость роста пористости от толщины сухого слоя Пк. Наименьшую склонность к образованию пор при равной толщине сухого слоя проявляют ЭпоксиКоут-0263С и АК-070. Возле нижней границы интервалов рекомендованных толщин (20–30 мкм для ЭпоксиКоут-0263С и 10–30 мкм для АК-070) допускается использовать грунтовки без ограничений, а на верхней границе интервала – в особых случаях для нетяжело нагруженных конструкций.

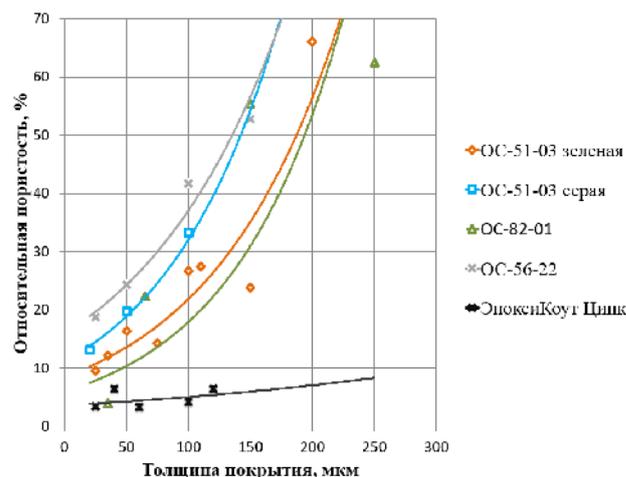


Рис. 3. Зависимость относительной площади пор в изломе сварного шва от толщины сухого слоя защитных покрытий

В узком интервале рабочих толщин ВЛ-023 15–18 мкм общая площадь пор не превышает 150 мм². Увеличение рекомендованной толщины сухого слоя даже до 20 мкм приводит к ограничениям в использовании ВЛ-023 в качестве неснимаемой межоперационной грунтовки.

В составе ГФ-021 Экспресс находится наибольшая доля наполнителей и пигментов среди всех исследуемых грунтовок: до четверти массы Пк составляет теплоустойчивый (900–1200 °С) и слаболетучий СаСО₃, в ходе термического разложения которого дополнительно образуются оксиды углерода, способствующие порообразованию. Использование грунтовки ГФ-021 Экспресс

не допускается во всем интервале рекомендованных толщин ввиду того, что общая площадь пор в изломе сварного соединения более 250 мм².

Различие почти в 600 °С между температурой плавления углеродистой стали (1500 °С) и температурой кипения цинка (906 °С), составляющего около четверти массы ЭпоксиКоут Цинк, приводит к активному образованию паров цинка в ходе сварки. В совокупности с невысокой теплостойкостью Пк порядка 220 °С это приводит к значительному выгоранию Пк и наименьшей пористости шва среди всех рассматриваемых материалов. Во всем интервале рекомендуемых толщин 40–120 мкм ЭпоксиКоут Цинк общая площадь пор не превышает 50 мм².

С температуры начала разрушения полимерной составляющей (от 240 °С и выше) и до достижения температур плавления стальной подложки в ОСПк может происходить целый ряд физико-химических процессов, которые относятся к одной из следующих групп [26]:

- 1) деструкция и «силоксановое структурирование» полиорганосилоксанов;
- 2) дегидроксилизация и другие структурные превращения гидросиликатов;
- 3) взаимодействие продуктов деструкции полиорганосилоксанов с силикатными и оксидными компонентами;
- 4) образование новых кристаллических фаз, переход материала в керамоподобное состояние.

В связи с высокими скоростями нагрева Пк при сварке (порядка 10² °С/с) процессы разрушения исходного слоя ОСПк заметно ускоряются, и деструкция и структурирование идут не только с поверхности ОСПк, а по всему объему материала, образуются новые аморфные более простые по составу фазы, при этом образование некоторых новых фаз, в зависимости от конкретного температурного цикла, замедляется или полностью подавляется [20, 21, 27].

Среди возможных продуктов разрушения полимерной составляющей ОСПк (на примере полидиметилфенилсилоксана): водорода, воды, углекислого и угарного газов, метана, бензола, муравьиной кислоты, формальдегида, трёх- и четырёхзвенных метилциклосилоксанов, существенное влияние на образование пор и неметаллических включений оказывают первые два. При температурах выше 720 °С еще одним продуктом разложения является аморфный кремнезем [19, 20, 26]. При сварке из-за наличия защитной атмосферы углекислого газа процесс «силоксанового структурирования» полиорганосилоксанов происходит преимущественно на периферийных участках на некотором удалении от сварного шва. Дегидроксилизация слоистых гидросилика-

тов и дальнейшее разложение воды может приводить к повышению окисленности сварочной ванны и увеличению пористости металла. Продуктами высокоскоростного терморазложения слоистых гидросиликатов является большое количество рентгеноаморфной фазы и плохо окристаллизованные оксиды [20, 21, 26, 27], например, в случае мусковита – SiO₂ и Al₂O₃, в случае талька – SiO₂ и MgO, при наличии обоих силикатов – магнево-алюминиевая шпинель MgO·Al₂O₃

В диапазоне исследуемых толщин ОСПк 25–250 мкм зависимость пористости металла шва от толщины носит экспоненциальный характер. По критерию методики определены максимальные толщины ОСПк, соответствующие возможности использования Пк без ограничения и в особых случаях для нетяжело нагруженных конструкций: для ОС-56-22 данные толщины составляют порядка 30 и 75 мкм, для ОС-51-03 серого и ОС-82-01 – 50 и 90 мкм, а для ОС-51-03 зеленого – 80 и 130 мкм соответственно. Для ОС-82-01 выбран несколько заниженный относительно усредненных значений диапазон толщин ввиду сильного разброса данных по общей площади пор.

Состав неметаллических включений. Для грунтовок АК-070, ВЛ-023, Эпокси-Коут-0263С при толщинах сухого слоя 20–45 мкм обнаружены только неметаллические включения типичные для сварных соединений из низколегированных сталей, выполненных по чистой поверхности. На рисунке 4а представлено включение, состоящее преимущественно из оксидов железа, марганца и кремния – элементов, входящих в состав стали. Специфичных для каждой марки Пк элементов, составляющих не менее 1,5 масс.% сухого слоя, а именно: для АК-070 – стронция, хрома; для ВЛ-023 – цинка, магния, кальция, фосфора; для ЭпоксиКоут-0263С – цинка и магния обнаружено не было.

Для ГФ-021 Экспресс элементный состав включений (рис. 4б) более разнообразен: в них обнаружены следы титана, кальция и алюминия, оксиды которых имеют температуры плавления выше температуры плавления стали (1843, 2572 и 2050 °С, соответственно). Присутствие данных элементов обусловлено большим содержанием наполнителей и пигментов в Пк (72 масс.% Пк): кальция – более 10 масс.%, магния – более 3 масс.%, титана – более 2 масс.%; алюминий, не входящий в формульный состав, определен EDS в количестве 0,23 масс.%. Обнаруженные неметаллические включения имеют округлую или глобулярную форму, а их линейные размеры не превышают 4 мкм. На оси перемещения электрической дуги разложение и испарение продуктов

деструкции Пк протекают с максимальной интенсивностью, в то время как на краю сварочной ванны температуры ниже. В точках сопряжения расплавленного металла сварочной ванны, металла подложки, Пк и газовой среды происходят металлургические процессы, характеризующиеся быстротечностью и нестабильностью, а их результатом является крайне неоднородная по составу шлаковая корка (рис. 4в).

В шве, выполненном по ЭпоксиКоут Цинк, неметаллические включения не превышают в диаметре 5 мкм. Во включении, приведенном на рисунке 4г, видны участки, сформированные при различных температурах: более тугоплавкий участок содержит оксиды алюминия и кальция, а менее тугоплавкий преимущественно состоит из сульфида марганца. Важно подчеркнуть полное отсутствие следов цинка, составляющего до четверти массы сухого Пк.

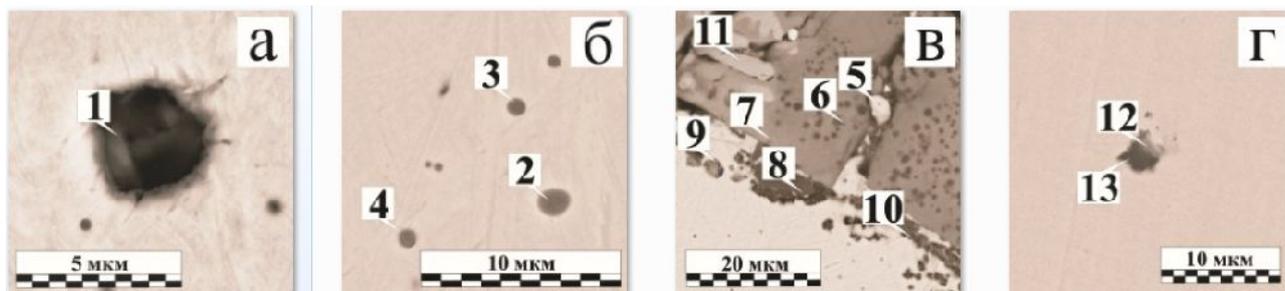


Рис. 4. Неметаллические включения в валиках, наплавленных по покрытиям:

а) ЭпоксиКоут-0263С; б) ГФ-021 Экспресс; в) ГФ-021 Экспресс (шлаковая корка); г) ЭпоксиКоут Цинк

Таблица 3

Элементный состав отдельных неметаллических включений в металле шва

№ рис.	Покрытие	δ, мкм	№ участка	O	Fe	Mn	Si	Al	Ca	Mg	Ti	S	Прочие*
				масс. %									
4а	ЭпоксиКоут 0263С	45	1	5,7	89,1	4,2	0,9	–	–	–	–	0,1	–
4б	ГФ-021 Экспресс	45	2	19,8	58,3	10,3	7,6	2,6	–	–	0,23	1,3	–
			3	15,8	69,5	5,7	6,7	2,3	–	–	–	–	–
			4	3,9	65,0	17,9	2,8	0,4	–	–	–	10,1	–
4в	ГФ-021 Экспресс	45	5	4,4	89,8	2,5	3,3	–	–	–	–	–	–
			6	46,8	3,9	21,0	27,1	0,4	0,5	0,3	–	–	–
			7	40,0	22,2	21,0	15,6	0,4	0,6	0,2	–	–	–
			8	50,1	2,6	0,4	1,4	45,1	–	–	0,3	–	–
			9	35,9	56,5	2,5	2,3	–	0,2	–	–	0,9	Cl, Na
			10	33,3	50,4	6,7	6,6	0,4	–	–	–	1,9	–
4г	Эпокси-Коут Цинк	100	11	26,3	58,4	14,0	1,4	–	–	–	–	–	Na
			12	10,7	32,0	30,1	1,7	5,7	0,6	0,6	–	18,7	–
5а	ОС-51-03 зеленое	95	13	46,4	5,9	6,8	2,1	20,7	3,4	0,3	–	4,4	–
			14	45,2	1,5	3,4	1,5	48,0	–	–	0,5	–	–
5б	ОС-51-03 зеленое	160	15	39,5	1,9	25,7	15,5	15,0	0,6	0,3	1,5	–	–
			16	3,8	94,4	0,9	0,9	–	–	–	–	–	–
5в	ОС-56-22	185	17	39,1	3,0	24,8	24,8	9,8	0,2	–	0,9	0,5	F
5г	ОС-82-01	160	18	29,5	58,5	0,8	2,1	–	0,3	–	0,3	1,4	P
			19	10,0	86,9	0,7	1,2	–	–	–	–	0,2	P

* – метод EDS не позволяет достоверно количественно определить массовую долю углерода

На рисунке 5 представлены характерные неметаллические включения в металле наплавленных валиков по защитным ОСПк. При исследовании швов, выполненных по ОС-51-03 зеленому, установлено, что природа неметаллических включений зависит от толщины сухого слоя

ОСПк. Так, в швах, наплавленных по ОСПк толщиной 95 мкм, наибольшее число дефектов являются неметаллическими включениями оксидного происхождения, количество очерченных пор при данных толщинах незначительно. Подавляющее

большинство оксидных включений имеют глобулярную форму и являются соединениями на основе железа, кремния и марганца. Часть данных оксидов выделилась в ходе металлургических процессов в объеме жидкого металла самостоятельно, другая – на границе более тугоплавких фаз, состоящих из продуктов деструкции Пк (соединениях алюминия, реже титана, магния, кальция). Наличие кальция в неметаллических включениях ОСПк указывает на наследственную связь с продуктами разложения теплостойкого талька, в котором в виде примесей находятся фосфаты и фториды кальция. Высокая окисленность сварочной ванны приводит к снижению содержания активных раскислителей кремния и марганца в основном металле до двух раз (0,50 и 1,15 % против 1,00 и 1,75 % соответственно). В ликвационных

областях, обедненных кремнием, также обнаружено некоторое количество карбидных и сульфидных включений. Наиболее любопытными с морфологической точки зрения являются глобулярные комплексные оксидные включения размером 20–30 мкм с наличием ярко выраженной гетерогенной границы внутри (рис. 5а). В центральной части содержатся частицы более тугоплавкого оксида алюминия Al_2O_3 , имеющие полигональную, неправильную форму. В ходе процесса кристаллизации на разветвленной поверхности частиц оксида алюминия выделились оксиды марганца MnO ($T_{пл} - 1780\text{ }^\circ\text{C}$) и кремния SiO_2 ($T_{пл} - 1730\text{ }^\circ\text{C}$), а также небольшое количество титаната железа $FeO-Ti_2O_3$.

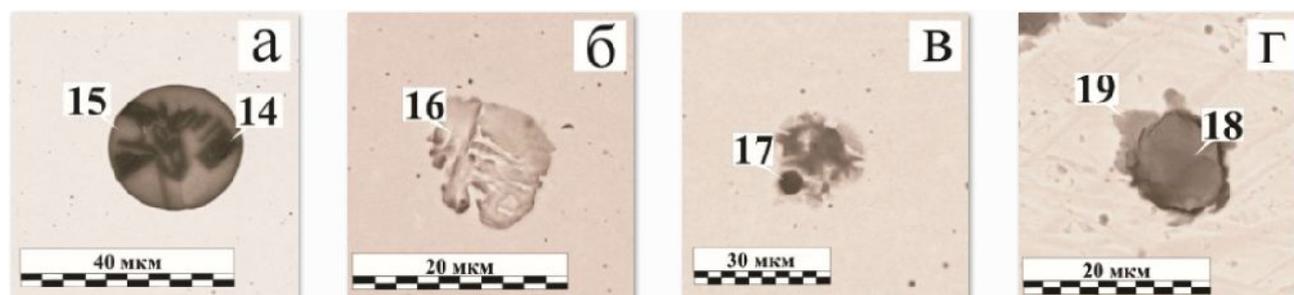


Рис. 5 Неметаллические включения в валиках, наплавленных по органосиликатным покрытиям: а) ОС-51-03 зеленое, 95 мкм; б) ОС-51-03 зеленое, 160 мкм; в) ОС-56-22; г) ОС-82-01

С увеличением толщины ОСПк до 160 мкм характер и состав включений претерпевает изменения: доля сферических включений (на основе железа с 2–4 масс. % алюминия и менее 1 масс. % титана) заметно снижается, а их размер редко превышает 2 мкм. Большинство включений имеют размер 8–15 мкм в диаметре и неправильную форму. Зарождение пор происходит на гетерогенной поверхности ранее сформированных включений, например, на рисунке 5в представлена пора диаметром 10 мкм, которая начала рост на поверхности оксидного включения. По поперечному сечению шва неметаллические включения распределены равномерно.

С рядом оговорок в зависимости от типа и природы компонентов Пк при исследовании состава неметаллических включений определены следующие тенденции:

- 1) с ростом толщины Пк наблюдается повышение содержания компонентов Пк в неметаллических включениях, а их размер увеличивается;
- 2) большинство включений состоят из оксидов железа, кремния и марганца;
- 3) продукты разрушения Пк встречаются в многокомпонентных включениях в виде соединений кислорода с алюминием, кальцием, титаном и магнием;

4) повышенная окисленность сварочной ванны вызывает обеднение металла шва элементами-раскислителями: кремнием и марганцем.

Обобщая вышеизложенное, следует отметить главенствующую роль процессов деструкции полимерных связующих и кислородосодержащих компонентов Пк в повышении степени окисленности сварочной ванны и, как следствие, роста количества пор и неметаллических включений.

Технологические особенности процесса сварки/наплавки. На рисунке 6 представлены образцы для исследования технологических параметров наплавки. В таблице 4 сведены данные о технологических и геометрических параметрах наплавов, проведенных по Пк девяти марок, а также параметры контрольного образца без Пк. При наплавке по грунтовкам АК-070, ВЛ-023, ГФ-021 Экспресс, ЭпоксиКоут-0263С исследуемых толщин сухого слоя валики практически идентичны по геометрическим параметрам контрольному образцу, выполненному по металлу без Пк. В оконечной части образца ВЛ-023 присутствует дефект – прерывание горения дуги. Теплостойкость грунтовки на основе поливинилбутирала составляет 250–280 °С.

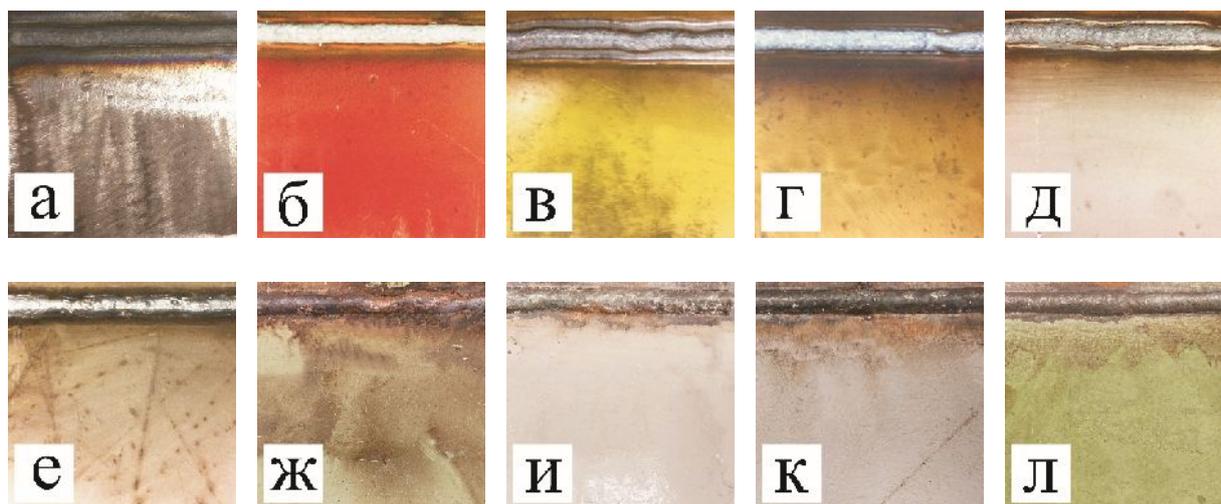


Рис. 6. Образцы для исследования влияния покрытий на технологические параметры наплавки:
 а) без покрытия; б) ЭпоксиКоут-0263С; в) АК-070; г) ВЛ-023; д) ГФ-021 Экспресс; е) ЭпоксиКоут Цинк;
 ж) ОС-51-03 зеленое; и) ОС-51-03 серое; к) ОС-56-22; л) ОС-82-01

Таблица 4

Влияние покрытий на параметры наплавленных валиков

Покрытие	δ , мкм	$M_{нм}$, г	$H_{ср}$, мм	$h_{ср}$, мм	b , мм	y , мм
Без покрытия	0	29,30	7,8	3,9	10,4±0,1	–
АК-070	40	29,32	7,4	4,4	10,4±0,4	5,1
ВЛ-023	25	29,00	7,6	3,8	10,0±0,1	0,0
ГФ-021 Экспресс	45	28,69	7,4	3,9	10,5±0,5	2,8
ЭпоксиКоут-0263 С	45	29,27	7,7	3,7	10,4±0,2	0,0
ЭпоксиКоут Цинк	100	25,85	6,0	2,5	9,6±0,6	1,3
ОС-51-03 зеленое	95	28,85	8,0	3,7	8,6±0,8	2,7
	160	28,70	7,7	3,4	7,4±1,3	2,3
ОС-51-03 серое	150	28,79	7,9	2,9	9,5±0,5	4,7
ОС-56-22	185	27,56	7,0	3,2	9,9±0,2	16,0
ОС-82-01	160	28,47	7,8	3,7	7,5±0,3	2,7

где $M_{нм}$ – масса наплавленного металла, г; $H_{ср}$ – средняя высота валика, мм; $h_{ср}$ – средняя глубина проплавления, мкм; b – ширина валика, мм; y – ширина зоны выгорания покрытия, мм.

Оценить нестабильность процесса сварки, определяемой колебаниями напряжения дуги и силы тока, легче всего по разбрызгиванию электродного металла. Значительным колебаниям напряжения дуги соответствует наибольшее разбрызгивание электродного металла, в последствии это приводит к необходимости снижения скорости сварки и потере эффективности процесса сварки/наплавки. Исследуемые Пк можно разбить на три группы по склонности к разбрызгиванию металла:

1) значительное разбрызгивание: ЭпоксиКоут Цинк и ОС-56-22;

2) среднее: ОС-51-03 (зеленое и серое) и ОС-82-01;

3) низкое: ГФ-021 Экспресс, ВЛ-023, ЭпоксиКоут-0263С и АК-070.

Наибольшее разбрызгивание электродного металла было зафиксировано при наплавке по ЭпоксиКоут Цинк и обусловлено комплексным влиянием толщины (100 мкм) и состава Пк, определившим активное испарение цинка. Пары цинка, попадая в столб электрической дуги, снижают ее собственное сопротивление и вызывают колебания напряжения и увеличение сечения дуги. Нестабильность сварки отражается не только в виде визуального наличия брызг и повреждений на Пк, но и в потерях массы наплавленного металла, которые при наплавке по ЭпоксиКоут Цинк превышают 10 %. Помимо значительного разбрызгивания и потери массы наплавка по ЭпоксиКоут Цинк характеризуется снижением на треть глубины проплавления и нестабильностью ширины валика.

Для образцов, окрашенных ОСПк, характерно заметное изменение формы шва: переменная ширина валика, снижения глубины проплавления и доли участия основного металла. Среди ОСПк наибольшая нестабильность геометрических параметров валика и дефектов формы наблюдается для марок ОС-51-03 зеленого и серого. Ввиду низкой адгезии к подложке Пк ОС-56-22 легко отслаивается, ширина зоны выгорания составляет 16,0 мм. Это дает возможность жидкому металлу сварочной ванны беспрепятственно смачивать поверхность, что создает условия для формирования наиболее благоприятной геометрии валика среди всех рассматриваемых толстослойных защитных Пк. Теплостойкое Пк ОС-82-01 обладает наибольшей сопротивляемостью растрескиванию вдоль границы наплавленного валика.

Обобщая технологические особенности наплавки по защитным Пк, в первую очередь следует отметить влияние толщины сухого слоя Пк. Для тонкослойных грунтовок в пределах рекомендуемых толщин значительных изменений геометрических параметров валиков, повышенного разбрызгивания или нестабильности процесса не наблюдается. Превышение рекомендуемых толщин грунтовок или использование защитных Пк больших толщин влечет за собой появление дефектов формы валика, снижение стабильности и проплавляющей способности дуги, в ряде случаев значительное разбрызгивание электродного металла и, как следствие, потери массы наплавленного металла. Нестабильность горения дуги приводит к снижению скорости сварки и общей эффективности процесса. Ширина зоны выгорания вдоль сварного шва/ наплавленного валика зависит от теплостойкости и адгезионных свойств Пк.

Выводы:

1. Склонность Пк к образованию пор и неметаллических включений при электродуговой сварке в первую очередь зависит от масштабности и интенсивности протекания процессов деградации полимерных связующих и кислородо-содержащих компонентов Пк, повышающих степень окисленности сварочной ванны.

2. По критерию методики определения склонности к порообразованию EN ISO 17652-2:2003 допускается использовать грунтовки Эпоксикоут-0263С и АК-070 в качестве неснимаемых перед сваркой Пк без ограничений на нижней границе интервалов рекомендованных толщин (20–30 мкм и 10–30 мкм, соответственно), на верхней границе интервалов – в особых случаях для нетяжело нагруженных конструкций. Использование грунтовки ВЛ-023 до-

пускается без ограничений лишь в узком диапазоне рабочих толщин 15–18 мкм, использование грунтовки ГФ-021 Экспресс – не допускается. Расширяя рамки использования методики на другие защитные Пк, определено, что цинкнаполненное Эпоксикоут Цинк не склонно к избыточному порообразованию при толщинах 40–120 мкм. Максимальные толщины ОСПк, соответствующие возможности ограниченного использования, составляют для ОС-56-22 серого – 75 мкм, для ОС-51-03 серого и ОС-82-01 зеленого – 90 мкм, для ОС-51-03 зеленого – 130 мкм.

3. Природа неметаллических включений в металле наплавленных по Пк валиков в подавляющем большинстве является оксидной на основе элементов, входящих в состав стали: железа, кремния и марганца. Тугоплавкие продукты разрушения Пк (оксиды титана, кальция, алюминия, магния и др.) присутствуют в сложных многокомпонентных соединениях и являются инициаторами дальнейшего роста включений и образования газовых пор.

4. В пределах рекомендуемых толщин грунтовок Эпоксикоут-0263С, АК-070, ВЛ-023, ГФ-021 Экспресс не вносят существенных изменений в стабильность процесса сварки и геометрические параметры наплавленных валиков. Превышение рекомендуемых толщин грунтовок или использование защитных Пк больших толщин влечет за собой появление дефектов формы валика, снижение стабильности и проплавляющей способности дуги, в ряде случаев значительную потерю массы металла на разбрызгивание. Нестабильность горения дуги приводит к снижению скорости сварки и общей эффективности процесса. Ширина зоны выгорания вдоль сварного шва/наплавленного валика зависит от теплостойкости и адгезионных свойств Пк.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Kapustka N., Blomquist P. Improved Welding of Primer - Coated Steels // *Welding Journal*. 2015. V. 94. No. 5. Pp. 46–50.
2. Yuan Y., Yamazaki K., Suzuki R. Relationship between Penetration and Porosity in Horizontal Fillet Welding by a New Process «Hybrid Tandem MAG Welding Process» // *Weld World*. 2016. V. 60. Pp. 515–524. DOI 10.1007/s40194-016-0314-z.
3. Савицкий А.М., Ващенко В.Н., Бобров И.Б. Особенности сварки изделий с защитным эмалевым покрытием // *Автоматическая сварка*. 2006. №3(635). С. 37–39.
4. Volpone M., Mueller S. Problems Linked to Welding and Cutting of Primer Treated Metal Sheets // *Welding International*. 2006. No. 20(12). Pp. 942–947. DOI: 10.1533/wint.2006.3688.

5. Rexach A., Naik S., Taylor A. Weldable Anticorrosion Coatings for Steel Protection // European Corrosion Congress. 2016. Vol. 4. Pp. 2578–2586.
6. Yu J., Kim D. Effects of Welding Current and Torch Position Parameters on Minimizing the Weld Porosity of Zinc-Coated Steel // The International Journal of Advanced Manufacturing Technology. 2018. Vol. 95. Pp. 551–567. DOI:10.1007/s00170-017-1180-6.
7. Freitag W., Stoye D. Paints, Coatings and Solvents: second, oompletely rev. ed. Wiley-VCH. Weinheim; New York; Basel; Cambridge; Tokyo. 1998. 414 p. DOI: 10.1002/9783527611867.
8. Dražić D., Stojan S., Kulenovic Z. Corrosion Protection in Shipbuilding. 14th International Conference on Transport Science. Portoroz, 2011, Pp. 1–8.
9. Fitz-Gerald J., Agnew S., Moffat W., Sharp S., Gillespie J., Becker D., Liu R., Runion A. Innovative Coating Removal Techniques for Coated Bridge Steel. Virginia Transportation Research Council. 2019. 66 p.
10. Babets K., Geskin E.S. Application of Fuzzy Logic for Modeling of Waterjet Depainting. Machining Science and Technology. 2000. Vol. 4, No. 1. Pp. 81–100. DOI:10.1080/10940340008945701.
11. Operowsky R.M. Chemical immersion paint stripping. Metal Finishing. 2000. V. 98(6), Pp. 477–480. DOI:10.1016/s0026-0576(00)80447-x.
12. D’Addona D.M., Genna S., Giordano A., Leone C., Matarazzo D., Nele L. Laser Ablation of Primer During the Welding Process of Iron Plate for Shipbuilding Industry. 9th Conference on Intelligent Computation in Manufacturing Engineering. 2015. V. 33. Pp. 464–469. DOI:10.1016/j.procir.2015.06.055.
13. Šolić T., Marić D., Jagodić Ž., Samardžić I. Testing of the Shopprimer’s Influence on the Quality of Welded Joint // Metalurgija. 2017. Vol. 56, No. 3–4. Pp. 357–360.
14. Шатов А.П., Стеклов О.И., Ступников В.П. Сварка и ремонт металлических конструкций с противокоррозионными покрытиями. М.: Изд-во МГТУ, 2009. 175 с.
15. Turyk E. Suitability of primers for steel components welded without removing the primer // Welding Technology Review. 2013. V. 85, No. 11. Pp. 25–29.
16. Ault J.P. Retaining Pre-Construction Primers during Shipbuilding // Journal of Protective Coatings and Linings. 2011. V. 28, No. 11. Pp. 11–19.
17. Степанов Ю.А., Вахрушев О.В., Трофимова А.Н. Влияние защитных покрытий на свойства сварных соединений // Сварочное производство. 2007. №10 (875). С. 33–34.
18. Рощупкин Н.П., Лялин К.В., Шевченко С.А. Оценка влияния грунтовочных покрытий на технологию электродуговой сварки конструкционной стали // Сварочное производство. 1978. №6. С. 18–20.
19. Чуппина С.В. Современное состояние материаловедения органосиликатных композиций // Физика и химия стекла. 2006. Т. 32. № 2. С. 339–351.
20. Чуппина С.В., Жабрев В.А. Органосиликатные материалы. СПб: Литео, 2016. 182 с.
21. Харитонов Н.П., Кротиков В.А., Худобин Ю.И., Буслаев Г.С., Степанов К.Н. Органосиликатные материалы, их свойства и технология применения. Л.: Наука, 1979. 202 с.
22. Forsström L. Possibilities of Advanced MAG-Welding Processes in Shipbuilding // Master’s thesis. Turku. 2016. 110 p.
23. Olson D.L., Dixon R., Liby A.L. Welding: Theory and Practice // Elsevier Science Publishers B.V., 1990. 389 p.
24. Жабрев Л.А., Чуппина С.В., Панченко О.В., Репин И.Л., Попович А.А. Влияние состава и толщины органосиликатных покрытий на процесс электродуговой сварки // Журнал прикладной химии. 2019. Т. 92, №9. С. 1197–1206. DOI: 10.1134/S0044461819090135.
25. Shatov A.P., Onosov G.V., Steklov O.I. Improving the Quality of Welded Structures with Corrosion-Resisting Lacquer and Varnish Coatings. Welding International. 2014. V. 28, No. 12, Pp. 980–982. DOI:10.1080/09507116.2014.884331.
26. Чуппина С.В., Жабрев В.А. Химические реакции при отверждении органосиликатных композиций и старении органосиликатных покрытий // Физика и химия стекла. 2008. Т. 34. №1. С. 104–115.
27. Мецик М.С. Термические свойства кристаллов слюды. Иркутск: Изд-во иркут. ун-та. 1989. 184 с.

Информация об авторах

Жабрев Леонид Анатольевич, инженер лаборатории легких материалов и конструкций. E-mail: leozhabrev@spbstu.ru. Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого. Россия, 195251, Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д.29.

Панченко Олег Владиславович, кандидат технических наук, доцент высшей школы физики и технологии материалов. E-mail: panchenko_ov@spbstu.ru. Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого. Россия, 195251, Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д.29.

Шамшурин Алексей Игоревич, научный сотрудник лаборатории «Дизайн материалов и аддитивного производства». E-mail: shamshurin_ai@spbstu.ru. Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого. Россия, 195251, Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д.29.

Чуппина Светлана Викторовна, доктор химических наук, доцент, научный руководитель химических технологий. E-mail: tchoup@nmp.ru. ООО «Группа НМП» – управляющая организация АО «Нева Металл Посуда», Россия, 195067, г. Санкт-Петербург, пр. Маршала Блюхера, д.78, лит. Н.

Лебедева Екатерина Александровна, заместитель генерального директора по науке и производству. E-mail: e.lebedeva@promlkm.ru. ООО «Завод ВДМ «Пигмент», Россия, 195248, г. Санкт-Петербург, Ириновский пр., д.1, лит. Н, пом. 70.

Поступила 06.08.2020 г.

© Жабрев Л.А., Чуппина С.В., Шамшурин А.И., Лебедева Е.А., Панченко О.В., 2020

^{1,*}Zhabrev L.A., ²Chuppina S.V., ¹Shamshurin A.I., ³Lebedeva E.A., ¹Panchenko O.V.

¹Peter the Great St.Petersburg Polytechnic University

²NMP Group LTD, Managing Company, LTD Neva Metall Posuda

³LTD «Factory VDM «Pigment»

*E-mail: leozhabrev@spbstu.ru

EVALUATION OF COATINGS TENDENCY TO THE PORES AND NON-METAL INCLUSIONS FORMATION IN A WELD

Abstract. The task of welding steel elements painted with various coatings is found in a number of industries at the stages of factory assembly and installation of large-sized structures, as well as during repair and restoration work. The porosity of the welded metal is the most common defect in electric arc welding without removing the coating, and the tendency to pore formation is a normalized parameter in the certification of interoperable primers (EN ISO 17652-2: 2003). The studies carried out cover widespread polyacrylate, alkyd, epoxy, polyvinyl butyral primers in an extended working thicknesses range. In addition, the evaluation technique is used for zinc-filled and organosilicate protective coatings. Based on the study of the nonmetallic inclusions composition in a weld by energy dispersive X-ray spectroscopy and using a scanning electron microscope, the behavior features of the coatings destruction products and their derivatives during physical and chemical transformations under welding are described. The technological features of welding without coating removing are noted: stability of the mode parameters, resistance to metal spraying and coating burnout activity in the areas adjacent to a weld.

Keywords: porosity, non-metallic inclusions, high-temperature degradation, organosilicate coatings, shop-primers, zinc-filled coatings

REFERENCES

1. Kapustka N., Blomquist P. Improved Welding of Primer – Coated Steels. *Welding Journal*. 2015. Vol. 94. No. 5. Pp. 46–50.
2. Yuan Y., Yamazaki K., Suzuki R. Relationship between Penetration and Porosity in Horizontal Fillet Welding by a New Process «Hybrid Tandem MAG Welding Process». *Weld World*. 2016. Vol. 60. Pp. 515–524. DOI 10.1007/s40194-016-0314-z.
3. Savitsky A.M., Vaschenko V.N., Bobrov I.B. Features of Welding Products with Protective Enamel Coating [Osobennosti svarki izdelij s zashchitnym emale-vym pokrytiem]. *The Paton Welding Journal*. 2006. No. 3 (635). Pp. 32–34. (rus)
4. Volpone M., Mueller S. Problems Linked to Welding and Cutting of Primer Treated Metal Sheets. *Welding International*. 2006. No. 20(12). Pp. 942–947. DOI: 10.1533/wint.2006.3688.
5. Rexach A., Naik S., Taylor A. Weldable Anticorrosion Coatings for Steel Protection. *European Corrosion Congress*. 2016. Vol. 4. Pp. 2578–2586.
6. Yu J., Kim D. Effects of Welding Current and Torch Position Parameters on Minimizing the Weld Porosity of Zinc-Coated Steel. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. 2018. Vol. 95. Pp. 551–567. DOI:10.1007/s00170-017-1180-6.
7. Freitag W., Stoye D. *Paints, Coatings and Solvents: second, oompletely rev. ed.* Wiley-VCH. Weinheim; New York; Basel; Cambridge; Tokyo. 1998. 414 p. DOI: 10.1002/9783527611867.
8. Dražić D., Stojan S., Kulenovic Z. Corrosion Protection in Shipbuilding. *14th International Conference on Transport Science*. Portoroz, 2011, Pp. 1–8.
9. Fitz-Gerald J., Agnew S., Moffat W., Sharp S., Gillespie J., Becker D., Liu R., Runion A. Innovative Coating Removal Techniques for Coated

Bridge Steel. Virginia Transportation Research Council. 2019. 66 p.

10. Babets K., Geskin E.S. Application of Fuzzy Logic for Modeling of Waterjet Depainting. *Machining Science and Technology*. 2000. Vol. 4, No. 1. Pp. 81–100. DOI:10.1080/10940340008945701.

11. Operowsky R.M. Chemical immersion paint stripping. *Metal Finishing*. 2000. Vol. 98(6), Pp. 477–480. DOI:10.1016/s0026-0576(00)80447-x.

12. D'Addona D.M., Genna S., Giordano A., Leone C., Matarazzo D., Nele L. Laser Ablation of Primer During the Welding Process of Iron Plate for Shipbuilding Industry. 9th Conference on Intelligent Computation in Manufacturing Engineering. 2015. V. 33. Pp. 464–469. DOI:10.1016/j.procir.2015.06.055.

13. Šolić T., Marić D., Jagodić Ž., Samardžić I. Testing of the Shopprimer's Influence on the Quality of Welded Joint. *Metalurgija*. 2017. Vol. 56, No. 3–4. Pp. 357–360.

14. Shatov A.P., Steklov O.I., and Stupnikov, V.P. Welding and repair of metallic constructions with anticorrosion coatings [Svarka i remont metallicheskih konstruktsiy s protivokorroziionnymi pokrytiami]. Moscow. Mosk. Gos. Tekhn. Univ. 2009. 175 p. (rus)

15. Turyk E. Suitability of primers for steel components welded without removing the primer [Przydatność farb do malowania elementów stalowych spawanych bez usuwania powłoki]. *Welding Technology Review*. 2013. V. 85, No. 11. Pp. 25–29.

16. Ault J.P. Retaining Pre-Construction Primers during Shipbuilding. *Journal of Protective Coatings and Linings*. 2011. Vol. 28, No. 11. Pp. 11–19.

17. Stepanov Yu.A., Vakhrushev O.V., Trofimova A.N. Influence of protective coatings on the properties of welded joints [Vliyaniye zashchitnykh pokrytiy na svoystva svarnykh soyedineniy]. *Welding Production*. 2007. No. 10 (875). Pp. 33–34. (rus)

18. Roshchupkin N.P., Lyalin K.V., Shevchenko S.A. Assessment of the influence of primer coatings on the technology of electric arc welding of structural steel [Otsenka vliyaniya

gruntovochnykh pokrytiy na tekhnologiyu elektrodugovoy svarki konstruktsionnoy stali]. *Welding production*. 1978. No. 6. Pp. 18–20. (rus)

19. Chuppina S.V. The Current State of the Art in Materials Science of Organosilicate Composites. [Osobennosti svarki izdelij s zashchitnym emalevym pokrytiem] *Glass Physics and Chemistry*. 2006. Vol. 32. № 2. P. 243–253. DOI: 10.1134/S1087659606020192. (rus)

20. Chuppina S.V., Zhabrev V.A. Organosilicate materials [Organosilikatnye materialy]. St. Petersburg. Liteo. 2016. 182 p. (rus)

21. Kharitonov N.P., Krotikov V.A., Khudobin Yu.I., Buslaev G.S., Stepanov K.N. Organosilicate materials, their properties and application technology [Organosilikatnyye materialy, ikh svoystva i tekhnologiya primeneniya]. Leningrad. Nauka. 1979. 202 p. (rus)

22. Forsström L. Possibilities of Advanced MAG-Welding Processes in Shipbuilding. Master's thesis. Turku. 2016. 110 p.

23. Olson D.L., Dixon R., Liby A.L. *Welding: Theory and Practice*. Elsevier Science Publishers B.V., 1990. 389 p.

24. Zhabrev L.A., Chuppina S.V., Panchenko O.V., Repin I.L., Popovich A.A. Effect of Composition and Thickness of Organosilicate Coatings on the Arc Welding Process. *Journal of Applied Chemistry*. 2019. Vol. 92, No. 9. Pp. 1274–1283. DOI: 10.1134/S1070427219090131.

25. Shatov A.P., Onosov G.V., Steklov O.I. Improving the Quality of Welded Structures with Corrosion-Resisting Lacquer and Varnish Coatings. *Welding International*. 2014. Vol. 28, No. 12, Pp. 980–982. DOI:10.1080/09507116.2014.884331.

26. Chuppina S.V., Zhabrev V.A. Chemical Reactions in the Course of Curing of Organosilicate Composites and Aging of Organosilicate Coatings *Glass Physics and Chemistry*. 2008. Vol. 34, No. 1. Pp. 82–90. DOI: 10.1007/s10720-008-1012-8.

27. Metsik M.S. Thermal properties of mica crystals [Termicheskiye svoystva kristallov slyudy]. Irkutsk: Izd-vo irkut. un-ta. 1989. 184 p. (rus)

Information about the authors

Zhabrev, Leonid A. Engineer. E-mail: leozhabrev@spbstu.ru. Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University. Russia, 195251, St. Petersburg, Polytechnicheskaya, 29.

Panchenco, Oleg V. PhD, Assistant professor. E-mail: panchenko_ov@spbstu.ru. Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University. Russia, 195251, St. Petersburg, Polytechnicheskaya, 29.

Shamshurin, Alexei I. Researcher. E-mail: shamshurin_ai@spbstu.ru. Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University. Russia, 195251, St. Petersburg, Polytechnicheskaya, 29.

Chuppina, Svetlana V. DSc. Assistant professor. Scientific Director for Chemical Engineering. E-mail: tchoup@nmp.ru. NMP Group LTD, Managing Company, LTD Neva Metall Posuda, Russia, 195067, St.Petersburg, Marshal Blueher pr., 78, lit. N.

Lebedeva, Ekaterina A. Deputy General Director for Science and Production. E-mail: e.lebedeva@promlkm.ru. LTD "Factory VDM «Pigment», Russia, 195248, St.Petersburg, Irinovskiy pr.,1, lit. N, r.70

Received 06.08.2020

Для цитирования:

Жабрев Л.А., Чуппина С.В., Шамшурин А.И., Лебедева Е.А., Панченко О.В. Оценка склонности покрытий к образованию пор и неметаллических включений в сварном шве // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2020. № 9. С. 67–80. DOI: 10.34031/2071-7318-2020-5-9-67-80

For citation:

Zhabrev L.A., Chuppina S.V., Shamshurin A.I., Lebedeva E.A., Panchenko O.V. Evaluation of coatings tendency to the pores and non-metal inclusions formation in a weld. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2020. No. 9. Pp. 67–80. DOI: 10.34031/2071-7318-2020-5-9-67-80

DOI: 10.34031/2071-7318-2020-5-9-81-80

¹Никулина Н.С., ²Булатецкая Т.М., ²Патрушева Н.А., ^{2,*}Власова Л.А.,
²Санникова Н.Ю., ², ³Никулин С.С.

¹Воронежский институт повышения квалификации сотрудников
Государственной противопожарной службы РФ по ГО, ЧС и ЛПСБ

²Воронежский государственный университет инженерных технологий

³Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина

*E-mail: vllar65@yandex.ru

ПЕРСПЕКТИВА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ МАСЛОНАПОЛНЕННЫХ КАУЧУКОВ БИСОСТАВНОГО КОАГУЛЯНТА МЕЛАССА-ХЛОРИД НАТРИЯ

Аннотация. В настоящее время совершенствованию технологии производства синтетических каучуков отводится повышенное внимание. Синтетические каучуки пользуются большим спросом в шинной, резинотехнической промышленности, при изготовлении композиционных материалов различного назначения и др. С каждым годом возрастают требования не только к качеству выпускаемых полимеров, но и к экологической безопасности соответствующих производств. Должное внимание уделяется стадии выделения каучуков из латексов, так как именно эта стадия дает значительную нагрузку на природную среду. В работе рассмотрена возможность применения в процессе получения маслonaполненных каучуков бисоставного коагулянта, состоящего из побочного продукта свеклосахарного производства мелассы и традиционного хлорида натрия. Установлено, что применение данного бисоставного коагулянта для снижения агрегативной устойчивости синтетических латексов снижает количество коагулянтов, необходимых для полного извлечения каучука в несколько раз. Показано, что основным коагулирующим компонентом мелассы являются бетаины, присутствующие в её составе. Хлорид натрия способствует протеканию коагуляционного процесса по концентрационному механизму, а бетаин – по нейтрализационному, основанном на химическом взаимодействии анионов ПАВ с положительно заряженной аммонийной группой молекулы бетаина. Применение бисоставного коагулянта позволяет снизить загрязнение окружающей среды компонентами эмульсионной системы. Предлагаемая технология дает возможность рекуперации серума: использования его для приготовления растворов мелассы и серной кислоты. Резиновые смеси, приготовленные на основе каучука, выделенного с применением бисоставного коагулянта, по основным показателям отвечают требованиям технических условий.

Ключевые слова: латекс, коагулянт, выделение каучука, показатели.

Введение. Синтетические полимерные материалы находят широкое применение в шинной, резино-технической, пищевой промышленности, в дорожном строительстве, при изготовлении изделий из древесины и др. [1–3].

Потребление продукции, изготовленной из высокомолекулярных соединений, постоянно возрастает вместе с ростом требований к качеству и ассортименту выпускаемых товаров.

Повышаются и экологические требования к их производству, так как с каждым годом увеличивается негативное влияние хозяйственной деятельности на окружающую среду в целом и на техносферу, как ее составляющую. Все это требует разработки и реализации мероприятий по совершенствованию технологии и оборудования, используемого при получении полимеров и изготовлении продукции на их основе.

Выдвигаемые условия относятся и к производству синтетических каучуков, получаемых как растворной, так и эмульсионной полимеризацией [4]. Особое внимание необходимо уделять

стадии коагуляции, так как именно образование значительного количества загрязненных сточных вод после промывки полимера дает основную нагрузку на водоемы.

Во всем мире повышенное внимание уделяется производству маслonaполненных каучуков, поскольку именно эти полимеры обладают высокими характеристическими показателями.

При получении маслonaполненных каучуков в каучуковый латекс перед коагуляцией вводят минеральное масло. Выбор масла (парафиновые, нефтяные или ароматические) и его дозировка зависят от назначения каучука.

Наилучшим комплексом свойств обладают каучуки, наполненные высоко ароматизированным маслом марки ПН-6. Введение масла с высоким содержанием ароматических углеводородов в каучуки до 30 % мас. позволяет повысить прочность и сопротивление истиранию вулканизатов и другие показатели [5]. Кроме того, нефтяные

масла (например, масло марки ПН-6) имеют высокую стоимость и поэтому их применение экономически целесообразно.

Анализ имеющихся литературных данных показал, что и до настоящего времени в производстве эмульсионных каучуков используется в качестве коагулирующего агента хлорид натрия. Исключить использование в технологии выделения эмульсионных каучуков минеральных солей и тем самым снизить экологические риски, можно заменив их четвертичными солями аммония с различной молекулярной массой, так как эти соединения обладают способностью значительно снижать агрегативную устойчивость дисперсий при невысоком расходе. Максимальная полнота выделения каучука достигается при введении их в коагуляционную систему в количестве, не превышающем 5 кг на тонну каучука [6]. Однако необходимо учитывать дефицитность, высокую стоимость и токсичность данных соединений. Кроме того, не на всех действующих производствах могут найти применение катионные полиэлектролиты ввиду особенности их технологий.

В настоящее время повышенное внимание уделяется предприятиям пищевой промышленности [7], так как на данных производствах, так же, как и на предприятиях химического и нефтехимического профиля, образуются отходы и побочные продукты, которые не реализуются в полном объеме. В этом плане перспективными коагулянтами могут оказаться побочные продукты некоторых пищевых производств, например, меласса свекловичная обедненная (МСО), в состав которой входят бетаины, содержащие азот, обеспечивающие ее коагулирующую способность. [8-10]. К тому же МСО является малоопасным химическим соединением для человека и животных.

Бетаины – это цвиттерионные соединения, которые способны образовывать внутрисольевые формы, так как их молекулы содержат две противоположно заряженные группы: аммониевую $-\text{N}^{\oplus}$ и карбоксилатную $-(\text{CH}_3)_3\text{N}^{\oplus}\text{CH}_2\text{COO}^-$, т.е. бетаин содержит в своем составе биполярный ион.

В работах [11, 12] показана перспективность применения в производстве эмульсионных каучуков коагулянта, состоящего из хлорида натрия и мелассы. Однако при изготовлении маслonaполненных каучуков возможность применения бисоставного коагулянта не изучалась. В тоже время изготовление маслonaполненных каучуков занимает ведущее место в общем объеме выпуска синтетических высокомолекулярных полимеров.

В предлагаемой работе впервые исследовался процесс выделения маслonaполненного каучука из латекса с применением бисоставного коагулянта на основе мелассы и хлорида натрия.

Материалы и методы. При изучении процесса изготовления маслonaполненного каучука использовали промышленный бутадиен-стирольный латекс, обладающий показателями, представленными в табл. 1.

Таблица 1

Характеристика бутадиен-стирольного латекса марки СКС-30 АРК

Показатель	Значение
Сухой остаток, % мас.	21,7
Содержание связанного стирола, % мас.	22,5
Поверхностное натяжение, мН/м	62,2
Размер латексных частиц, нм	55,1
pH латекса	9,5

Характеристики латекса СКС-30АРК определяли следующими стандартными методами:

– сухой остаток определяли путем выпаривания навески латекса до постоянной массы с помощью инфракрасной лампы (ГОСТ 29080-91);

– содержание связанного стирола определяли рефрактометрическим методом на рефрактометре типа Аббе (ГОСТ 24654-81);

– поверхностное натяжение определяли методом отрыва кольца на тензиометре типа дю Нуи (ГОСТ 20216-74);

– размер латексных частиц определяли методом светорассеяния с использованием фотометра (международный стандарт ISO 22412)

– pH латекса определяли электрометрическим методом (ГОСТ 28655-90).

Характеристики мелассы свекловичной обедненной, использованной в исследовании, представлены в табл. 2.

Процесс выделения бутадиен-стирольного каучука из латекса СКС-30 АРК проводили при температуре 60 ± 2 °С классическим способом [13], применяя раствор МСО с концентрацией 25-30 %.

В коагуляционную емкость вносили 100 г каучукового латекса, термостатировали в течение 10-15 минут при заданной температуре. Отдельно диспергировали масло ПН-6 в водном растворе мелассы и гомогенизировали в течение 10 минут. Полученную водную масляно-мелассную дисперсию вводили в бутадиен-стирольный латекс и совмещали их в течение 10-15 минут. После этого в смесь вводили водный раствор хло-

рида натрия с массовой долей 0,20 единиц, усредняли в течение 2-3 минут и в завершении для обеспечения полноты коагуляции вводили подкисляющий агент – водный раствор серной кислоты с массовой долей 0,02 единицы. Выделившуюся крошку каучука извлекали из водной фазы (серума), промывали дистиллированной водой и выдерживали в сушильном шкафу при температуре 80-85 °С до постоянной массы, после чего образцы каучука охлаждали до комнатной температуры, взвешивали, рассчитывали в процентах выход масляно-каучукового состава и оценивали полноту коагуляции.

Таблица 2

Характеристика МСО

Показатель	Значение
Сухой остаток, % мас., не менее	68
Массовая доля сахара по прямой поляризации, %, не менее	12
Массовая доля редуцирующих веществ, %, не более	1
Массовая доля сбраживаемых сахаров, %, не менее	12
Массовая доля солей кальция в пересчете на оксид кальция, %	1,5
pH	12

Водная фаза, после отделения каучука, анализировалась на содержание в ней хлорида натрия и гепатотоксичного диспергатора – лейконола (натриевая соль продукта конденсации β-нафталинсульфокислоты с формальдегидом NaO₃S-C₁₀H₆-CH₂-C₁₀H₆-SO₃Na).

Основная часть. Проведенными исследованиями установлено, что выход наполненной маслом крошки каучука зависел от расхода коагулирующих агентов. Так, при использовании для снижения агрегативной устойчивости латекса в качестве коагулирующего агента хлорида натрия полноту выделения каучука достигали при расходе 130-140 кг/т каучука, а мелассы обедненной – 170-175 кг/т каучука. При использовании же бисоставного коагулянта, включающего хлорид натрия и мелассу, полноту коагуляции достигали при расходе хлорида натрия – 50 кг/т каучука и мелассы – 40 кг/т каучука. Анализ полученных экспериментальных данных показал, что расход хлорида натрия снижается почти

в три раза, а МСО – почти в четыре раза. В данном случае наблюдается синергизм в действии коагулирующих агентов, который впервые отмечен в работе [14]. Хлорид натрия способствует протеканию коагуляционного процесса по концентрационному механизму, а бетаин – по нейтрализационному, основанном на химическом взаимодействии анионов поверхностно-активных веществ с положительно заряженной аммонийной группой молекулы бетаина. В данном случае один процесс активизирует действие другого.

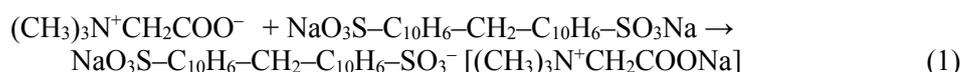
В чем заключается достоинство данного метода выделения каучука из латекса?

Впервые предложено проводить смешивание масла ПН-6 с амфолитным по своей природе коагулянтом. Латекс имеет щелочную среду (pH = 9,5) и меласса имеет также щелочную среду (pH = 12). Присутствие в мелассе углеводной составляющей придает ей свойства, характерные для поверхностно-активных веществ.

Из литературных источников [15, 16] известно, что некоторые промышленные неионные ПАВ получают на основе сахаров. Углеводы, к которым относятся оксальдегиды и кетоны, приближаются к оксикислотам. Они способны выполнять функции ПАВ и широко используются в фармакологической, парфюмерной и др. отраслях. Это стабилизирует на первом этапе получаемый латексно-масляный композит и позволяет достичь равномерного распределения масла в каучуковой матрице.

Исследования по содержанию в водной фазе (серуме) такого трудно окисляемого продукта, как лейконол, показали, что его присутствие составило: в водном растворе серума при коагуляции хлоридом натрия – 254 мг/дм³; МСО – 50,3 мг/дм³; бисоставным коагулянтом – 52,6 мг/дм³. Содержание соли снизилось с 3,2 % до 1,9 %. Водородный показатель водной фазы находился на уровне 3,2.

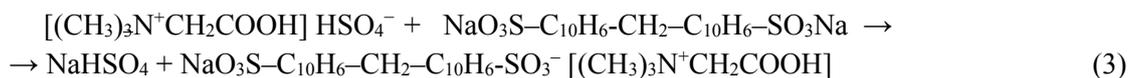
Уменьшение содержания лейконола в серуме основано на химическом взаимодействии положительно заряженной аммониевой группы молекулы бетаина с сульфогруппами молекулы лейконола с образованием малорастворимых комплексов (реакция 1):



В кислой среде происходит присоединение к молекуле бетаина серной кислоты с образованием сернокислой соли бетаина, способной вы-

полнять функцию коагулирующего агента и химически связывать лейконол (реакции 2, 3), а также взаимодействовать с мылами карбоновых кислот (реакция 4):





Кроме того, в коагулируемой системе параллельно будет протекать и ряд других превращений компонентов эмульсионной системы в кислой среде. Примером может служить взаимодей-

ствие серной кислоты с мылами высших карбоновых кислот и переводом их в свободные карбоновые кислоты. Это требует ГОСТ и ТУ на выпускаемый каучук. Содержание мыл карбоновых кислот должно быть минимальным (реакция 5):



Образующиеся при этом соли щелочных металлов будут усиливать протекание коагуляционного процесса по концентрационному механизму [17].

В кислой среде будет протекать и взаимодействие комплексной соли с серной кислотой. В результате данной реакции будет образовываться

высшая карбоновая кислота, которая будет захватываться образующейся крошкой каучука, а в раствор будет переходить сернокислая соль бетаина. Данная водная фаза в дальнейшем может быть использована для приготовления растворов, коагулирующих и подкисляющего агентов (реакция 6):



На завершающем этапе исследований определены основные характеристические показатели каучуков и вулканизатов на основе выделенного каучука с использованием бисоставного коагулянта, приготовленных по рецептуре с применением традиционных ингредиентов.

Установлено соответствие основных физико-механических характеристик данных вулканизатов требованиям технических условий (табл. 3).

Таблица 3

Свойства каучуков и вулканизатов на основе каучука СКС-30 АРКМ-15

Показатели	Требования на каучук СКС-30 АРКМ-15 по ТУ 8.403121-98	Контрольный коагулянт (хлорид натрия)	Экспериментальные коагулянты	
			МСО	Бисоставной коагулянт
Вязкость каучука по Муни	47 – 52	50	48	51
Напряжение при 300 % удлинении, МПа	не менее 10,8	11,7	11,0	11,2
Условная прочность при растяжении, МПа	не менее 21,6	23,1	22,7	23,9
Относительное удлинение при разрыве, %	не менее 400	500	520	490
Относительная остаточная деформация после разрыва, %	-	20	23	21
Эластичность по отскоку, %	-	38	40	37
Массовая доля золы, %	не более 0,6	0,24	0,18	0,20
Массовая доля летучих, %	не более 0,7	0,19	0,22	0,21
Массовая доля мыл органических кислот, %	не более 0,25	0,13	0,08	0,11
Массовая доля органических кислот, %	5,0-6,4	5,8	6,0	6,1
Массовая доля масла ПН-6, %	14-16	15	15	15
Массовая доля антиоксиданта – ВС-1, %	0,15-0,35	0,3	0,3	0,3

Выводы. В ходе эксперимента впервые установлено, что в технологическом процессе

производства маслонеполненного каучука может быть использован побочный продукт

свеклосахарного производства меласса, как самостоятельно, так и в составе бисоставного коагулянта (хлорид натрия + меласса).

Использование бисоставного компонента для снижения агрегативной устойчивости латекса обеспечивает полноту выделения каучука при более низких расходах коагулянтов: расход хлорида натрия снижается в три раза, расход мелассы снижается в четыре раза.

Применение экспериментальных коагулянтов не ухудшает основные показатели вулканизатов, приготовленных из выделенного маслонеполненного каучука, которые удовлетворяют требованиям технических условий.

Снижение расходов коагулирующих агентов и концентрации биологически не разлагаемого лейканола в серуме принципиально значимо для снижения экологической нагрузки на водоемы и окружающую среду в целом.

Свойства каучуков и вулканизатов определяли по стандартным методикам:

– вязкость каучука по Мун'и исследовали с помощью сдвигового роторного вискозиметра Муни (ГОСТ ISO 2322-2013);

– содержание летучих веществ определяют методом вальцевания (ГОСТ ISO 2322-2013);

– определение упругопрочностных свойств при растяжении определяли на испытательной машине марки (ГОСТ Р 54553-2019);

– способ определения эластичности по отскоку заключался в измерении величины отскока бойка маятника, падающего с определенной высоты на образец на приборе типа Шоба (ГОСТ 27110-86);

– массовую долю золы определяли по методу А (ГОСТ 19816.4-91);

– массовые доли органических кислот и мыл органических кислот определяли методом, основанным на экстракции их растворителем (ГОСТ 19816.1—91);

– определение массовой доли масла ПН-6 и антиоксиданта проводили по методу, основанному на их экстракции растворителем (ГОСТ Р 54550-2011).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Аверко-Антонович Л.А., Аверко-Антонович Ю.О., Давлетбаева И.М., Кирпичников П.А. Химия и технология синтетического каучука. М.: Химия. 2008. 357 с.
2. Полимерные композиционные материалы: структура, свойства, технология / Под ред. А.А. Берлина. СПб.: «Профессия». 2011. 560 с.
3. Технология полимерных материалов / Под ред. В.К. Крыжановского. СПб.: Профессия. 2008. 544с.
4. Папков В.Н., Ривин Э.М., Блинов Е.В. Бутадиен-стирольные каучук. Синтез и свойства. Воронеж.: ВГУИТ. 2015. 315 с.
5. Лазурин Е.А., Космодемьянский Л.В. Получение и свойства маслонеполненных полимеров. М.: ЦНИИТЭнефтехим. 1979. 56 с.
6. Вережников В.Н., Никулин С.С. Применение азотсодержащих соединений для выделения синтетических каучуков из латексов // Химическая промышленность сегодня. 2004. № 11. С.26-37.
7. Серегин С. Н. Современное состояние и прогноз развития свеклосахарного подкомплекса Российской Федерации М.: РАСХН, ВНИИЭСХ. 2006. 323с.
8. Бенин С.Г., Шнайдеров Е.Е. Бетаин и его определение в продуктах сахарного производства // Сахарная промышленность. 1951. № 11. С. 44.
9. Егорова М.И., Чугунова Л.С., Милых А.А. Исследование состава меласс сахарных заводов России. Труды РНИИСП. 2003. №4. С. 89–95.
10. Петров С.М, Подгорнова Н.М., Воробей А.Н. Метод определения параметров насыщенной мелассы // Сахар. 2005. №3. С. 48–52.
11. Никулина Н.С., Вережников В.Н., Никулин С.С., Провоторова М.А., Пугачева И.Н. Перспектива применения отхода свеклосахарного производства – мелассы в технологии выделения каучука из латекса // Изв. ВУЗов. Химия и химическая технология. 2018. Т. 61. № 11. С. 109–115.
12. Bulatetskaya T.M., Nikulina N.S., Nikulin S.S., Verezhnikov V.N. Provotorova M.A The use of three component molasses coagulant – sodium chloride – sulfuric acid in the technology of emulsion rubbers // International Research Conference on Technology, Science, Engineering & Management. USA: Los Gatos. 2018. P. 56–65.
13. Пояркова Т.Н., Никулин С.С., Пугачева И.Н., Кудрина Г.В., Филимонова О.Н. Практикум по коллоидной химии латексов. М.: Издательский дом Академии Естествознания. 2011. 124 с.
14. Никулин С.С., Вережников В.Н., Никулина Н.С., Провоторова М.А., Булатецкая Т.М. Применение в технологии выделения эмульсионных каучуков бинарного коагулянта меласса – хлорид натрия // Вестник ВГУ. 2017. № 1. С. 11–15.
15. Холмберг К., Йенсон Б., Кронберг Б., Линдман Б. Поверхностно-активные вещества и полимеры в водных растворах. М.: БИНОМ. Лаборатория знаний. 2007. 528 с.

16. Волков В.А. Коллоидная Химия. Поверхностные явления и дисперсные системы. СПб.: Лань. 2015. 672 с.

17. Вережников В.Н., Гермашева И.И., Крысин М.Ю. Коллоидная химия поверхностно-активных веществ. СПб.: «Лань». 2015. 304 с.

Информация об авторах

Никулина Надежда Сергеевна, кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры специальной подготовки E-mail: noodi-on-sky@mail.ru. Воронежский институт повышения квалификации сотрудников ГПС МЧС России. Россия, 394052, г. Воронеж, ул. Краснознаменная, д. 231.

Булатецкая Татьяна Михайловна, магистрант кафедры технологии органических соединений, переработки полимеров и техносферной безопасности E-mail: tatyana bulatetskaya@yandex.ru. Воронежский государственный университет инженерных технологий. 394036, Воронеж, Революции проспект, 19.

Патрушева Наталья Андреевна, магистрант кафедры промышленной экологии, оборудования химических и нефтехимических производств E-mail: ganhei@yandex.ru Воронежский государственный университет инженерных технологий. 394036, Воронеж, Революции проспект, 19.

Власова Лариса Анатольевна, кандидат технических наук, доцент кафедры технологии органических соединений, переработки полимеров и техносферной безопасности. E-mail: vllar65@yandex.ru. Воронежский государственный университет инженерных технологий. Россия, 394036, Воронеж, Революции проспект, 19.

Санникова Наталья Юрьевна, кандидат химических наук, доцент кафедры технологии органических соединений, переработки полимеров и техносферной безопасности. E-mail: snu@inbox.ru. Воронежский государственный университет инженерных технологий. Россия, 394036, Воронеж, Революции проспект, 19.

Никулин Сергей Саввович, доктор технических наук, профессор кафедры технологии органических соединений, переработки полимеров и техносферной безопасности. E-mail: nikulin.nikuli@yandex.ru. Воронежский государственный университет инженерных технологий. Старший научный сотрудник военного учебно-научного центра военно-воздушных сил. Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина. Россия, 394036, Воронеж, Революции проспект, 19.

Поступила 30.07.2020 г.

© Никулина Н.С., Булатецкая Т.М., Патрушева Н.А., Власова Л.А., Санникова Н.Ю., Никулин С.С., 2020

¹*Nikulina N.S.*, ²*Bulatetskaya T.M.*, ²*Patrusheva N.A.*, ^{2,*}*Vlasova L.A.*,
²*Sannikova N.Yu.*, ³*Nikulin S.S.*

¹*Voronezh Institute of Advanced Training of Employees of the State Fire Service of Ministry of Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters*

²*Voronezh State University of Engineering Technologies*

³*Air Force Academy named after Professor N.E. Zhukovsky and Yu.A. Gagarin*

**E-mail: vllar65@yandex.ru*

THE PROSPECT OF USING THE BICOMPONENT COAGULANT OF MOLLASES "SODIUM CHLORIDE" WHEN PRODUCTION OF OIL-FILLED RUBBERS

Abstract. *Currently, special attention is paid to improving the production technology of synthetic rubbers. Synthetic rubbers are in great demand in the tire and rubber industry, in the manufacture of composite materials for various purposes, etc. Every year, the requirements for both the quality of manufactured products and the environmental friendliness of their production are increasing. One of the problematic stages in the production of rubbers by emulsion polymerization is the stage of their separation from latex. The paper considers the possibility of using a bis-compound coagulant consisting of a by-product of beet sugar production of molasses and traditional sodium chloride in the process of obtaining oil-filled rubbers. It was found that the use of this bis-compound coagulant to reduce the agriculture stability of synthetic latexes reduces the consumption of coagulating agents by 3-4 times. It is shown that the main coagulating component of molasses is betaines, which are present in its composition. Sodium chloride contributes to the coagulation process by the concentration mechanism, and betaine – by the neutralization mechanism, based on the chemical interaction of surfactant anions with the positively charged ammonium group of the betaine molecule. The use of a bis-compound coagulant reduces environmental pollution by components of the emulsion system. The water phase remaining after the rubber is extracted from latex can be used to prepare a solution of molasses and sulfuric*

acid. Rubber mixtures prepared on the basis of experimental samples of rubber meet the requirements in terms of their parameters.

Keywords: latex, coagulant, rubber isolation, indicators.

REFERENCES

1. Averko-Antonovich L.A., Averko-Antonovich Yu.O., Davletbaeva I.M., Kirpichnikov P.A. Chemistry and technology of synthetic rubber [Himiya i tekhnologiya sinteticheskogo kauchuka]. Moscow: Chemistry. 2008, 357 p. (rus)
2. Polymer composite materials: structure, properties, technology [Polimernye kompozicionnye materialy: struktura, svoystva, tekhnologiya]. Under the editorship of A. A. Burleigh and others. SPb.: «Profession». 2011, 560 p. (rus)
3. Technology of polymer materials [Tekhnologiya polimernyh materialov]. Edited by V.K. Kryzhanovsky. Saint Petersburg: Profession. 2008, 544 p. (rus)
4. Papkov V.N., Rivin E.M., Blinov E.V. Styrene-Butadiene rubber. Synthesis and properties [Butadien-stirol'nye kauchuk. Sintez i svoystva]. Voronezh.: VGUI. 2015, 315 p. (rus)
5. Lazurin E.A., kosmodemyansky L.V. Obtaining and properties of oil-filled polymers [Poluchenie i svoystva maslonapolnennykh polimerov]. Moscow: Tsniitneftkhim. 1979, 56 p. (rus)
6. Verezhnikov V.N., Nikulin S.S. Application of nitrogen-containing compounds for the isolation of synthetic rubbers from latex [Primenenie azotoderzhashchih soedinenij dlya vydeleniya sinteticheskikh kauchukov iz lateksov]. Chemical industry today. 2004. No. 11. Pp. 26–37.
7. Seregin S.N. Current state and forecast of development of the beet sugar subcomplex of the Russian Federation [Sovremennoe sostoyanie i prognoz razvitiya sveklosaharnogo podkompleksa Rossijskoj Federacii]. M.: RASKHN, VNIIESKH. 2006, 323p. (rus)
8. Benin S.G., Shnyderov E.E. Betain and its definition in sugar production products [Saharnaya promyshlennost']. 1951. No. 11. P. 44. (rus)
9. Egorova M. I., Chugunova L. S., Milykh A. A. Research of molasses composition of sugar plants of Russia [Trudy RNIISP]. 2003. No. 4. Pp. 89–95. (rus)
10. Petrov S.M., Podgornova N.M., Vorobey A.N. Method for determining the parameters of saturated mass [Sahar]. 2005. No. 3. Pp. 48–52. (rus)
11. Nikulina N.S., Verezhnikov V.N., Nikulin S.S., Provotorova M.A., Pugacheva I.N. Prospects of application of beet sugar production waste-molasses in the technology of rubber isolation from latex [Perspektiva primeneniya othoda sveklosaharnogo proizvodstva – melassy v tekhnologii vydeleniya kauchuka iz lateksa]. Izv. higher educational. Chemistry and chemical technology. 2018. Vol. 61. No. 11. Pp. 109–115. (rus)
12. Bulatetskaya T.M., Nikulina N.S., Nikulin S.S., Verezhnikov V.N., Provotorova M.A. The use of three component molasses coagulant – sodium chloride – sulfuric acid in the technique of emulsion rubbers. International Research Conference on Technology, Science, Engineering & Management. USA: Los Gatos. 2018. Pp. 56–65.
13. Poyarkova T.N., Nikulin S.S., Pugacheva I.N., Kudrina G.V., Filimonova O.N. Practicum on colloid chemistry of latexes [Praktikum po kolloidnoj himii lateksov]. Moscow: Publishing house of the Academy of natural Science. 2011. 124 p. (rus)
14. Nikulin S.S., Verezhnikov V.N., Nikulina N.S., provotorova M.A., bulatetskaya T.M. Application of the binary coagulant molasses-sodium chloride in the technology of separation of emulsion rubbers [Vestnik VGU]. 2017. No. 1. Pp. 11–15. (rus)
15. Holmberg K., Jenson B., Kronberg B., Lindman B. Surfactants and polymers in aqueous solutions [Poverhnostno-aktivnye veshchestva i polimery v vodnykh rastvorah]. Moscow: BINOM. Knowledge lab. 2007. 528 p. (rus)
16. Volkov V.A. Colloid And Surface Chemistry. Surface phenomena and dispersed systems [Poverhnostnye yavleniya i dispersnye sistemy]. SPb.: "LAN". 2015. 672 p. (rus)
17. Verezhnikov V.N., Germasheva I.I., Krysin M.Yu. Colloidal chemistry of surfactants [Kolloidnaya himiya poverhnostno-aktivnykh veshchestv]. SPb.: "LAN". 2015. 304 p. (rus)

Information about the authors

Nikulina, Nadezhda S. PhD, senior lecturer E-mail: nood-on-sky@mail.ru. Voronezh Institute of qualification improvement of employees of state fire service of EMERCOM of Russia. 231 Krasnoznamennaya str., Voronezh, 394052, Russia.

Bulatetskaya, Tatyana M., master student E-mail: tatyana bulatetskaya@yandex.ru. Voronezh state University of engineering technologies, 19 Revolyutsii Prospekt, Voronezh, 394036.

Patrusheva, Natalia A. Master student E-mail: ganhei@yandex.ru. Voronezh state University of engineering technologies, 19 Revolyutsii Prospekt, Voronezh, 394036.

Vlasova, Larisa A. PhD, Assistant professor. E-mail: vllar65@yandex.ru. Voronezh State University of Engineering Technologies. Russia, 394036, Voronezh, Revolution Avenue, 19. Voronezh state University of engineering technologies. 19 Revolyutsii Prospekt, Voronezh, 394036, Russia.

Sannikova, Natalia Yu. PhD, Assistant professor. E-mail: cnu@inbox.ru. Voronezh state University of engineering technologies. 19 Revolyutsii Prospekt, Voronezh, 394036, Russia.

Nikulin, Sergey S. DSc, Professor. E-mail: nikulin.nikuli@yandex.ru. Voronezh State University of Engineering Technologies. Military training and research center of the air force "air Force Academy named after Professor N. E. Zhukovsky and Gagarin. Russia, 394036, Voronezh, Revolution Avenue, 19.

Received 30.07.2020

Для цитирования:

Никулина Н.С., Булатецкая Т.М., Патрушева Н.А., Власова Л.А., Санникова Н.Ю., Никулин С.С. Перспектива использования при изготовлении маслonaполненных каучуков бисоставного коагулянта меласса-хлорид натрия // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2020. № 9. С. 81–88. DOI: 10.34031/2071-7318-2020-5-9-81-88

For citation:

Nikulina N.S., Bulatetskaya T.M., Patrusheva N.A., Vlasova L.A., Sannikova N.Yu., Nikulin S.S. The prospect of using the bicomponent coagulant of mollasses "sodium chloride" when production of oil-filled rubbers. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2020. No. 9. Pp. 81–88. DOI: 10.34031/2071-7318-2020-5-9-81-88

МАШИНОСТРОЕНИЕ И МАШИНОВЕДЕНИЕ

DOI: 10.34031/2071-7318-2020-5-9-89-96

Севостьянов М.В

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

E-mail: msev31@mail.ru

ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА БРИКЕТИРОВАНИЯ ПОЛИДИСПЕРСНЫХ МАТЕРИАЛОВ И ОТХОДОВ ПРОИЗВОДСТВА В ПРЕСС-ВАЛКОВЫХ АГРЕГАТАХ

Аннотация. В статье рассмотрены теоретические и экспериментальные исследования процессов компактирования различных видов порошкообразных полидисперсных материалов по изучению кинематических, конструктивно-технологических и энергосиловых параметров агрегатов. Установлены основные закономерности брикетирования в пресс-валковых агрегатах и необходимость их конструктивно-технологической реализации. Представлен расчет основных энергосиловых параметров оборудования для брикетирования (усилия прессования; мощности, затрачиваемой валковым и щёчковым предуплотнителями; общей мощности, затрачиваемой валковым прессом), позволяющий учитывать физико-механические характеристики и физико-химические свойства техногенных материалов. В работе приведены патентозащищенные конструкции агрегатов для брикетирования полидисперсных отходов как высокой, так и низкой насыпной плотности. Показана необходимость предварительного уплотнения брикетируемых шихт при их формовании, что является эффективным при реализации любого процесса компактирования. Использование устройств для предварительного уплотнения материала и формующих элементов валков желобково-зубчатого и ячеякового типа позволяет получить брикеты заданной геометрической формы и размеров с учетом требований потребителя. Результаты теоретических и экспериментальных исследований могут быть использованы не только для переработки и утилизации вторичных сырьевых материалов (полидисперсных отходов) отдельных производств, но и при выпуске различных видов товарной продукции.

Ключевые слова: компактирование, формование, брикетирование, пресс-валковый агрегат, полидисперсные отходы, предуплотнение.

Введение. Утилизация полидисперсных отходов различных производств предполагает решение, как экологических вопросов, так и технологических, связанных с формованием порошкообразных материалов в спрессованные тела заданной геометрической формы и размеров (гранулы или брикеты). Для этого разработаны различные способы компактирования материалов: брикетирование, экструдирование, агломерация и другие [1-8].

Применение технологии брикетирования позволяет получать брикеты с заданными физико-механическими характеристиками и химическими свойствами, что уменьшает их потери при транспортировке, хранении, перемещении, распределении при дальнейшем использовании, переработке, а также улучшает технологические, экологические и экономические показатели их использования. Актуальность комплексной переработки полидисперсных отходов различных производств не вызывает сомнения, хотя процесс ее реализации имеет свои особенности и сложности.

Для формования сыпучих отходов с невысокими пластическими свойствами используют специальное брикетирующее оборудование, среди которого особое место занимают наиболее производительные пресс-валковые агрегаты (ПВА) [9-12]. Данные машины характеризуются простотой конструкции, необходимой эксплуатационной надежностью, высокой производительностью и небольшими удельными энергозатратами [13-18].

Материалы и методы. Пресс-валковые агрегаты эффективно используют для брикетирования полидисперсных отходов различных производств: утилизации пылеуноса сушильных и обжиговых агрегатов, золо-шлаковых отходов, отходов химических и деревообрабатывающих производств, целлюлозно-бумажных отходов, органических ТКО для получения альтернативных видов тепловой и электрической энергии и др.

Проведенные теоретические и экспериментальные исследования процессов компактирования различных видов порошкообразных поли-

дисперсных материалов заключаются в использовании комплексного подхода, основу которого составляют системный, критериальный анализ и анализ размерностей; теория подобия, математическое и физическое моделирование; многофакторное планирование эксперимента, использование математической статистики, электронно-вычислительной техники и САПР; испытания стендовых, опытно-промышленных агрегатов и технологических комплексов.

Основная часть. Разработанный пресс-валковый агрегат [19] относится к оборудованию для брикетирования и изготовления спрессованных тел из сыпучих и вязко-пластичных материалов с заданными физико-механическими характеристиками и химическими свойствами: минералогическим и химическим составом, дисперсностью, плотностью, влажностью, пластичностью и др. и может быть использован в различных отраслях промышленности: строительных материалов, химической, энергетической, деревообрабатывающей, в сельскохозяйственном производстве, в дорожном строительстве и др.

Эффективное использование ПВА нашло свое применение при брикетировании полидисперсных отходов с низкой насыпной плотностью (менее 500-600 кг/м³). ПВА, оснащенный валковым и вибро-щечковым уплотнителем, позволяет получать качественные брикеты с различными физико-механическими характеристиками. Для этих целей разработана серия патентозащищенных конструкций агрегатов для брикетирования полидисперсных отходов как высокой, так и низкой насыпной плотностью [20-22].

Проведенные многолетние теоретические и экспериментальные исследования процессов компактирования различных видов порошкообразных полидисперсных материалов позволили

установить основные закономерности брикетирования в ПВА и необходимость их конструктивно-технологической реализации:

- предварительное уплотнение шихты ($k_{упл.}=2,5-3$), особенно для материалов с низкой насыпной плотностью;
- повышение качества брикетов за счет обезвоздушивания, эффективной упаковки частиц при вибровоздействии или предварительном уплотнении материалов;
- равномерное распределение потока шихты по рабочей поверхности валков;
- обеспечение равномерного распределения напряжений по объему прессуемых тел;
- выдержка шихты под давлением для релаксации напряжений в брикетах;
- повышение качества готовой продукции и производительности агрегата за счет возврата просыпи в зону формования;
- надежный выход брикетов из желобов формующих элементов при использовании специальных устройств и др.

При изучении процесса брикетирования полидисперсных порошкообразных отходов были проведены теоретические исследования по изучению кинематических, конструктивно-технологических и энергосиловых параметров агрегатов.

Уплотнение и деформация шихты в ПВА осуществлялось посредством вращающихся навстречу друг другу прессующих валков желобково-зубчатого и ячейкового типа. В случае брикетирования шихты, обладающей выраженными пластическими свойствами (когда не требуется высокое давление формования, $\bar{P} = 15 - 20$ МПа) мы использовали валки ячейкового типа (рис. 1).

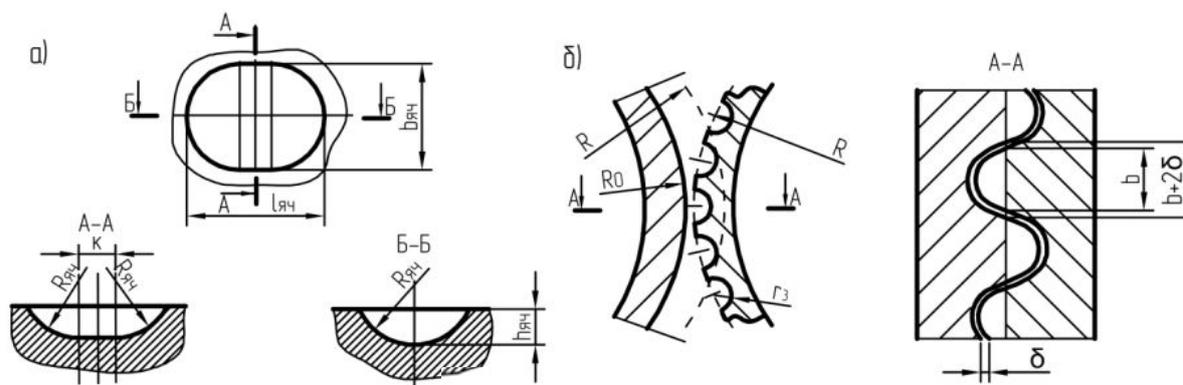


Рис. 1. Формующие элементы ячейкового (а) и желобково-зубчатого (б) типов R – радиус вальцов, м; $R_{яч}$ – радиус ячейки, м; R_0 – радиус вальцов по внутреннему контуру ячеек, м; $l_{яч}$ – длина ячейки, м; $h_{яч}$ – высота ячейки, м; $b_{яч}=b$ – ширина ячейки, м; δ – зазор между вальцами, $\delta=(0,5 \div 1) \cdot 10^{-3}$ м; $r_з$ – радиус зуба, м

При вращении вальцов ПВА навстречу друг другу брикеты испытывают максимальное давле-

ние на линии центров (рис. 2). После прохождения линии центров наблюдаются резкий спад

напряжений в сформованных брикетах и их упругое расширение. За счет скольжения вдоль поверхности ячеек преодолеваются силы трения. Выход спрессованных тел из ячеек осуществляется за счет упругого расширения брикетов и их силы тяжести.

В результате проведенных теоретических и экспериментальных исследований вальцевого прессы с формующими элементами желобково-

$$P_x \approx 0,67 \frac{(1+\mu)+(2\bar{P}_{пр.маx}-\tau_{сц}\cdot\sin\varphi)}{3+(1+\sin\varphi)} \left[\exp\left(1 - \frac{\eta_o}{\eta_{бр}}\right) H_o \frac{U f_o \xi}{S_{пр.м.}} - 1 \right] \cdot R \cdot B (\alpha_{упл} + \alpha_{упр}), \quad (1)$$

где μ – коэффициент поперечной деформации (коэффициент Пуассона); $\bar{P}_{пр.маx}$ – предельное давление прессования, МПа; $\tau_{сц}$ – параметр, учитывающий сцепление прессуемых частиц при номинальном давлении прессования, МПа; φ – угол внутреннего трения, $\varphi = \arctg f_i$; $\eta_o, \eta_{бр}, f_o, \xi$ – физико-механические характеристики

зубчатого типа получено выражение для определения усилия прессования P_x , которое зависит от геометрических параметров валцов (радиуса – R , ширины – B), зазора между ними – δ , частоты вращения n_b , а также степени плотности шихты η , запрессованной в ячейки формующих элементов:

прессуемого материала, соответственно, исходная плотность, плотность в сбrikетированном состоянии, коэффициент внутреннего трения, коэффициент бокового распора; $S_{пр.м.}$ U – площадь и периметр пресс-матрицы, соответственно, м², м; H_o – исходная высота слоя шихты, м.

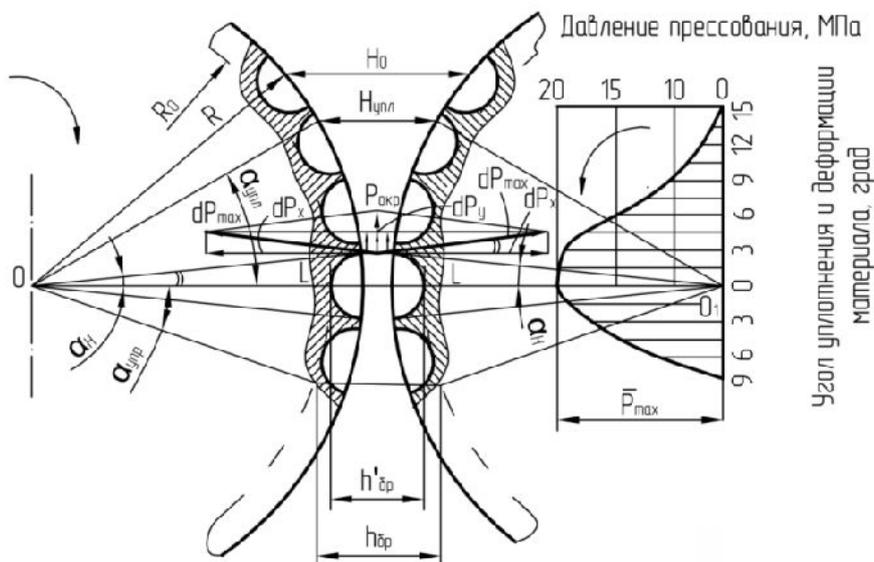


Рис. 2. Схемы распределения усилий прессования в вальцевом прессе: α_n – зона нейтрального угла, град; \bar{P}_{max} – максимальное давление прессования в зоне нейтрального угла, МПа; dP_x, dP_y – горизонтальная и вертикальная составляющие величины элементарного усилия прессования, соответственно, Н; $P_{окр}$ – окружное усилие, необходимое для вращения валцов, Н

В виду того, что ПВА разработан для брикетирования порошкообразных полидисперсных материалов с различными физико-механическими характеристиками и физико-химическими свойствами (в т.ч. материалов с низкой насыпной плотностью), для эффективного формования воз-

никает необходимость предварительного уплотнения шихты. Это реализовано валковым и щековым предуплотнителями, соответственно.

На рисунке 3 представлена схема валкового предуплотнителя. Мощность, затрачиваемая валковым предуплотнителем, рассчитывается следующим образом:

$$N_{ВПУ} = M_{сопр\sigma} \cdot \omega_B = \bar{P}_{в.упл} \cdot f_B \cdot B_l \cdot l_{\bar{P}_{max}} \cdot R_B \cdot \omega_B = \bar{P}_{в.упл} \cdot f_B \cdot B_l \left(R_B \cdot \alpha_{упл\bar{P}_{max}} \right) \cdot R_B \cdot \omega_B, \quad (2)$$

где $M_{сопр\sigma}$ – суммарный момент сопротивления, преодолеваемый при уплотнении шихты и перемещении бесконечной ленты, Н·м; ω_B – угловая

скорость вращения валков, рад/с; $\bar{P}_{в.упл}$ – давление уплотнения исходной шихты валком, МПа; f_B

– коэффициент внешнего трения материала о поверхность вала; $B_{л}$ – ширина вала (уплотненной ленты), м; $l_{\bar{p}_{max}}$ – длина дуги вала в зоне максимального давления уплотнения шихты, м; $\alpha_{упл\bar{p}_{max}}$ – угол максимального давления уплотнения, рад ($\alpha_{упл\bar{p}_{max}} = 3 - 4^\circ$); R_B – радиус вала, м.

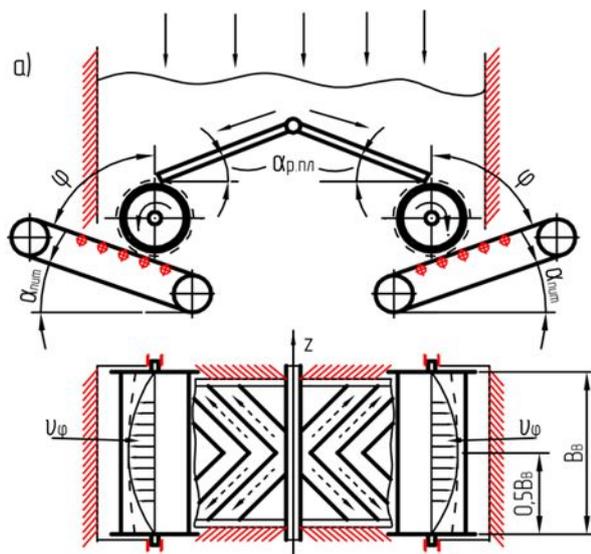


Рис. 3. Схема к расчету условий питания шихтой ПВА в валковом предуплотнителе B_B – ширина валкового уплотнителя, м; U_ϕ – скорость слоя шихты, м/с; $\alpha_{р.пл.}$ – угол наклона распределительных пластин, град; $\alpha_{плт.}$ – угол наклона ленточного питателя, град; ϕ – угол питания вала материалом, град.

На рис. 4 представлена схема предварительного уплотнения шихты посредством щёкового предуплотнителя.

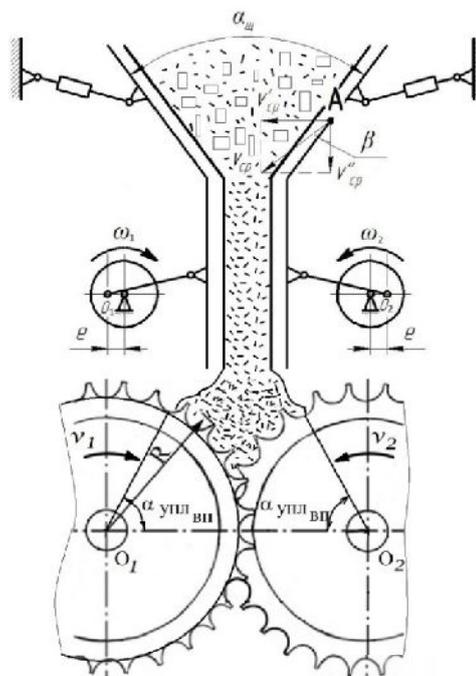


Рис. 4. Схема к расчету условий питания шихтой ПВА в щёковом предуплотнителе ω_1, ω_2 – соответственно, угловые скорости вращения эксцентриковых валов щёкового подпрессовщика, рад; e – эксцентриситет, м; β – угол захвата шихты в крайнем положении эксцентрикового вала, град; v_1, v_2 – соответственно, угловые скорости вращения прессующих валков, рад; $\alpha_{упл.вп}$ – угол уплотнения валкового пресса, град; $\alpha_{щ}$ – угол захвата щёкового подпрессовщика, град

Мощность, затрачиваемая щёковым предуплотнителем, рассчитывается следующим образом:

$$N_{щпу} = \frac{14 \cdot \bar{P}_{щ\acute{e}к_{упл}} \cdot B_{в.п.} \cdot h_{пл} \cdot e^2 \cdot \cos \beta \cdot \sin \beta \cdot \rho_{пл} \cdot f_{тр.щпу}^2 \cdot l_{яч} \cdot B_{яч} \cdot n_{эксц}}{m_{бр} \cdot \phi_{исп} - 2h_{дуг} \cdot \rho_{дуг} \cdot l_{яч} \cdot B_{яч}}, \quad (3)$$

где $\bar{P}_{щ\acute{e}к_{упл}}$ – давление уплотнения шихты в щёковом предуплотнителе, МПа; $B_{в.п.}$ – ширина пластин щёкового предуплотнителя, м; $h_{пл}, h_{дуг}$ – толщина уплотняемого материала в щёковом и дугообразном уплотнителе, соответственно, м; β – угол наклона корпусов эксцентриков к вертикальной поверхности щёк (угол вибровоздействия, $\beta = 60^\circ$); $\rho_{пл}, \rho_{дуг}$ – плотность уплотненных слоев материала в щёковом и дугообразном уплотнителе, соответственно, кг/м³; $f_{тр.щпу}$ – ко-

эффициент трения уплотненного материала о поверхность щёк; $l_{яч}, B_{яч}$ – длина и ширина ячейки формующего элемента, соответственно, м; $n_{эксц}$ – частота вращения эксцентрикового вала, об/с; $m_{бр}$ – масса брикета, спрессованного в вальцевом прессе, кг; $\phi_{исп}$ – коэффициент использования поверхности вальцов для формующих элементов ячейкового типа – $\phi_{яч} = 0,85$.

Тогда мощность, затрачиваемая валковым прессом, после стадии предуплотнения:

$$N_{пресс} = 2 \left\{ \frac{(1+\mu)(2\bar{P}_{пр,max} - \tau_{сц} \sin \phi_i) \cdot S_{пр,м} \cdot \cos \alpha_H \cdot \sin \alpha_H \cdot R_{ср}}{3(1+\sin \phi_i)} \left[\exp \left(1 - \frac{\eta_0}{\eta_{бр}} \right) H_0 \frac{U_{f_0} \xi}{S_{пр,м}} - 1 \right] + \sqrt{(P_{\alpha_H} \cos \alpha_H)^2 + G_B^2} \cdot f_{пр} \cdot r_{ц} \right\} \omega_{в.л.}, \quad (4)$$

где α_H – нейтральный угол, град; $R_{ср}$ – средний радиус вала, м; G_B – результирующая сила от силы тяжести вальцов, Н; $r_{ц}$ – радиус вальцов, м;

$\omega_{в.л.}$ – угловая скорость вращения вальцов в вальцевом прессе, рад/с;

На рисунке 5 изображен общий вид пресс-валкового агрегата с валковым и вибро-щечковым предуплотнителями.

ПВА состоит из двух блоков: первый (I) содержит валковые устройства для предварительного уплотнения материала и стабилизации скоростных потоков шихты; второй блок (II) содержит вибро-щечковый уплотнитель, который обеспечивает дальнейшее уплотнение полидисперсных отходов и равномерное их нагнетание в межвалковое пространство прессующих валцов. Для дополнительного уплотнения полидисперсных отходов предусмотрены специальные нагнетательные валики. Они нагнетают уплотняемую шихту в ячейки валцов. Под блоками (I) и (II) непосредственно установлен валцевый пресс с желобково-зубчатыми формующими элементами (рис. 5).

Основной задачей разработок являлось получение брикетов заданной геометрической формы и размеров, которые производятся из полидисперсных отходов различных предприятий и могут быть использованы по соответствующему технологическому назначению: в нефтехимии – как брикетированные сорбенты на основе пер-

лита для очистных сооружений; в деревообрабатывающей промышленности – как топливные брикеты; в строительной – в качестве теплоизоляционных заполнителей для теплоизоляции строительных сооружений или для производства конструкционно-теплоизоляционных изделий с добавлением фиброаппенителей и др. (рис. 6).

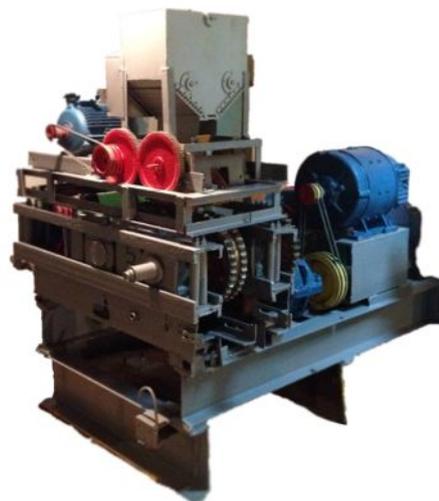


Рис. 5. Общий вид пресс-валкового агрегата

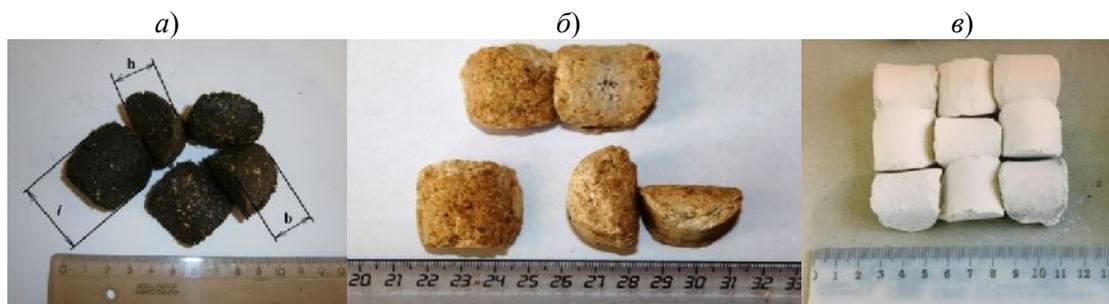


Рис. 6. Брикеты $l \times b \times h = (32 \times 30 \times 18) \cdot 10^{-3}$ м, спрессованные из: а) – топливосодержащей шихты с нефтешламовым связующим; б) – отходов деревообрабатывающей промышленности с органическим связующим; в) – пылеуноса мело-известкового производства

Выводы. Проведенные испытания подтвердили возможность брикетирования порошкообразных полидисперсных отходов и получения брикетов со следующими физико-механическими характеристиками: для теплоизоляционных заполнителей плотность брикетов составила $(280 \div 300)$ кг/м³, прочность – $(45 \div 50)$ Н/бр., коэффициент уплотнения шихты в ПВА – $(2,0 \div 2,2)$; для фиброаппенителей: плотность брикетов $(560 \div 590)$ кг/м³, прочность – $(15 \div 20)$ Н/бр., коэффициент уплотнения в ПВА $(3,5 \div 3,6)$.

Данное научно-практическое направление – разработка и исследование агрегатов и процесса брикетирования с использованием ПВА для формирования полидисперсных материалов и отходов различных производств имеет важное значение для решения актуальных задач по комплексной

переработке ТКО и получения из них конкурентоспособной товарной продукции.

Анализ результатов проведенных опытно-промышленных испытаний разработанного оборудования ПВА для комплексной переработки порошкообразных полидисперсных отходов подтверждает техническую, технологическую и экономическую целесообразность его использования.

ПВА, оснащенный валковым и вибро-щечковым уплотнителем позволяет получать качественные брикеты с различными физико-механическими характеристиками.

Источник финансирования. Работа выполнена в рамках реализуемого проекта НОЦ «Инновационные решения в АПК» № 10089447 (2020-2022 гг.) научно-производственной платформы «Рациональное природопользование»

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Кулагин Р.А., Кулагин О.Р. Результаты брикетирования мелкозернистых и мелкодисперсных отходов производства // Сб. тезисов докладов Российско-Казахстанского Симпозиума «Углекислота и экология Кузбасса». Кемерово: ООО «Фирма ПОЛИГРАФ». 2014. 48 с.
2. Назаров В.И., Макаренков Д.А., Четвертаков Г.В. и др. Переработка и утилизация дисперсных материалов и твердых отходов / Учебное пособие М.: Альфа-М. 2014. 462 с.
3. Дудка С.В., Тошинский В.И. Исследование процесса гранулирования и сушки в технологии удобрений марки «СУПЕРАГРО N:P 10:40» // Восточно – Европейский журнал передовых технологий. 2012. Т.4. № 6 (58). С. 7–10.
4. Лобовиков Д.В., Ханов А.М., Матыгулина Е.В. и др. Исследование гранулирования порошковых композитов в планетарном грануляторе // Вестник ПГТУ. Пермь. 2010. Т.12. №1. С. 30–36.
5. Sevostyanov M.V., Ilyina T.N., Sevostyanov V.S., Emelyanov D.A. Methodological Principles of Agglomeration Processes Improvement in Technologies of Disperse Materials Processing // Research Journal of Applied Sciences. 9(11). Pp. 738–744. 2014.
6. Рахимов М.А., Рахимова Г.М., Иманов Е.М. Проблемы утилизации полимерных отходов // Фундаментальные исследования. 2014. № 8. С. 331–334.
7. Ильина Т. Н. Классификация дисперсных материалов и рекомендации по процессам их агломерации // Химическое и нефтегазовое машиностроение. 2013. (4). С. 17–19.
8. Ilyina T.N. Structural and mechanical properties of pelletized fine materials // Chemical and Petroleum Engineering, 2009. 45(3 – 4): 115–118.
9. Шинкарев Л.И. Классификационные принципы создания агрегатов для формования природных и техногенных материалов // Сб. докл. IV Междунар. науч.– практ. конф. «Экология – образование, наука, промышленность и здоровье», Ч. I – Белгород. 2011. С. 215–220.
10. Гридчин А.М., Севостьянов В.С., Уральский А.В. Энергосберегающая техника и технологии для комплексной переработки природных и техногенных материалов // Эковестник России. 2010. №1. С. 68–79.
11. Глаголев С.Н., Севостьянов В.С., Ильина Т.Н., Уральский В.И. Технологические модули для комплексной переработки техногенных материалов // Химическое и нефтегазовое машиностроение. 2010. №9. С. 43–45.
12. Бобович Б.Б., Девяткин В.В. Переработка отходов производства и потребления: справочное издание / Под ред. Б.Б. Бобовича. М.: Интернет Инжиниринг, 2000. 496 с.
13. Dec R.T. Roll press agglomeration of industrial wastes for treatment and recycle / Second International Symposium on Extraction and Processing for the Treatment and Minimization of Wastes, Proceedings in print October, 1996, Phoenix, AZ
14. Dec R.T., Komarek K.R. Experimental study of new type roll presses for granular solids / AICHEM91, International Meeting on Chemical Engineering and Biotechnology, Frankfurt am Main.
15. Making dense briquettes from fine dust, case study at General Electric's Lighting Division // Powder and Bulk Engineering, September 1998.
16. Dec R.T. Problems with processing of fine powders in roll press // IB A Proceedings, Vol. 24, October, 1995, 24th Biennial Conference, Philadelphia.
17. Dec R.T. Theoretical and experimental study of compaction process in roll press / SME'2000 Annual Meeting and Exhibit, Salt Lake City, UT.
18. Нгуен Хыу Фук Исследование уплотнения огнеупорных пресс-порошков с введением поверхностно – активных веществ при полусухом прессовании и при вибрации большой частоты. Автореф. на соискание ученой степени к.т.н., М. 1968. 24 с.
19. Глаголев С.Н., Севостьянов В.С., Свергузова С.В., Шинкарев Л.И., Спиринов М.Н., Фетисов Д.Д., Севостьянов М.В., Свергузова Ж.А. Пат. 2473421 РФ МПК В28В 3/12 Способ формования техногенных материалов и пресс-валковый агрегат для его осуществления. Заявитель и патентообладатель БГТУ им. В.Г. Шухова; опубл. в Бюл. No 3 27.01.2013, 10 с.
20. Севостьянов В.С., Барбанягрэ В.Д., Севостьянов М.В. Пат. 2133673 РФ МПК В 30 В 11/18, В 22 F 3/02 Пресс-валковый агрегат. Заявитель и патентообладатель БелГТАСМ; опубл. в Бюл. No 21 27.07.99. 6с.
21. Севостьянов В.С., Зубаков А.П., Бондаренко В.Н., Новиков Э.В., Севостьянов М.В. Пат. 2204486 РФ 7 В 30 В 11/18, В 28 В 3/14 Вальцовый пресс для брикетирования порошкообразных материалов. Заявитель и патентообладатель БГТУ им. В.Г. Шухова; опубл. в Бюл. No 14. 2003.
22. Sevostyanov M.V., Ilyina T.N., Martakov I.G. Process of charge prevention with low bulk density. «International Conference on Energy System 2018». (2019) IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 552 (1), статья No 012039, DOI: 10.1088/1757-899X/552/1/012039

Информация об авторах

Севостьянов Максим Владимирович, кандидат технических наук, доцент кафедры «Технологические комплексы, машины и механизмы». E-mail: msev31@mail.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Поступила 16.06.2020 г.

© Севостьянов М.В., 2020

Sevostyanov M.V.

Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov

E-mail: msev31@mail.ru

THEORY AND PRACTICE OF BRIQUETTING OF POLYDISPERSE MATERIALS AND PRODUCTION WASTE IN PRESS-ROLL INSTALLATIONS

Abstract. *The article deals with theoretical and experimental studies of the compaction processes of various types of powdered polydisperse materials for the study of kinematic, design-technological and energy-power parameters of units. The basic laws of briquetting in press-roll units and the need for their constructive and technological implementation have been established. The calculation of the main energy-power parameters of the equipment for briquetting (pressing force; power expended by the roller and jaw pre-compactors; total power consumed by the roller press) is presented. It allows considering the physicochemical characteristics and physicochemical properties of technogenic materials. The paper presents patent-protected designs of aggregates for briquetting polydisperse waste with both high and low bulk density. The necessity of preliminary compaction of briquetted charges during their molding is shown, which is effective in the implementation of any compaction process. The use of devices for preliminary compaction of the material and the forming elements of the grooved-toothed and cell-type rolls make it possible to obtain briquettes of a given geometric shape and dimensions, taking into account the requirements of the consumer. The results of theoretical and experimental studies can be used not only for the processing and disposal of secondary raw materials (polydisperse waste) of individual industries, but also for the production of various types of marketable products.*

Keywords: *compacting, forming, briquetting, press-roll unit, polydisperse waste, pre-compaction.*

REFERENCES

1. Kulagin R.A., Kulagin O.R. Results of briquetting of fine-grained and fine-dispersed waste products [Rezultaty briketirovaniya melkozernistykh I melkodispersnykh othodov proizvodstva] Collection of abstracts of the Russian-Kazakh Symposium "coal chemistry and ecology of Kuzbass". Kemerovo: OOO "Firm POLYGRAPH". 2014. 48 p. (rus)
2. Nazarov V.I., Makarenkov D.A., Chetvertakov G.V. and others. Processing and utilization of dispersed materials and solid waste [Pererabotka I utilizatsiya dispersnykh materialov I tverdykh othodov] Textbook Moscow: Alfa-M. 2014. 462 p. (rus)
3. Dudka S.V., Toshinsky V.I. Research of granulation and drying process in the technology of Superagro N:P 10:40 fertilizers [Issledovanie protsessa granulirovaniya I syshki v tehnologii udobrenij marki «SUPERAGRO N:P 10:40»] Eastern European journal of advanced technologies. 2012. Vol. 4. No. 6 (58). Pp. 7–10. (rus)
4. Lobovikov D.V., Khanov A.M., Matygulina E.V. Research of granulation of powdered composites in a planetary granulator [Issledovaniya granulirovaniya poroshkovykh kompozitov v planetarnom granulyatore] Vestnik PSTU. Perm. 2010. Vol. 12. No. 1. Pp. 30–36. (rus)
5. Sevostyanov M.V., Ilyina T.N., Sevostyanov V.S., Emelyanov D.A. Methodological Principles of Agglomeration Processes Improvement in Technologies of Disperse Materials Processing. Research Journal of Applied Sciences. 2014. 9(11). Pp.738–744.
6. Rakhimov M.A., Rakhimova G.M., Imanov E.M. Problems of polymer waste utilization [Problemy utilizatsii polimernykh otkhodov] Fundamental research. 2014. No. 8. Pp. 331-334. (rus)
7. Ilina T.N. Classification of dispersed materials and recommendations for their agglomeration processes [Klassifikatsiya dispersnykh materialov i rekomendatsii po protsessam ikh aglomeratsii]: Chemical and oil and gas engineering. 2013. (4). Pp. 17-19. (rus)
8. Il'ina T.N. Structural and mechanical properties of pelletized fine materials: Chemical and Petroleum Engineering, 2009. 45 (3–4). Pp.115118.
9. Shinkarev L.I. Classification principles of creating aggregates for forming natural and technogenic materials [Klassifikatsionnyye printsipy sozdaniya agregatov dlya formovaniya prirodnykh i

tekhnogennykh materialov] SB. Dokl. IV mezhdunar. scientific-practical Conf. "Ecology-education, science, industry and health, Part I-Belgorod. 2011. Pp. 215–220. (rus)

10. Gridchin A.M., Sevostyanov V.S., Uralsky A.V. Energy-Saving equipment and technologies for complex processing of natural and technogenic materials [Energoberegayushchaya tekhnika i tekhnologii dlya kompleksnoy pererabotki prirodnnykh i tekhnogennykh materialov] *Ecovestnik Of Russia*. 2010. No. 1. Pp. 68–79. (rus)

11. Glagolev S.N., Sevostyanov V.S., Ilna T.N., Uralsky V.I. Technological modules for complex processing of technogenic materials [Tekhnologicheskiye moduli dlya kompleksnoy pererabotki tekhnogennykh materialov] *Chemical and oil and gas engineering*. 2010. No. 9. Pp. 43–45. (rus)

12. Bobovich B.B., Devyatkin V.V. Processing of production and consumption waste [Pererabotka otkhodov proizvodstva i potrebleniya]: reference edition Edited by B. B. Bobovich. Moscow: Internet Engineering, 2000. 496 p. (rus)

13. Dec R.T. Roll press agglomeration of industrial wastes for treatment and recycle / Second International Symposium on Extraction and Processing for the Treatment and Minimization of Wastes, Proceedings in print October, 1996, Phoenix, AZ

14. Dec R.T., Komarek K.R. Experimental study of new type roll presses for granular solids. AICHEMA91, International Meeting on Chemical Engineering and Biotechnology, Frankfurt am Main.

15. Making dense briquettes from fine dust, case study at General Electric's Lighting Division. Powder and Bulk Engineering, September 1998.

16. Dec R.T. Problems with processing of fine powders in roll press. IB A Proceedings, Vol. 24, October, 1995, 24th Biennial Conference, Philadelphia.

17. Dec R.T. Theoretical and experimental study of compaction process in roll press / SME'2000 Annual Meeting and Exhibit, Salt Lake City, UT.

18. Nguyen Khyu Fuk Investigation of the compaction of refractory press-powders with the introduction of surfactants during semi-dry pressing and high-frequency vibration [Issledovaniye uplotneniya ogneupornykh press – poroshkov s vvedeniyem poverkhnostno - aktivnykh veshchestv pri polusukhom pressovanii i pri vibratsii bol'shoy chastoty] Author's abstract. for the degree of Ph.D. M. 1968. 24 p. (rus)

19. Glagolev S.N., Sevostyanov V.S., Sverguzova S.V., Shinkarev L.I., Spirin M.N., Fetisov D.D., Sevostyanov M.V., Sverguzova Zh.A. Pat. 2473421 RF MPC B28V 3/12 Method of forming technogenic materials and press-roll unit for its implementation [Sposob formovaniya tekhnogennykh materialov i press-valkovyy agregat dlya ego osushchestvleniya]. Applicant and patent holder of V. G. Shukhov BSTU. 2013. No. 3 10 p. (rus)

20. Sevostyanov V.S., Barbanyagre V.D., Sevostyanov M.V. Pat. 2133673 RF MPC In 30 In 11/18, In 22 F 3/02 Press roll unit [Press-valkovyy agregat]. The applicant and the patent holder of Belgtasm; publ. in bul. No. 21 27.07.99-6 p. (rus)

21. Sevostyanov V.S., Zubakov A.P., Bondarenko V.N., Novikov E.V., Sevostyanov M.V. Pat. 2204486 RF 7 In 30 In 11/18, In 28 In 3/14 Roller press for briquetting powdery materials [Valtsovyy press dlya briketirovaniya poroshkoobraznykh materialov]. Applicant and patent holder of BSTU named after V.G. Shukhov. 2003. No. 14. (rus)

22. Sevostyanov M.V., Ilna T.N., Martakov I.G. Process of charge prevention with low bulk density. «International Conference on Energy System 2018». (2019) IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 552 (1), No. 012039, DOI: 10.1088/1757-899X/552/1/012039

Information about the authors

Sevostyanov, Maksim V. PhD. E-mail: msev31@mail.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Received 16.06.2020

Для цитирования:

Севостьянов М.В. Теория и практика брикетирования полидисперсных материалов и отходов производства в пресс-валковых агрегатах // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2020. № 9. С. 6–12. DOI: 10.34031/2071-7318-2020-5-9-89-96

For citation:

Sevostyanov M.V. Theory and practice of briquetting of polydisperse materials and production waste in press-roll installations. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2020. No. 9. Pp. 6–12. DOI: 10.34031/2071-7318-2020-5-9-89-96

DOI: 10.34031/2071-7318-2020-5-9-97-106

Ханин С.И., Зыбин Р.В., Мордовская О.С.Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова***E-mail: dh@intbel.ru*

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЦЕССА КЛАССИФИКАЦИИ МАТЕРИАЛА В КЛАССИФИЦИРУЮЩЕЙ ПЕРЕГОРОДКЕ ШАРОВОЙ МЕЛЬНИЦЫ**

Аннотация. Шаровые мельницы широко применяются для диспергирования материалов в различных отраслях промышленности, как отличающиеся простотой обслуживания, эксплуатации и достаточно высокой производительностью. Для совершенствования процесса внутримельничной классификации грубодолотого материала предлагается новая конструкция классифицирующей перегородки с лопастями, имеющими цилиндрические просеивающие поверхности. Целью исследования являлось обоснование целесообразности применения разработанной конструкции классифицирующей перегородки на промышленной шаровой мельнице. Решены задачи проведения виртуального эксперимента по реализации процесса классификации грубодолотого материала на лопастях с цилиндрической и плоской просеивающими поверхностями; построения и анализа уравнения регрессии, адекватно описывающего эффективность процесса классификации грубодолотого материала цилиндрической просеивающей поверхностью в зависимости от варьируемых факторов, определения рациональных областей их значений; сравнения эффективности использования лопастей с цилиндрической и плоской просеивающими поверхностями для внутримельничной классификации грубодолотого материала; подтверждения возможности обеспечения разработанной классифицирующей перегородкой массовой производительности, необходимой для работы мельницы. В ходе работы применялись методы имитационного и математического моделирования. В результате исследования обоснована целесообразность применения на шаровой мельнице $D \times L = 2 \times 10,5$ м классифицирующей перегородки с лопастями, имеющими цилиндрические просеивающие поверхности.

Ключевые слова: программная среда, цифровая модель, размер частиц, фракции частиц, подрешетный продукт, графические зависимости.

Введение. Производства многих материалов и изделий связаны с процессами измельчения, в значительной степени определяющими их качественные характеристики. В промышленности строительных материалов, огнеупорной, химической и других отраслях для диспергирования различных материалов широко применяются шаровые мельницы (ШМ). Их распространению способствовали универсальность применения, простота обслуживания, достаточно высокая производительность. К существенному недостатку этих мельниц относят повышенный удельный расход электроэнергии, связанный с особенностями организации в них процесса измельчения [1-7]. Для совершенствования процесса измельчения в ШМ применяется большое разнообразие устройств. Энергообменные устройства и бронефутеровки различных конструкций обеспечивают рациональный режим движения мелющих тел, классифицирующие устройства осуществляют выделение из шароматериальной среды частиц материала определенной крупности и направляют их в соответствующую камеру [4, 8-12]. К большой группе классифицирующих устройств относятся межкамерные перегородки различных конструкций. Одинарные межкамерные перегородки осуществляют разделение корпуса мельницы на камеры с различными разме-

рами мелющих тел и перемещение частиц материала определенных размеров из предыдущей камеры, в последующую. Двойные элеваторные перегородки, в дополнение к функциональному назначению одинарных, регулируют скорость продольного движения материала в мельнице. Двойные классифицирующие перегородки, выполняя функции одинарных, разделяют поступающий в них материал на более крупные и более мелкие фракции, которые соответственно направляют в предыдущую и последующую камеры. Существуют различные конструкции классифицирующих перегородок. В зарубежной литературе [7], при анализе промышленного применения ШМ, рассматривается использование классифицирующей перегородки с центральным перфорированным разгрузочным устройством. Характеристики процесса классификации материала в перегородке не приводятся, что объясняется практической невозможностью их определения из-за расположения перегородки во вращающемся корпусе между помольными камерами с движущимися мелющими телами. При анализе на возможную классифицирующую способность к недостатку конструкции следует отнести малые размеры просеивающей поверхности перфорированного разгрузочного устройства, что приводит к низкой эффективности процесса классификации материала и возврату большого количества

мелкофракционного материала в камеру грубого помола, снижению производительности перегородки. Эффективность процесса классификации материала пропорциональна ширине классифицирующей поверхности, при этом ее длина должна быть в 2...3 раза больше ширины.

По сравнению с рассмотренной классифицирующей перегородкой в конструкциях классифицирующих перегородках с плоскими радиально или наклонно расположенными перфорированными лопастями просеивающие поверхности имеют значительно увеличенные размеры. Анализируя классифицирующие способности этих конструкций перегородок следует отметить, что из-за кинематических особенностей перемещения материала по перфорированным лопастям промежутки времени, в течение которого осуществляется активная классификация материала на просеивающей поверхности, составляет доли секунды; соотношение длины и ширины просеивающих поверхностей, особенно для мельниц малых типоразмеров, недостаточно для эффективной классификации материала. Наклон перфорированных лопастей приводит к неравномерному распределению материала по просеивающей поверхности. Эти особенности приводят к снижению эффективности классификации и производительности перегородок, в результате чего уменьшается производительность ШМ и увеличивается удельный расход электроэнергии.

С учетом указанных недостатков перегородок с плоскими перфорированными лопастями для повышения эффективности процесса внутримельничной классификации материала разработана конструкция классифицирующей перегородки с перфорированными лопастями в форме полуцилиндров (далее цилиндрические лопасти) [13]. Конструкция цилиндрических лопастей, в сравнении с плоскими радиально расположенными перфорированными лопастями, обеспечивает увеличение длины контактирующих с классифицируемым материалом поверхностей и времени перемещения по ним материала, которое, в зависимости от типоразмера ШМ, может составлять несколько секунд. В сравнении с расположенными радиально плоскими лопастями длина просеивающих поверхностей увеличивается в полтора раза. Все это позволяет повысить эффективность процесса классификации материала в мельнице, увеличить ее производительность и снизить удельный расход электроэнергии. Для изготовления перегородки предлагаемой конструкции могут использоваться все конструктивные элементы перегородки с плоскими радиально расположенными перфорированными лопастями, кроме самих перфорированных лопа-

стей. Машиностроительными предприятиями изготавливаются просеивающие поверхности плоской, конусообразной, цилиндрической форм и могут поставляться по размерам заказчика. Это позволяет сделать вывод о сопоставимости технологичности конструкций предлагаемой классифицирующей перегородки и ее прототипа - перегородки с плоскими перфорированными лопастями, по технической подготовке производства, изготовлению, эксплуатации и ремонту.

Предположение об эффективности предложенной конструкции нуждается в сопоставлении эффективностей процесса классификации материала в разработанной классифицирующей перегородке и ее прототипе. Вследствие сложности реализации необходимых для этого физических экспериментов в расположенной во вращающемся корпусе мельницы классифицирующей перегородке, целесообразным является использование математического описания процессов классификации материала в перегородках. Существуют математические описания, позволяющие определить эффективность процесса классификации материала на радиально расположенных плоских просеивающих поверхностях классифицирующих перегородок. Вследствие отличий формы просеивающей поверхности, ее расположения относительно продольной оси корпуса ШМ эти математические описания не могут быть использованы для определения рациональных параметров разработанной классифицирующей перегородки, обеспечивающих эффективный процесс классификации материала. В этой связи целесообразным является использование существующих программных продуктов для симуляции процессов классификации материала в перегородках.

Методология. Исследование процесса классификации грубомолотого материала в классифицирующей перегородке шаровой мельницы $D \times L = 2 \times 10,5$ м осуществлялось в программной среде EDEM, широко используемой для симуляции различных технологических процессов [14-17]. Мельницы этого типоразмера эксплуатируются на отечественных предприятиях по производству цемента, силикатного кирпича, газосиликатных, керамических, огнеупорных изделий. Частота вращения корпуса мельницы составляет $n = 0,35$ об/с. С учетом размеров, поставляемых на предприятия для этих ШМ литых вариантов бронефутеровок и секторов перегородок расчетная ширина просеивающей поверхности цилиндрической лопасти составляет 0,5 м, длина дуги полуцилиндра – 1,05 м. Для лопасти с плоской просеивающей поверхностью эти параметры соответственно составляют 0,5 м и 0,67 м. С учетом

рекомендаций [18] принята ширина щелевых отверстий просеивающих поверхностей лопастей $b = 4 \times 10^{-3}$ м. При построении цифровых моделей лопастей использовались размеры шпальтовых сварных сит с профилем типа Sbb/W , обеспечивающие необходимую жесткость лопасти и «живое сечение» $S = 52\%$ [19]. Классифицируемому материалу назначались физические свойства сыпучей среды. Продолжительность виртуального эксперимента преимущественно определяется количествами фракций и частиц классифицируемого материала. Исходя из технических возможностей персонального компьютера при в классифицирующей перегородке размещалась одна лопасть, сыпучая классифицируемая среда представлялась двумя фракциями с размерами частиц верхнего класса - $d_{m1} = 4,5 \times 10^{-3}$ м и нижнего класса - $d_{m2} = 3,5 \times 10^{-3}$ м. Такие условия ограничивали количество частиц материала в эксперименте $n \leq 8,2 \cdot 10^4$ штук, что позволило уменьшить максимальное количество времени одного эксперимента до нескольких часов. Исследование процесса классификации материала на просеивающей поверхности цилиндрической лопасти, вращающейся вокруг продольной оси классифицирующей перегородки, осуществлялось с использованием метода математического планирования эксперимента [20]. Применялся полнофакторный эксперимент по плану ЦКРП-2³. В качестве исследуемой функции принята выраженная в процентах эффективность классификации [21]

$$E = \frac{\alpha - \vartheta}{\alpha(100 - \vartheta)} 10^4, \quad (1)$$

где α – содержание нижнего класса в исходном материале, %; ϑ – содержание нижнего класса в надрешетном продукте, %.

Согласно [21] эффективность классификации можно определить с использованием другого выражения:

$$E = \frac{C}{M \cdot \alpha} 10^4, \quad (2)$$

где C – масса подрешетного продукта, кг; M – масса исходного материала, кг.

Тогда

$$C = \frac{E \cdot M \cdot \alpha}{10^4} = \frac{E \cdot M \cdot (100 - K)}{10^4}, \quad (3)$$

где K – содержание верхнего класса частиц в исходном материале, %.

Массовая производительность классифицирующей перегородки, кг/с:

$$Q = n \cdot i \cdot C, \quad (4)$$

где i – количество лопастей с просеивающими поверхностями в классифицирующей перегородке, штук.

В ходе проведенных поисковых экспериментов были определены варьируемые факторы: относительная скорость вращения корпуса ψ ; масса классифицируемого материала, подаваемого на просеивающую поверхность цилиндрической лопасти, M_m ; содержание верхнего класса частиц в исходном материале, K . Уровни варьирования факторов приведены в табл. 1.

Таблица 1

Исследуемые факторы и уровни варьирования ПФЭ ЦКРП 2³

Факторы	Обозначение		Интервал	Уровни варьирования факторов				
	Кодированный вид	Натуральный вид		-1,68	-1	0	+1	+1,68
Относительная частота вращения корпуса	X_1	ψ , доли единиц	0,07	0,642	0,69	0,76	0,83	0,878
Масса классифицируемого материала	X_2	M_m , кг	0,298	0,5	0,702	1	1,298	1,5
Содержание верхнего класса частиц в исходном материале	X_3	K , %	2,976	5	7,024	10	12,976	15

В результате обработки экспериментальных данных, полученных в программной среде EDEM при проведении виртуальных экспериментов на ПЭВМ по плану ЦКРП-2³, получено уравнение регрессии, адекватно описывающее эффектив-

ность классификации частиц материала просеивающей поверхностью цилиндрической лопасти классифицирующей перегородки в зависимости от указанных факторов.

В кодированной форме уравнение имеет вид:

$$E = 94,074 - 0,456 X_1 - 0,456 X_2 - 0,507 X_3 - 0,276 X_1 \cdot X_2 - 0,180 X_1 \cdot X_3 - 0,170 X_2 \cdot X_3 - 0,232 X_1^2 - 0,286 X_2^2 - 0,097 X_3^2. \quad (5)$$

В натуральной форме уравнение имеет вид:

$$E = 52,056 + 87,325\psi + 16,883M_m + 0,897K - 13,231\psi \cdot M_m - 0,864\psi \cdot K - 0,192K \cdot M_m - 47,347\psi^2 - 3,221M_m^2 - 0,011K^2. \quad (6)$$

Основная часть. В программной среде *Maple* проведено исследование уравнений (4) и (5), получены графические зависимости. В заданной области функция является непрерывной. Установлены экстремумы функции. Наименьшее значение $E = 88,18\%$ функция принимает при $K = 15\%$, $M_m = 1,5$ кг, $\psi = 0,878$. Наибольшего значения $E = 94,68\%$ функция достигает при $K = 5\%$, $M_m = 0,94$ кг, $\psi = 0,745$. Наибольшее относительное изменение значения функции составляет $7,35\%$.

Графические зависимости, характеризующие поведение функции при изменении в исследуемых интервалах относительной частоты вращения корпуса, массы классифицируемого материала, подаваемого на просеивающую поверхность цилиндрической лопасти, содержания верхнего класса частиц в исходном материале приведены на рис. 1.

Варьирование значениями ψ в исследуемом диапазоне приводит к нелинейному характеру изменения функции с экстремумом в центральной области исследуемого диапазона значений. Увеличение значений фактора, с начала исследуемого интервала, приводит к росту значений функции до определенной величины и последующему их уменьшению (рис. 1, *a, b*). Так, при $M_{m1} = 0,5$ кг, $K_1 = 5\%$, соответствующих минимальным значениям интервалов варьирования этих факторов, увеличение значений ψ приводит к первоначальному росту эффективности классификации и последующему ее снижению. При $\psi_1 = 0,642$ $\psi_{кр}$, $\psi_2 = 0,76$ $\psi_{кр}$ и $\psi_3 = 0,878$ $\psi_{кр}$ эффективность классификации принимает соответственно значения $E_{11} = 92,95\%$, $E_{12} = 94,13\%$ и $E_{13} = 93,99\%$. Относительное изменение значения функции составляет $1,27\%$. При $M_{m2} = 1$ кг,

$K_2 = 10\%$ и указанных значениях ψ_1, ψ_2, ψ_3 функция принимает значения $E_{21} = 94,18\%$, $E_{22} = 94,07\%$ и $E_{23} = 92,64\%$ соответственно. Изменение значения функции составляет $1,66\%$. При $M_{m3} = 1,5$ кг, $K_3 = 15\%$ и указанных значениях ψ_1, ψ_2, ψ_3 функция принимает соответственно значения $E_{31} = 92,30\%$, $E_{32} = 92,03\%$ и $E_{33} = 88,18\%$ - относительное изменение значения функции составляет $4,67\%$.

Варьирование значениями M_{m1} в исследуемом диапазоне приводит к нелинейному характеру изменения функции с экстремумом в центральной области исследуемого диапазона значений. Увеличение значений фактора, с начала исследуемого интервала, приводит к росту значений функции до определенной величины и последующему их уменьшению (рис. 1, *a, c*). Так, при $\psi_1 = 0,642$, $K_1 = 5\%$, соответствующих минимальным значениям интервалов варьирования этих факторов, увеличение значений M_m приводит к первоначальному росту эффективности классификации и последующему ее снижению. При $M_{m1} = 0,5$ кг, $M_{m2} = 1$ кг и $M_{m3} = 1,5$ кг эффективность классификации принимает соответственно значения $E_{41} = 92,95\%$, $E_{42} = 94,25\%$ и $E_{43} = 93,94\%$. Относительное изменение значения функции составляет $1,40\%$. При $\psi_2 = 0,76$, $K_2 = 10\%$ и указанных значениях M_{m1}, M_{m2} и M_{m3} функция соответственно принимает значения $E_{51} = 94,03\%$, $E_{52} = 94,07\%$ и $E_{53} = 92,50\%$ - относительное изменение значения функции составляет $1,70\%$. При $\psi_3 = 0,878$, $K_3 = 15\%$ и указанных значениях M_{m1}, M_{m2} и M_{m3} функция соответственно принимает значения $E_{61} = 92,23\%$, $E_{62} = 91,01\%$ и $E_{63} = 88,18\%$ - относительное изменение значения функции составляет $4,59\%$.

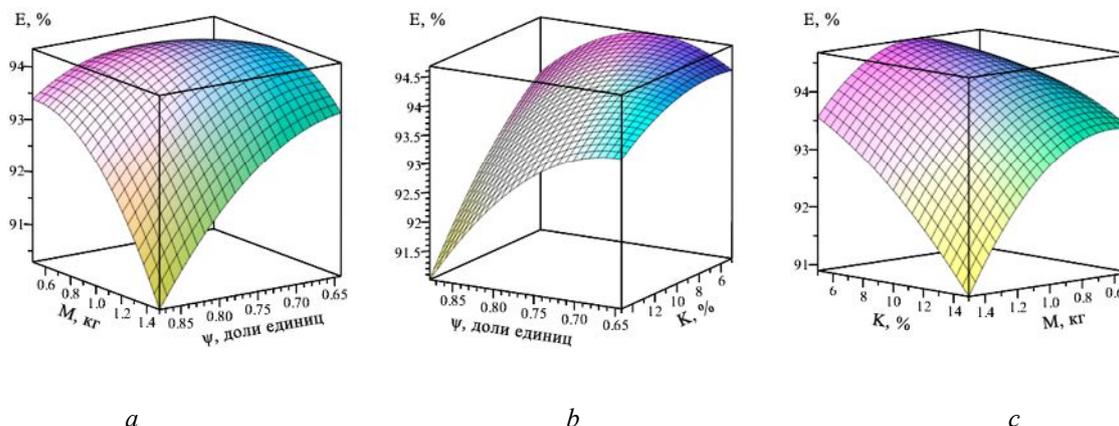


Рис. 1. Зависимости изменения эффективности классификации частиц материала E цилиндрической поверхностью лопасти от относительной частоты вращения корпуса ψ , массы классифицируемого материала M_m , содержания K верхнего класса частиц в исходном материале

Варьирование значениями K в исследуемом диапазоне приводит к нелинейному характеру изменения функции с экстремумом в центральной области исследуемого диапазона значений. Увеличение значений фактора, с начала исследуемого интервала, приводит к росту значений функции до определенной величины и последующему их уменьшению (рис. 1, *b*, *c*). Так, при $M_{м1} = 0,5$ кг, $\psi_1 = 0,642$, соответствующих минимальным значениям интервалов варьирования этих факторов, увеличение значений K приводит первоначальному росту эффективности классификации и последующему ее снижению. При $K_1 = 5\%$, $K_2 = 10\%$, и $K_3 = 15\%$ эффективность классификации принимает соответственно значения $E_{71} = 92,95\%$, $E_{72} = 93,36\%$ и $E_{73} = 93,22\%$. Относительное изменение значения функции составляет $0,44\%$. При $M_{м2} = 1$ кг, $\psi_2 = 0,76$ и указанных значениях K_1 , K_2 и K_3 функция соответственно принимает значения $E_{81} = 94,65\%$, $E_{82} = 94,07\%$ и $E_{83} = 92,94\%$ - относительное изменение значения

функции составляет $1,84\%$. При $M_{м3} = 1,5$ кг, $\psi_2 = 0,878$ и указанных значениях K_1 , K_2 и K_3 функция принимает соответственно значения $E_{91} = 91,86\%$, $E_{92} = 90,29\%$ и $E_{93} = 88,18\%$ - относительное изменение значения функции составляет $4,17\%$.

К рациональным следует отнести следующие области значений варьируемых факторов:

Для относительной частоты вращения корпуса: $\psi = 0,7 \dots 0,8 \psi_{кр}$.

Для подаваемой на просеивающую поверхность цилиндрической лопасти массы классифицируемого материала: $M_m = 0,8 \dots 1,2$ кг.

Для содержания верхнего класса частиц в исходном материале: $K = 5 \dots 10\%$.

На рис. 2 и рис. 3 приведены иллюстрации, характеризующие взаимодействие классифицируемого материала с цилиндрической и плоской просеивающими поверхностями лопастей в классифицирующей перегородке.

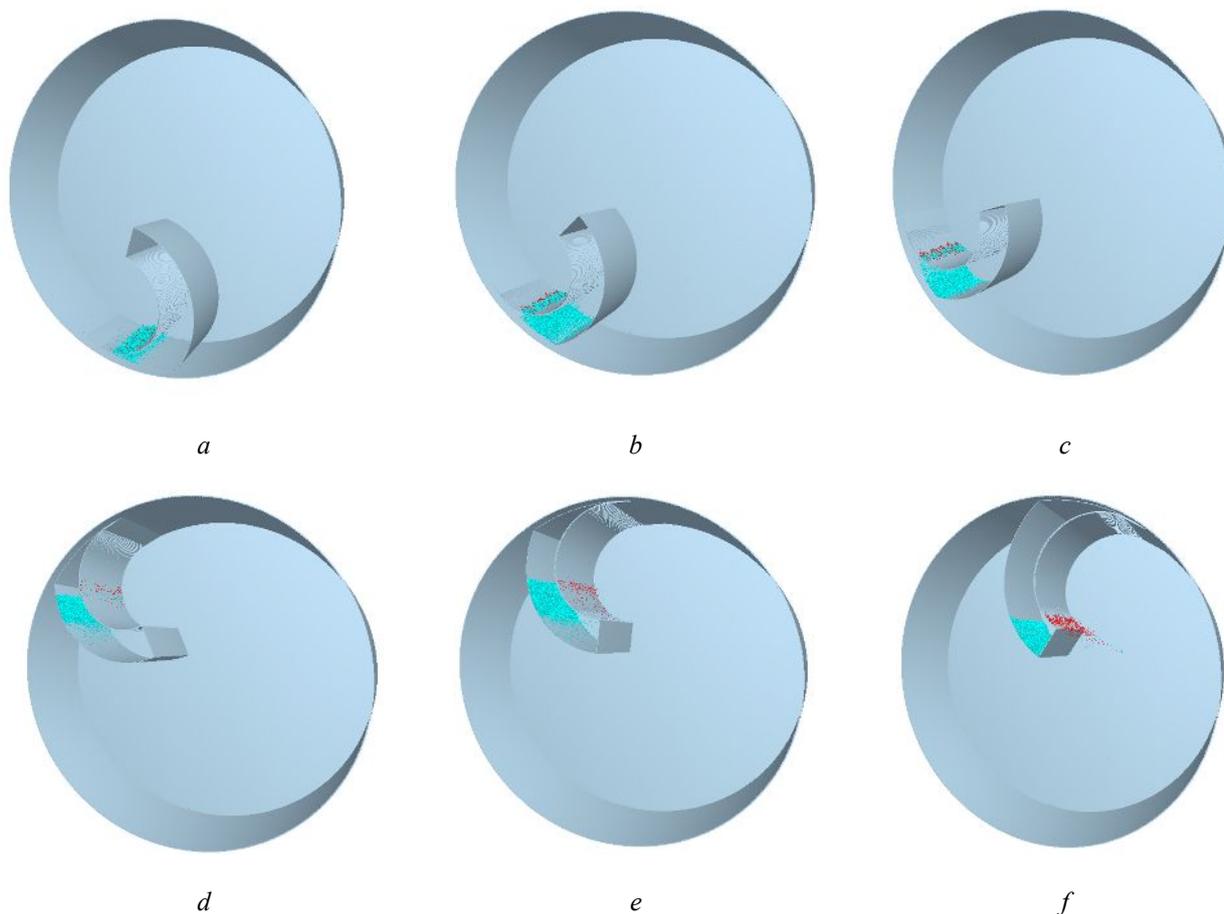


Рис. 2. Иллюстрации, характеризующие взаимодействие классифицируемого материала с просеивающей поверхностью цилиндрической лопасти в классифицирующей перегородке в различные промежутки времени t : $a - t = 1,8$ с; $b - t = 2$ с; $c - t = 2,2$ с; $d - t = 2,8$ с, $e - t = 3$ с, $f - t = 3,2$ с

Следует отметить, что процесс классификации материала в перегородке с цилиндрической просеивающей поверхностью начинается с $1,7$ с

и заканчивается на $3,2$ с, продолжительность составляет $1,5$ с. Процесс на всем указанном проме-

жутке времени протекает активно с пересыпанием и перемещением материала по всей просеивающей поверхности. Кроме того, длина дуги цилиндрической просеивающей поверхности в 1,5 раза превышает длину плоской просеивающей поверхности.

Процесс классификации материала в перегородке с плоской просеивающей поверхностью начинается с 1,7 с и заканчивается на 3,2 с, продолжительность составляет 1,5 с. Процесс на промежутке времени с 1,7 с по 2,7 с протекает не активно на небольшом участке просеивающей поверхности у цилиндрической обечайки, пересыпания материала не наблюдается. Затем, с 2,7 с по 3,1 с начинается перемещение материала по небольшой части просеивающей поверхности с последующим отрывом от нее частиц, продолжительность составляет 0,4 с. Не задействованной в

процессе классификации оказывается до 2/3 просеивающей поверхности.

Отмеченные особенности взаимодействия рассмотренных просеивающих поверхностей с классифицируемым материалом позволяют сделать вывод о преимуществах цилиндрической просеивающей поверхности перед плоской, заключающихся в участии всей просеивающей поверхности в активном процессе классификации, полуторакратном превышении длины, большей чем в 3 раза продолжительности реализации активной части процесса классификации. Сопоставление результатов проведенных экспериментов при $\psi_2 = 0,76$, $\psi_{кр}$, $M_{м2} = 1$ кг и $K_2 = 10$ % показали в 1,56 раза большую эффективность процесса классификации на цилиндрической просеивающей поверхности ($E_{ц} = 94,07$ %), чем на плоской ($E_n = 60,28$ %).

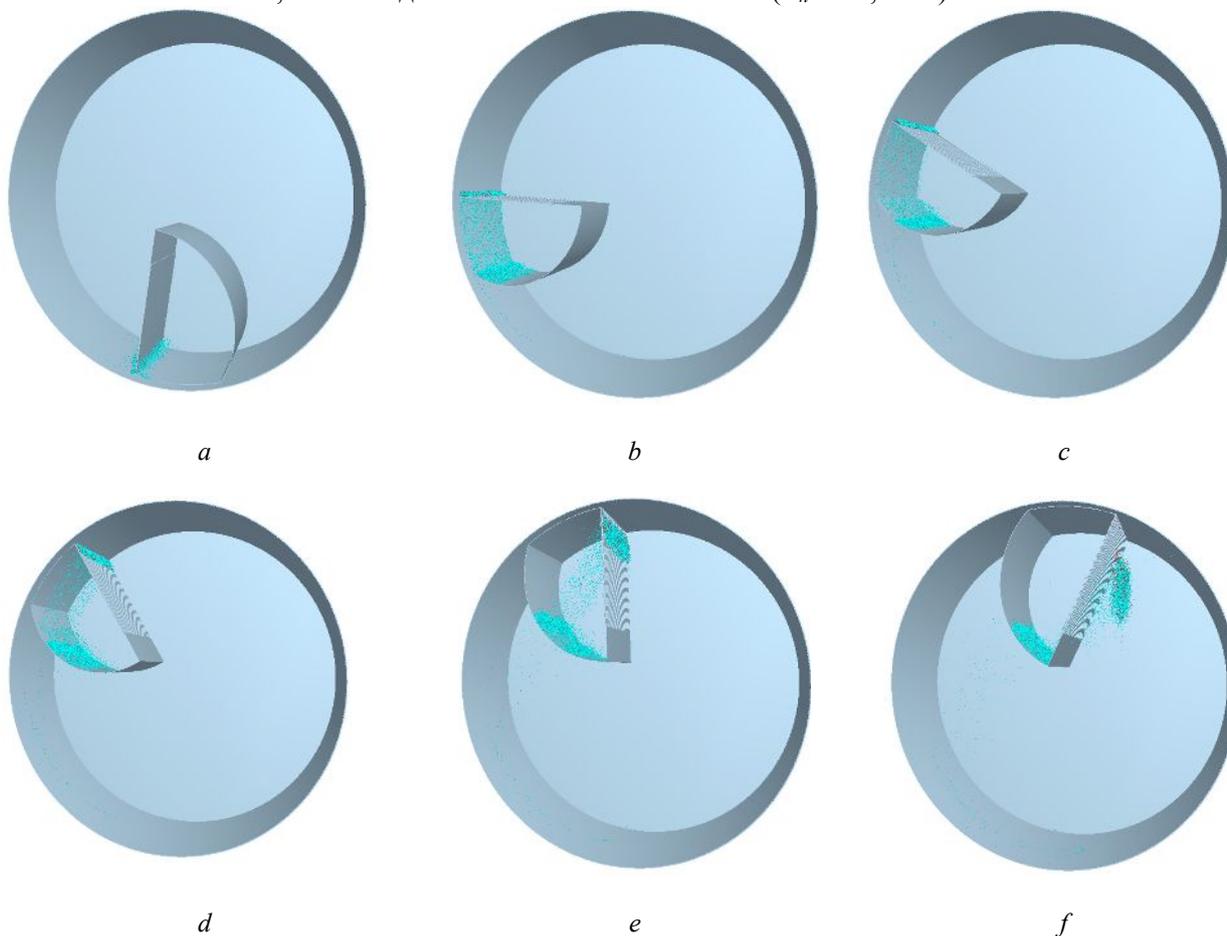


Рис. 3. Иллюстрации, характеризующие взаимодействие классифицируемого материала с плоской просеивающей поверхностью лопасти в классифицирующей перегородке в различные промежутки времени t : $a - t = 1,8$ с; $b - t = 2,4$ с; $c - t = 2,6$ с; $d - t = 2,8$ с; $e - t = 3$ с; $f - t = 3,2$ с

Полученные результаты позволяют с использованием выражения (4) определить параметры классифицирующей перегородки, обеспечивающие ее соответствие массовой производительности шаровой мельницы исходя из массы

поступающего на цилиндрическую просеивающую поверхность лопасти материала, содержания в нем верхнего класса частиц, количества лопастей, эффективности процесса классификации материала и частоты вращения ее корпуса. Так, при соответствующих центру плана значениях

исследуемых факторов $\psi_2 = 0,76 \psi_{кр}$, $M_{м4} = 1,4$ кг и $K_2 = 10$ % эффективность процесса классификации на цилиндрической просеивающей поверхности составляет $E_{ц} = 92,95$ %. Исходя из разработанной конструкции, в классифицирующей перегородке мельницы $D \times L = 2 \times 10,5$ м располагается десять лопастей с цилиндрическими просеивающими поверхностями. Определенная по выражению (4) массовая производительность классифицирующей перегородки при указанных значениях факторов составляет 4,099 кг/с (14756 кг/ч), что соответствует показателям работы шаровых мельниц $D \times L = 2 \times 10,5$ м, эксплуатируемых в различных отраслях промышленности. Выбор значений рассмотренных параметров осуществляется исходя из технологического регламента на процесс помола материала в мельнице.

Выводы.

1. Разработана эффективная, патентно-защищенная конструкция классифицирующей перегородки шаровой мельницы.

2. В программной среде *EDEM* проведены виртуальные эксперименты по реализации процесса классификации груболотого материала на цилиндрической и плоской просеивающих поверхностях классифицирующей перегородки для шаровой мельницы $D \times L = 2 \times 10,5$ м.

3. С использованием метода математического планирования эксперимента, по плану ЦКРП-2³ получено уравнение регрессии, адекватно описывающие эффективность процесса классификации груболотого материала в зависимости от относительной частоты вращения корпуса ψ , массы классифицируемого материала, подаваемого на просеивающую поверхность цилиндрической лопасти M_m , содержания K верхнего класса частиц в исходном материале, выполнен его анализ.

4. В программной среде *Maple* проведено исследование уравнений регрессии, получены графические зависимости, характеризующие изменение функции. Выполнен анализ эффективности процесса классификации груболотого материала в зависимости от варьируемых параметров при $\psi = 0,642 \dots 0,878 \psi_{кр}$, $M_m = 0,5 \dots 1$ кг, $K = 5 \dots 15$ %. Определены рациональные области значений варьируемых факторов: для относительной частоты вращения корпуса - $\psi = 0,7 \dots 0,8 \psi_{кр}$; для массы подаваемого на просеивающую поверхность цилиндрической лопасти классифицируемого материала - $M_m = 0,8 \dots 1,2$ кг; для содержания верхнего класса частиц в исходном материале: $K = 5 \dots 10$ %.

5. Проведено сравнение взаимодействия классифицируемого материала с цилиндрической и плоской просеивающими поверхностями лопастей в классифицирующих перегородках в

различные промежутки времени t . Преимущества конструкции классифицирующей перегородки с лопастями, имеющими цилиндрические просеивающие поверхности, перед плоскими, заключаются в участии всей просеивающей поверхности в активном процессе классификации, полуторакратном превышении ее длины и большей чем в три раза продолжительности реализации активной части процесса классификации. Сопоставление результатов проведенных экспериментов при $\psi_2 = 0,76 \psi_{кр}$, $M_{м2} = 1$ кг и $K_2 = 10$ % показали в 1,56 раза большую эффективность процесса классификации груболотого материала на цилиндрической просеивающей поверхности ($E_{ц} = 94,07$ %), чем на плоской ($E_n = 60,28$ %).

6. Полученные результаты позволяют определить массовую производительность классифицирующей перегородки шаровой мельницы $D \times L = 2 \times 10,5$ м с использованием известного выражения. Приведенные результаты расчета подтверждают, что разработанная конструкция классифицирующей перегородки с цилиндрическими просеивающими поверхностями лопастей обеспечивает достаточно высокую эффективность процесса классификации и массовую производительность, соответствующую требованиям технологических регламентов на работу шаровых мельниц $D \times L = 2 \times 10,5$ м, эксплуатируемых в различных отраслях промышленности.

Благодарность. Статья подготовлена в рамках программы развития опорного университета на базе БГТУ им. В.Г. Шухова.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Науменко Ю.В. Основы теорії режимів роботи барабаних млинів: монографія // Рівне.: СПД Зелент О. І., 2009. 282 с.
2. Latyshev S.S., Voronov V.V., Bogdanov V.S., Fadin Y.M., Bazhanova O.I., Maslovskaya A.N. Mathematical modeling of loads movement in lifter of intramill recirculation device inside tubular mill // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2018. 022046.
3. Bogdanov V.S., Bogdanov D.V., Antsiferov S.I., Gorshkov P.S. Determination of gas-material flow parameters of ball mills // International Journal of Applied Engineering Research. 2014. Vol. 9. No 22. Pp. 15777–15789.
4. Севостьянов В.С. Энергосберегающие помольные агрегаты: монография // Белгород: БГТУ им. В. Г. Шухова, 2006. 435 с.
5. Bogdanov V.S., Mordovskaya O.S., Voronov V.P., Khanin D.S., Kirilov I.V. Specifying the parameters of flow aspiration in the tube mill // ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences, 2014. Vol. 9. No. 11. Pp. 2371–2375.

6. Хардер Й. Развитие одноэтапных процессов измельчения в цементной промышленности // Цемент. Известь. Гипс. 2006 № 1. С.24–38.
7. Duda W.H. Cement data book / Wiesbaden, Berlin: Bauverlag. Wiesbaden, 1985.
8. Bogdanov V.S., Fadin Y.M., Lozovaya S.Y., Latyshev S.S., Bogdanov N.E., Vasilenko O.S. Ball mill power calculation with inclined partition. International Journal of Pharmacy and Technology. 2016. Vol. 8. No. 3. Pp. 19031–19041.
9. Kovalyukh, S.V., Kovalyukh V. R. Outline the concept for their tubular-conical mill with a variable-speed electric drive // Worldcement.com. October 2009. Pp. 67–76.
10. Bogdanov V.S., Hanin S.I., Starchenko D.N., Sagitov I.A. Distinctive features of the relations between grinding equipment and devices inside ball mill body // ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences. 2014. Vol. 9. No. 11. Pp. 2344–2350. AdobeAcrobatReader. URL: http://www.arpn-journals.com/jeas/research_papers/rp_2014/jeas_1114_1337.pdf. (дата обращения: 25.08.2020)
11. Bogdanov V.S., Dontsova Yu.A., Bogdanov N.E., Fadin Yu.M., Vöth S. Mechanics of crushing medium in ball mills with longitudinal-transverse motion of grinding bodies // ZKG International. 2019. No. 6, Pp 38–44.
12. Khanin S.I., Solodovnikov D.N., Lebakh A.V. Determining the loads acting onto a cylindrical classifier of a globe mill // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2019, Vol. 560 p. AdobeAcrobatReader. URL: <https://iop-science.iop.org/article/10.1088/1757-899X/560/1/012066/pdf> (дата обращения: 20.08.2020)
13. Ханин С.И., Мордовская О.С., Ханин Д.С. Пат. 2019127345 Российская Федерация, МПК В 02 С 17/06. Шаровая мельница с классифицирующей перегородкой; заявитель и патенто-обладатель БГТУ им. В.Г. Шухова. № 2019127345, заявл. 29.08.2019; опубл. 22.04.20, Бюл. № 12. 11 с.
14. Cai R., Hou Z., Zhao Y. Numerical study on particle mixing in a double-screw conical mixer // Journal Powder Technology. 2019. No 352. Pp. 193–208.
15. Moon I., Kim J., Roh J., Lee M.S. DEM Study of a Mixer for Core Manufacturing System // Journal Computer Aided Chemical Engineering. 2019. No. 46. Pp 799–804.
16. Bogdanov V.S., Khakhalev P.A., Bogdanov N.E., Gavrunov A.J. The application of EDEM software for design parameters calculation of a ball mill lining // Research Journal of Applied Sciences. 2014. Vol. 9. No. 11. Pp. 869–873.
17. DEM Solutions Ltd. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.dem-solutions.com/>.
18. Рекомендации по методам технологической наладки, испытанию помольных агрегатов в цементной промышленности // Всесоюзное государственное специализированное бюро по проведению пуско-наладочных и проектно-конструкторских работ в цементной промышленности. Л.: ОРГПРОЕКТЦЕМЕНТ, 1990. 155с.
19. Акционерное общество «Завод имени М. И. Платова». [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.zaoplatov.ru/downloads/katalog-zavoda-imeni-m-i-platova.pdf>
20. Юдин Ю.В., Майсурадзе М.В., Водолазский Ф.В. Организация и математическое планирование эксперимента: учебное пособие / Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2018. 124 с.
21. Перов В.А., Андреев Е.Е., Биленко В.Ф. Дробление, измельчение и грохочение и полезных ископаемых: учеб. пос. для вузов. 5-е изд., перераб. и доп. М.: Недра, 2007. 301 с.

Информация об авторах

Ханин Сергей Иванович, доктор технических наук, профессор кафедры механического оборудования. E-mail: dh@intbel.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Зыбин Роман Владимирович, магистрант кафедры механического оборудования. E-mail: zybin.roman97@uandex.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Мордовская Ольга Сергеевна, кандидат технических наук, доцент кафедры механического оборудования. E-mail: unique.ox@gmail.com. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Поступила 01.09.2020 г.

© Ханин С.И., Зыбин Р.В., Мордовская О.С., 2020

*Khanin S.I., Zybin R.V., Mordovskaya O.S.

Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov

*E-mail: dh@intbel.ru

INCREASING THE EFFICIENCY OF THE MATERIAL CLASSIFICATION PROCESS IN CLASSIFYING BALL MILLS PARTITION

Abstract. Ball mills are widely used for dispersion of materials in various industries, as they are characterized by ease of maintenance, operation and sufficiently high performance. To improve the process of inner-chamber classification of coarse-ground material, a new construction of the classifying partition with blades having cylindrical screening surfaces is proposed. The aim of the research is to substantiate the effectiveness of the application of the developed construction of the classifying partition in an industrial ball mill. The tasks of the research are to study the effectiveness of the developed construction of the classifying partitions on industrial ball mill. The tasks are solved of constructing and analyzing a regression equation that adequately describes the efficiency of the process of classifying coarse material with a cylindrical sieving surface depending on variable factors, determining rational areas of their values; comparing the efficiency of using blades with cylindrical and flat screening surfaces for inner-chamber classification of coarse material; confirmation of the possibility of providing the developed classifying partition with the mass productivity necessary for the operation of the mill. In the course of the work, the methods of simulation and mathematical modeling were used. As a result of the study, the efficiency of using a classifying partition with blades with cylindrical screening surfaces of a ball mill $D \times L = 2 \times 10,5$ is substantiated.

Keywords: software environment, digital model, particle size, particle fractions, undersize product

REFERENCES

1. Naumenko Yu.V. Fundamentals of the theory of modes in robotic drumming: monograph. Rivne : SPD Zelent O. I., 2009. 282 p.
2. Latyshev S.S., Voronov V.V., Bogdanov V.S., Fadin Y.M., Bazhanova O.I., Maslovskaya A.N. Mathematical modeling of loads movement in lifter of intramill recirculation device inside tubular mill. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2018. 022046.
3. Bogdanov V.S., Bogdanov D.V., Antsiferov S.I., Gorshkov P.S. Determination of gas-material flow parameters of ball mills. International Journal of Applied Engineering Research. 2014. Vol. 9. No 22. Pp. 15777–15789.
4. Sevostyanov V.S. Energy-saving grinding units [Energosberegayushchie pomol'nye agregaty]: monograph. Belgorod: BSTU named after V.G. Shukhov, 2006. 435 p. (rus)
5. Bogdanov V.S., Mordovskaya O.S., Voronov V.P., Khanin D.S., Kirilov I.V. Specifying the parameters of flow aspiration in the tube mill. ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences. 2014. Vol. 9. No. 11. Pp. 2371–2375.
6. Harder J. Development of one-stage grinding processes in the cement industry [Razvitie odnoetapnykh processov izmel'cheniya v cementnoj promyshlennosti]. Cement. Lime. Gypsum. 2006 No. 1. Pp. 24–38. (rus)
7. Duda W.H. Cement data book. Wiesbaden, Berlin: Bauverlag. Wiesbaden, 1985.
8. Bogdanov V.S., Fadin Y.M., Lozovaya S.Y., Latyshev S.S., Bogdanov N.E., Vasilenko O.S. Ball mill power calculation with inclined partition. International Journal of Pharmacy and Technology. 2016. Vol. 8. No. 3. Pp. 19031–19041.
9. Kovalyukh S.V., Kovalyukh V.R. Outline the concept for their tubular-conical mill with a variable-speed electric drive. Worldcement.com. October 2009. Pp. 67–76.
10. Bogdanov V.S., Hanin S.I., Starchenko D.N., Sagitov I.A. Distinctive features of the relations between grinding equipment and devices inside ball mill body. ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences. 2014. Vol. 9. No. 11. Pp. 2344–2350. AdobeAcrobatReader. URL: http://www.arpn-journals.com/jeas/research_papers/rp_2014/jeas_1114_1337.pdf. (date of treatment: 25.08.2020)
11. Bogdanov V.S., Dontsova Yu.A., Bogdanov N.E., Fadin Yu.M., Vöth S. Mechanics of crushing medium in ball mills with longitudinal-transverse motion of grinding bodies. ZKG International. 2019. No. 6. Pp. 38–44.
12. Khanin S.I., Solodovnikov D.N., Lebach A.V. Determining the loads acting onto a cylindrical classifier of a globe mill. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2019, Vol. 560 Pp. AdobeAcrobatReader. URL: <https://iop-science.iop.org/article/10.1088/1757-899X/560/1/012066/pdf> (date of treatment: 20.08.2020)

13. Khanin S.I., Mordovskaya O.S., Khanin D.S. Ball mill with classifier partition. Patent RF, no. 2019127345, 2020.
14. Cai R., Hou Z., Zhao Y. Numerical study on particle mixing in a double-screw conical mixer. *Journal Powder Technology*. 2019. No 352. Pp. 193–208.
15. Moon I., Kim J., Roh J., Lee M.S. DEM Study of a Mixer for Core Manufacturing System // *Journal Computer Aided Chemical Engineering*. 2019. No. 46. Pp. 799–804.
16. Bogdanov V.S., Khakhalev P.A., Bogdanov N.E., Gavrunov A.J. The application of EDEM software for design parameters calculation of a ball mill lining // *Research Journal of Applied Sciences*. 2014. Vol. 9. No. 11. Pp. 869–873.
17. DEM Solutions Ltd. [Electronic resource]. - Access mode: <http://www.dem-solutions.com/>.
18. Recommendations on the methods of technological adjustment, testing of grinding units in the cement industry [Rekomendacii po metodam tekhnologicheskoy naladki, ispytaniyu pomol'nyh agregatov v cementnoj promyshlennosti]. All-Union State Specialized Bureau for Commissioning and Design Works in the Cement Industry. L.: ORGPROEKTSEMENT, 1990. 155 p. (rus)
19. Akcionernoe obshchestvo «Zavod imeni M. I. Platova». [Electronic resource]. - Access mode: <http://www.zaoplatov.ru/downloads/katalog-zavoda-imeni-mi-platova.pdf> (rus)
20. Yudin Yu.V., Maisuradze M.V., Vodolazsky F.V. Organization and mathematical planning of the experiment [Organizaciya i matematicheskoe planirovanie eksperimenta]: a tutorial. Yekaterinburg: Ural Publishing House. University, 2018. 124 p. (rus)
21. Perov V.A., Andreev E.E., Bilenko V.F. Crushing, grinding and screening and mineral resources [Droblenie, izmel'chenie i grohochenie i poleznyh iskopaemyh]: textbook. Nedra, 2007. 301 p. (rus)

Information about the authors

Khanin, Sergei I. DSc, Professor. E-mail: dh@intbel.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Zybin, Roman V. Master student. E-mail: zybin.roman97@yandex.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Mordovskaya, Olga S. PhD, Assistant professor. E-mail: unique.ox@gmail.com. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Received 01.09.2020

Для цитирования:

Ханин С.И., Зыбин Р.В., Мордовская О.С. Повышение эффективности процесса классификации материала в классифицирующей перегородке шаровой мельницы // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2020. № 9. С. 97–106. DOI: 10.34031/2071-7318-2020-5-9-97-106

For citation:

Khanin S.I., Zybin R.V., Mordovskaya O.S. Increasing the efficiency of the material classification process in classifying ball mills partition. *Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov*. 2020. No.9. Pp.97–106. DOI: 10.34031/2071-7318-2020-5-9-97-10

Научное издание
«Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова»
№ 9, 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 29.09.20. Формат 60×84/8
Усл. печ. л. 12,32. Уч.-изд. л. 13,25
Тираж 40 экз. Заказ 122. 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